Leonardo Crochik

Educação e Ciência como Arte:

Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos

São Paulo

2013

Leonardo Crochik

Educação e Ciência como Arte:

Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências. Área de Concentração: Ensino de Física.

Orientador:
João Zanetic

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

São Paulo

2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Crochik, Leonardo

Educação e ciência como arte: aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos. São Paulo, 2013.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic
Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1.Física – Estudo e ensino; 2.Formação de professores; 3.Relatividade (Física); 4. Interdisciplinaridade.

USP/IF/SBI-012/2013

“Eu sou um campo, sou uma experiência. Certo dia e de uma vez por todas algo começou que, mesmo durante o sono, não pode mais parar de ver ou de não ver, de sentir ou de não sentir, de sofrer ou de estar feliz, de pensar ou de descansar, em suma de se “explicar” com o mundo. Aconteceu não um novo lote de sensações ou de estados de consciência, nem mesmo uma nova mônada ou uma nova perspectiva, já que não estou fixado em nenhuma e já que posso mudar de ponto de vista, sujeito apenas a sempre ocupar um ponto de vista e a ocupar somente um a cada vez — digamos que aconteceu uma nova *possibilidade de situações*. O acontecimento de meu nascimento não passou, não caiu no nada à maneira de um acontecimento do mundo objetivo, ele envolvia um porvir, não como a causa determina seu efeito, mas como uma situação, uma vez armada, chega inevitavelmente a algum desenlace”.

Maurice Merleau-Ponty.

“O que as pessoas mais desejam é alguém que as escute de maneira calma e tranquila. Em silêncio. Sem dar conselhos. Sem que digam: ‘Se eu fosse você’. A gente ama não é a pessoa que fala bonito. É a pessoa que escuta bonito. A fala só é bonita quando ela nasce de uma longa e silenciosa escuta. É na escuta que o amor começa. E é na não-escuta que ele termina. Não aprendi isso nos livros. Aprendi prestando atenção”.

Rubem Alves.

Agradecimentos

Ao professor João Zanetic, orientador, mestre e amigo, que sempre me deu incondicional apoio, sabendo combinar a mais ampla liberdade, autonomia e confiança com a igualmente ampla atenção e parceria.

Aos estudantes do curso de licenciatura em física do IFSP, que são, de certa forma, como co-autores deste trabalho.

À Laila, minha flor meu amor, com quem me sinto cada vez mais vivo, que suportou-me em minhas angústias e teve a paciência de ler todo este trabalho, contando-me sobre tudo com o que concordava e com o que não concordava.

Aos professores Manoel Robilotta e Maria Lúcia Pupo que, de formas muito distintas, e, de certa forma, complementares, deram contribuições fundamentais em meu exame de qualificação (e em conversas antes e / ou depois dele) para a reformulação que originou este trabalho.

Aos artistas e professores Alex Ratton, Andrea Drigo, Carlos Amaral e Cristiane Paoli Quito que, sem saberem, me apoiaram e inspiraram em grande parte de minhas reflexões e proposições.

Aos professores da área de física do IFSP, que sempre me deram total apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

A Adalberto Anderlini, Alexandre Bagdonas, Ana Cláudia Gu, André de Martini, Antonio Carlos Boa Nova, Bia Fagundes, Cauê Alves, Cristina Leite, Daniel Soler, Felipe Crochik, Fábio Vannucchi, Giselle Watanabe, Isadora Marques Crochik, Ivan Lúcio, João Eduardo, Kleber Schutt, Lira Padovan, Luis Augusto Alves, Marcelo Bonetti, Marcelo Pimentel, Marcos Leodoro, Marinê Pereira, Miguel Marques Crochik, Neusa Raquel, Odete Polesi, Ramiro Murrillo, Renata Ribeiro, Renato Pugliese, Ricardo Silva, Sérgio Crochik, Waldmir Araujo, Wilson Matos que contribuíram com este trabalho das mais diversas formas, lendo partes dele, emprestando-me livros (que agora serão finalmente devolvidos...), traduzindo meu resumo para o inglês, dando palpites, apoio moral ou compartilhando parte da vida.

Ao Samuel, meu vizinho músico que, com seu metrônomo ligado ao longo de todo esse janeiro, deu ritmo aos meus pensamentos.

Resumo

CROCHIK, Leonardo. **Educação e Ciência como Arte: Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos**. 2013. 368f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

O trabalho propõe a aproximação da educação e da ciência com relação às artes, valorizando assim, nessas áreas, a sensibilidade e a sensorialidade, a criatividade, a dimensão de ruptura com o senso comum, a referência à beleza, à ludicidade e ao prazer. Uma investigação mais teórica dialoga constantemente com e é permeada pelo relato de uma experiência pedagógica desenvolvida no curso de licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP. Nesta experiência, desenvolvemos um aprofundamento da escuta e do diálogo, verbal e não-verbal, por meio da dinâmica de jogos teatrais, procurando, através desses jogos, tornar mais presente uma dimensão corporal e expressiva em associação com a reflexão sobre o conhecimento físico e sobre a atuação docente.

Procuro tecer analogias entre as concepções de espaço e tempo físicos – com ênfase na noção de relatividade – e concepções que podem ser associadas a expressões artísticas e a trabalhos filosóficos e especulativos. A exploração do desenvolvimento histórico dessas concepções, buscando destacar a relação com distintas visões de mundo, pretende alimentar proposições de jogos e atividades pedagógicas que permitam abordar esses temas privilegiando a contextualização cultural e as repercussões no imaginário.

Palavras chave: Física — estudo e ensino; Formação de professores; Relatividade (física); Interdisciplinaridade.

Abstract

CROCHIK, Leonardo. **Education and science as art: *Teaching adventures in search for an aesthetic experience of physical space and time***. 2013. 368f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

This work proposes a connection between education and science in relation to arts, valuing sensibility and sensory feeling, creativity, the context of bursting the common sense, and the reference to beauty, playfulness and pleasure. A more theoretical investigation constantly interacts with and is permeated by reports of a pedagogical experience developed in the degree course of Physics of the Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo) – IFSP. In such experience, we have strengthened the hearing and the verbal and non-verbal dialog by means of theater games, aiming at achieving through such games a corporeal and expressive approach in association with the thinking of the physical awareness and the teachers' action.

I intend to draw analogies between the concepts of space and time in physics – emphasizing on the notion of relativity – and concepts that might be associated to artistic expressions and philosophical and speculative works. Seeking to call the attention to the relation with different world-views, the exploration of the historic progress of those concepts envisions to stimulate proposals of games and pedagogic activities that enable the approach to such topics by focusing on cultural context and repercussions on the imaginary.

Keywords: Physics — science and teaching; Teachers training; Relativity (physics); Interdisciplinarity.

Sumário

1	Introdução	p. 17
2	Educação como arte	p. 31
2.1	Docência como criação	p. 34
2.1.1	Criatividade como forma de sensibilidade e de envolvimento com o ambiente	p. 35
2.1.2	Criatividade docente	p. 39
2.2	Traduções	p. 44
2.3	Exposição e experiência	p. 56
2.4	Diálogo	p. 65
2.4.1	Diálogo como jogo teatral	p. 67
2.5	Admiração e Envolvimento	p. 79
2.5.1	A busca freireana de “ser mais”	p. 80
2.5.2	O estranhamento brechtiano	p. 83
3	Ciência como arte	p. 95
3.1	Ciência e beleza	p. 103
3.1.1	Verdade como beleza	p. 106
3.1.2	A beleza das criações simbólicas da ciência	p. 109
3.2	Ciência como criação simbólica	p. 117
3.2.1	O símbolo e a função de objetivação da experiência	p. 117
3.2.2	Distintas fases do pensamento simbólico	p. 127

3.2.3	As dimensões expressiva, representativa e significativa do pensamento científico	p. 134
3.3	Ciência e arte em ruptura com o senso comum	p. 143
3.3.1	Um <i>perfil epistemológico</i> associado ao pensamento científico	p. 144
3.3.2	Imaginação criadora	p. 153
4	Em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos	p. 167
4.1	Espaço vivencial X Espaço isotrópico	p. 175
4.1.1	Primeiras experimentações das direções corporais no espaço	p. 177
4.1.2	Jogos explorando a observação das relações espaciais em sala de aula	p. 182
4.2	A ordenação vertical do mundo	p. 185
4.2.1	Jogos e reflexões a propósito do formato da Terra	p. 189
4.3	Retas e círculos como elementos de estruturação do espaço	p. 199
4.4	O mundo fechado e seus contornos	p. 202
4.5	Da borda para dentro do círculo.	p. 212
4.6	O espaço infinito, em sua estruturação linear	p. 218
4.6.1	Representações artísticas	p. 218
4.6.2	Jogos e reflexões em torno à visão e à noção de “ <i>ponto de vista</i> ” . . .	p. 230
4.6.3	Representações filosófico-científicas	p. 237
4.7	O tempo substancial, linear, anterior ao movimento	p. 241
4.7.1	Jogos e reflexões em torno à experiência do tempo	p. 250
4.8	O movimento e sua relação com o “ponto de vista”	p. 253
4.8.1	Problematização inicial	p. 254
4.8.2	Jogos e reflexões a propósito da relatividade do movimento	p. 258
4.9	Corpo e espaço / Matéria e energia	p. 274
4.10	Espaços curvos e com mais de três dimensões	p. 280
4.10.1	O espaço e sua relação com os sentidos.	p. 281

4.10.2	As geometrias como fonte para a imaginação criadora artística	p. 286
4.10.3	As novas geometrias como fonte para a criação científica no século XIX	p. 298
4.11	Espaço-tempo e a Relatividade especial	p. 305
4.11.1	Representação estática do movimento.	p. 306
4.11.2	Percepção e experiência da duração.	p. 309
4.11.3	Sincronização.	p. 311
4.11.4	Espaço-tempo e a interpretação das transformações de Lorentz. . . .	p. 318
4.11.5	Atividades e reflexões desenvolvidas em torno à teoria da relatividade restrita	p. 327
4.12	Relatividade, Cubismo e visões de mundo	p. 332
5	Conclusões	p. 339
	Referências Bibliográficas	p. 349
	Apêndice A – Atividade de interpretação de animação a respeito das transforma- ções de Lorentz	p. 357
	Apêndice B – Exercício de associação entre imagens e fragmentos textuais	p. 365

1 *Introdução*

“Difícilimo acto é o de escrever, (...) mas, por muito que se esforcem os autores, uma habilidade não podem cometer, pôr por escrito, no mesmo tempo, dois casos no mesmo tempo acontecidos. Há quem julgue que a dificuldade fica resolvida dividindo a página em duas colunas, lado a lado, mas o ardil é ingênuo, porque primeiro se escreveu uma e só depois a outra, sem esquecer que o leitor terá de ler primeiro esta e depois aquela, ou vice-versa, quem está bem são os cantores de ópera, cada um com a sua parte nos concertantes, três quatro cinco seis entre tenores baixos, sopranos e barítonos, todos a cantar palavras diferentes, por exemplo, o cínico escarnecendo, a ingênua suplicando, o galã tardo em acudir, ao espectador o que lhe interessa é a música, já o leitor não é assim, quer tudo explicado, sílaba por sílaba e uma após a outra, como aqui se mostram” (José Saramago, *A jangada de pedra*).

Como preencher com linhas um volume? Como físico, ao ler as palavras acima de Saramago, sou tomado por algumas imagens que não me viriam a cabeça se não tivesse essa formação. A possibilidade de compor várias e várias vozes em um único som, por exemplo, me faz pensar na decomposição espectral do som em suas múltiplas frequências, em um procedimento matemático que leva o pomposo nome de *análise de Fourier* e que, por outro lado, aplicando-se não apenas ao som mas também a qualquer “sinal” temporal, está por trás da possibilidade de “sintonizarmos” múltiplas estações de rádio em nosso aparelho de som ou de utilizarmos um mesmo “cabo” para receber informações de canais de televisão, de telefone e internet. Foi, aliás, essa imagem científica que me fez, quando li o trecho em epígrafe neste romance, guardar a citação para incluí-la em um roteiro de experimento associado à decomposição espectral de sons gravados, que desenvolvo quando ministro, no curso de licenciatura em física do *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo*, a disciplina *Fenômenos Ondulatórios*.

Já a dificuldade de narrar múltiplos eventos “simultâneos” em um texto escrito – que é o que me fez iniciar com essa epígrafe o presente trabalho – me faz pensar que a escrita é como uma linha, unidimensional. É claro que cada palavra é multidimensional, carrega múltiplas ideias, múltiplos sentidos. Mas essa condição que a linguagem escrita nos impõe, ainda mais a acadêmica, de tratar uma “ideia” de cada vez, propõe um desafio difícil de expressão, quando queremos, ao concluir uma pesquisa, tratar de múltiplas ideias que se interpenetram em uma

Figura 1.1

organização certamente “não-linear”. Dessa forma, e já imbuído das metáforas espaciais que impregnaram minha pesquisa, associo o texto de Saramago ao desafio de, tal como ocorre na figura 1.1b, preencher “densamente”, com linhas unidimensionais, um volume de mais dimensões. Como fazer isso? Certamente não será possível se caminharmos o tempo todo numa única e mesma direção. Será necessário “revisitar”, múltiplas vezes, lugares bastante próximos aos já visitados. A imagem do *toro* da figura 1.1a nos dá uma pista (metafórica) mais precisa: para preencher densamente com linhas a superfície do toro é necessário caminhar simultaneamente em duas direções ortogonais; caminhando em uma dessas direções, damos a volta na circunferência menor; caminhando na outra, damos a volta na circunferência maior. Quando dermos a volta completa na circunferência maior, o mais provável é que não voltemos para o mesmo lugar (já que não teremos dado um número inteiro de voltas completas na circunferência menor), mas apenas para um ponto próximo dele. Assim, após sucessivas e sucessivas voltas, preenchemos cada vez mais densamente a superfície desse toro.

Se faço corresponder a superfície do toro à pesquisa que venho desenvolvendo, a busca por uma estratégia para preenchê-la com *este texto* me leva a procurar pelas direções (aparentemente) ortogonais pelas quais seguir, *simultaneamente*. Parece-me que o propósito de pensar a *educação como arte* e o de pensar a *ciência como arte* podem corresponder a essas duas direções. Essas direções não são percorridas, porém, em um espaço abstrato, indefinido, mas sobre um espaço bastante concreto, associado ao esforço de construir experiências pedagógicas “reais”, com (e não para) estudantes “reais”, em uma instituição “real”. Nesse contexto, ao pensar a educação, refletimos também – e inevitavelmente – sobre a ciência e ao pensar a ciência refle-

timos também – e inevitavelmente – sobre a educação (porque essas direções não são realmente ortogonais).

Como escrevi acima, não se trata de construir uma *proposta* pedagógica *para ser aplicada* a estudantes, mas de procurar construir, *com os estudantes*, uma *experiência* pedagógica que terá tido tanto mais sucesso – se é que é possível imaginar essa quantificação – quanto maiores forem as transformações que tiver propiciado a mim e a eles.

Na perspectiva da *práxis*, compreendo o momento de relação pedagógica com estudantes não como o momento de “*aplicação*” de uma determinada proposta fechada e previamente elaborada, mas como um momento que tanto oferece o estímulo inicial e a direção inicial para uma reflexão, como também, depois, dá substância à pesquisa mais teórica realizada e oferece novos caminhos para o seu desenvolvimento. O registro da experiência vivida neste segundo momento da pesquisa serve então não apenas como uma forma de avaliar uma proposta pedagógica construída a partir da pesquisa inicial realizada, mas também, e principalmente, como o próprio desenvolvimento subsequente da pesquisa.

Essa opção metodológica teve uma implicação na própria estrutura deste texto. A opção, inicialmente experimentada, de segmentá-lo em um momento mais teórico, exterior à experiência em sala de aula, e outro mais prático e vivencial pareceu trair o próprio princípio, que norteou a pesquisa, de compreensão da experiência docente e discente em sala de aula como um momento de construção do conhecimento. Parte deste conhecimento construído alimentou minha pesquisa e está presente aqui, ao longo de todo o texto. Assim, no espírito do preenchimento denso do toro discutido acima, as referências à experiência pedagógica que desenvolvi servem, inclusive, como uma sinalização através da qual percebemos, a cada vez que a encontramos, que estamos, em nossa viagem pela superfície do toro, passando perto de uma região que já visitamos anteriormente, mas que reencontramos, agora, de uma nova perspectiva.

Se, em algumas áreas de pesquisa, a visão de mundo, as intenções de seus autores com uma determinada linha de pesquisa, aparecem de forma mais implícita, creio que, em um trabalho associado à pesquisa em ensino, não há porque procurar obliterar a dimensão da intencionalidade. Do que se trata, afinal, é de propor transformações de nossas práticas, de re-pensar o que pode vir a significar a “*formação*” de seres humanos em nosso atual contexto social.

Nesse sentido, a palavra “*arte*”, em minha proposição de pensar a educação e a ciência *como arte*, carrega grande parte da intencionalidade que deposito neste trabalho. Não se trata de qualquer arte, evidentemente, mas apenas da “*boa*” arte. Que “*boa*” arte é essa? Como distingui-la da arte “*má*”? Não sei responder e admito uma impregnação romântica em minha abordagem dessa atividade. Mas quando reconheço um *valor* em pensar aquelas atividades (a

educação e a ciência) *como* arte é porque creio que esta palavra – e as ações, as experiências do mundo a ela associadas – contém ainda uma chave importante para termos força para pensar e agir no mundo. A possibilidade de valorizar e aproximar-se da dimensão do prazer, da diversão, da ludicidade, da emoção, da sensibilidade – sem dicotomizá-las evidentemente, mas na verdade associando-as à dimensão da reflexão, do pensamento crítico, do raciocínio – parece-me fundamental para a constituição de uma sensação de pertencimento, de desalienação, para a possibilidade de algum encontro, algum cruzamento entre o “eu” e o “mundo”. Não é, evidentemente, apenas através da arte propriamente dita que podemos nos aproximar e valorizar essas dimensões que, ao contrário, estão potencialmente presentes em todas as atividades humanas. A palavra “arte”, entretanto, parece especialmente capaz de simbolizar a valorização desses aspectos. Nesse sentido, ao pensar a educação e a ciência *como* arte, procuro encontrar e valorizar essas dimensões, às vezes menosprezadas, dessas atividades.

Atribuo esse valor – com maior ou menor consciência – à aproximação com a arte há muitos anos e, de alguma forma, toda minha experiência como docente esteve, de alguma forma, pautada pela busca do desenvolvimento dessas relações. No mesmo ano em que ingressei como professor do *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia* (IFSP)¹, em 2006, atuando principalmente na Licenciatura em Física dessa instituição, ingressava também como estudante no curso de Artes Cênicas da USP. Infelizmente, com as demandas profissionais que se impuseram com o novo trabalho, não pude concluir esse curso, tendo, de qualquer forma, o cursado por pouco menos de dois anos e nunca deixado, depois, de manter algum tipo de atividade associada à prática teatral. A experiência simultânea nesses dois novos ambientes, entretanto, reforçou em mim a vontade de procurar desenvolver, em minhas aulas, uma qualidade mais sensível e pessoal de relação humana e a preocupação em não transformar a relação dos estudantes com o aprendizado de física em uma relação opressiva, calcada na resolução de exercícios sem significado e com pouco espaço para o desenvolvimento da sensibilidade e da criatividade. Certamente, a oportunidade de contato que tive com diversos docentes do Instituto de Física da USP – e cabe destacar nesse universo o professor João Zanetic e seu desenvolvimento das disciplinas *Gravitação e Evolução dos Conceitos da Física* – já me demonstravam que era possível uma abordagem mais humanista do conhecimento físico. Parecia-me, além disso, que a formação de um docente não poderia prescindir de um espaço destinado ao exercício de sua expressividade, não evidentemente no sentido de aproximar o exercício da docência do tipo de “*show*” que se realiza em cursinhos por exemplo, mas, justamente ao contrário, no sentido de desenvolver “ferramentas” (não encontro uma palavra melhor) que permitissem ao docente sentir-se mais tranquilo na situação de exposição envolvida em sua profissão e, assim, sentir-se mais seguro

¹Na época, na verdade, a instituição chamava-se *Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia* – CEFET-SP.

para intensificar a “escuta” dos estudantes e para experimentar novas possibilidades de relação nessa situação de encontro mediado pelos objetos de conhecimento que é a sala de aula. Parecia-me – e parece-me ainda – que parte significativa do autoritarismo que se verifica em sala de aula tinha sua origem também em uma dificuldade docente em lidar com a intensa exposição a que se é submetido nessa situação.

Imbuído desse “espírito”, me envolvi com algumas experiências que, mais diretamente, procuravam promover uma aproximação da educação e da ciência com a arte. Durante aproximadamente dois anos, coordenei um pequeno grupo de teatro, formado por licenciandos em física do IFSP e eventualmente também por estudantes de outros cursos dessa instituição. Além disso, por outros dois anos, dividi, com o professor Marcelo Bonetti (também da área de física) e com outros colegas da área de português do Instituto, a disciplina “Comunicação e Linguagem”, voltada para os alunos do primeiro semestre da licenciatura em física. Compreendendo a palavra “linguagem” em seu sentido mais amplo, procurávamos (os professores da área de física) contribuir com a disciplina ao desenvolver elementos de linguagem associados à física e à matemática, bem como ao propor exercícios criativos envolvendo outras linguagens, tais como a linguagem teatral e audiovisual. Voltada para alunos do primeiro semestre, a disciplina procurava receber os estudantes em um ambiente de maior abertura e mesmo promover uma maior integração da turma, às vezes inicialmente muito marcada por um certo individualismo e uma certa apatia. Por fim, orientei também estudantes – alguns dos quais provenientes do grupo de teatro que havíamos criado – em projetos de iniciação científica e iniciação à docência que procuravam, das mais diferentes formas, promover a aproximação entre arte, ciência e educação².

Oficina de Projetos de Ensino.

As experiências que relato em associação com a presente pesquisa estão relacionadas à minha experiência ao conduzir, a partir de 2011, uma outra disciplina desta licenciatura, que descrevo a seguir com um pouco mais de detalhe. Trata-se da disciplina *Oficina de Projetos de Ensino 1*. O curso de licenciatura do IFSP, na verdade, opta por utilizar o nome “*espaço curricular*” ao invés de “*disciplina*” com a intenção de romper com uma concepção fragmentária da educação que compreenda a formação como uma simples justaposição de conhecimentos que pouco se relacionam entre si³. Dessa forma, o curso propõe que cada espaço curricular possa abordar, ainda que com ênfases variadas, diversos aspectos da formação docente, incluindo

²Alguns dos trabalhos desses estudantes foram apresentados em diferentes edições do SNEF (OPÚSCULO; POTENZA; CROCHIK, 2011; JÚNIOR; CROCHIK, 2009; SCHUTT; CROCHIK; CARMO, 2011).

³Por aderência ao hábito, entretanto, opto por utilizar, ao longo deste trabalho, a denominação mais curta “disciplina”. É muito difícil, afinal, instituir uma mudança de nomenclatura de forma artificial.

tanto o conhecimento específico de física quanto a formação pedagógica. É o que explicita o Projeto de Curso de Licenciatura em Física:

“Contra essa dissociação curricular, propomos, seguindo o espírito das Diretrizes, uma articulação dos saberes, voltada à capacitação político-pedagógica do futuro professor. A ideia básica é que o currículo e os espaços curriculares sejam concebidos como auto-similares, ou seja, as competências que definem o desenho curricular são norteadoras, também, da constituição dos espaços curriculares. (...) Os espaços curriculares devem contemplar uma formação do professor baseada no ciclo ação/reflexão/ação articulando conhecimentos experiencial, pedagógico e dos conteúdos da disciplina em que o professor irá atuar. Uma estratégia para o trabalho conjunto dos futuros professores e o professor-formador é aquela que pressupõe um paralelismo entre a situação de formação e a prática profissional” (CEFET-SP, 2005, p. 21).

Em particular, o espaço curricular *Oficina de Projetos de Ensino 1*, que é cursado idealmente no quinto semestre do curso, propõe que os estudantes iniciem o desenvolvimento de iniciativas mais autorais, buscando articular conhecimentos adquiridos e a experiência com o *estágio supervisionado*, que se inicia justamente nesse semestre do curso.

“As oficinas de projetos de ensino são espaços no currículo destinados às iniciativas autorais dos futuros professores nas áreas da experimentação e da inovação didática atreladas às práticas de ensino e aos estágios curriculares. A partir da definição dos seus projetos de pesquisa, elaborados em consonância com a proposta curricular proposta pelo docente responsável pela respectiva oficina, os alunos passam a receber orientação dos professores formadores” (CEFET-SP, 2005, p. 52).

Apesar da intenção do Projeto de Curso, a elaboração formal de projetos de pesquisa por parte de todos os estudantes a partir do quinto semestre não se mostrou factível. Ainda assim, os quatro espaços curriculares *Oficina de Projetos de Ensino 1, 2, 3 e 4* cumprem um papel interessante no curso, por representarem espaços de maior liberdade de criação tanto (e principalmente) para os docentes por elas responsáveis como também para os estudantes. Sua articulação com as atividades de estágio representam, de certa forma, um convite aos estudantes para, dentro de seus limites, arriscarem-se em proposições que estejam mais em consonância com seus interesses, habilidades e convicções. Além do mais, o estágio representa um momento propício para o estudante refletir a respeito do nível de apropriação que alcançou a respeito de assuntos com os quais se relacionou, em um primeiro momento, exercendo o papel de aluno.

“Em cada semestre do curso, o estágio promove a articulação entre os assuntos tratados nos espaços curriculares e a vivência profissional, mediados pelo professor responsável pelo espaço curricular nos horários de orientação coletiva juntamente com a atuação individual do professor orientador” (CEFET-SP, 2005, p. 26).

Dentro desse contexto, elaborei a proposta de uma *Oficina de Projetos* com os seguintes objetivos principais⁴:

- Desenvolvimento da prática de ensino sob a perspectiva da experiência e do envolvimento com o tempo presente;
- Compreensão ampliada da noção de espaço, pelo diálogo entre suas significações restritas ao contexto da física e associadas a contextos mais amplos, incluindo a vivência cotidiana e as expressões artísticas;
- Observação da vida na escola em busca de um olhar não-cotidiano, através da atenção específica ao estabelecimento espacial das relações.

A disciplina envolve três dimensões diferentes de abordagem, associadas respectivamente à discussão de um certo conteúdo físico, à prática de ensino e à experiência de estágio. Do ponto de vista do conteúdo físico discutido, o foco de debate associou-se à noção de *relatividade*. Algumas formas de “relatividade” seriam debatidas:

- a relatividade da direção vertical, associando-a à concepção de uma Terra esférica;
- a relatividade com relação ao ponto de vista e o ângulo de visão;
- a relatividade do movimento e a indistinguibilidade entre repouso e movimento retilíneo uniforme, associando-a à formulação da lei da inércia e ao modelo heliocêntrico;
- a relatividade da simultaneidade, associando-a às transformações de Lorentz.

Ressalte-se que, em princípio, os estudantes, no quinto semestre, cursaram uma grande quantidade de espaços curriculares que abordaram a mecânica clássica, incluindo o estudo da gravitação sob uma perspectiva histórica. No quinto semestre, há um espaço curricular voltado especialmente ao estudo da teoria da relatividade, que seria cursado em paralelo pelos estudantes. Dessa forma, a discussão dos conteúdos físicos em *Oficina de Projetos* representaria, em princípio, uma segunda abordagem, uma revisita a assuntos previamente discutidos, permitindo aos estudantes refletirem a respeito do seu nível de apropriação com relação a estes assuntos.

Com relação à prática de ensino, como apontado acima, a preocupação central da disciplina proposta associa-se à constituição de *experiências*, em um sentido forte da palavra, associado

⁴Os múltiplos sentidos e desdobramentos associados a cada um desses objetivos serão melhor esclarecidos ao longo deste trabalho. Apesar do risco de expô-los de forma prematura, desvinculada ainda da reflexão teórica que será melhor desenvolvida adiante, opto por discuti-los brevemente aqui para criar uma primeira imagem sintética da intervenção pedagógica a que me propus.

ao pleno envolvimento, em tempo presente, com situações não completamente controladas, situações em que é possível a criação, em relação com o(s) outro(s), de pensamentos, imagens, sentidos não antevistos. Nesse contexto, o recurso a dinâmicas de *jogos teatrais* adquiriu relevância, como teremos oportunidade de discutir mais adiante. Assim, são propostas situações em que as pessoas são convidadas, dentro do limite em que se sentem à vontade, a colocar-se em situação de *exposição*, em situação “de risco”, a ir além do lugar em que estão em pleno controle da situação, permitindo assim que “algo” possa *lhes acontecer*. Esse convite à exposição evidentemente deve incluir também o próprio professor. Dessa forma, o convite à exposição não pretende instaurar uma divisão hierárquica em que alguns se expõem em sua fragilidade enquanto o docente, em pleno domínio, julga aos demais em suas “falhas”, mas sim instaurar um ambiente em que todos possam se sentir à vontade em sua busca por criar e aprender, em sua busca de *ser mais*.

Por compreender a relevância dessa situação de exposição tanto em sua dimensão intelectual como físico-corporal, tornou-se importante a criação de um ambiente que permitisse a expressão o mais livre possível do corpo e da palavra. Utilizar uma sala em que fosse possível uma flexibilidade com relação à organização tradicional de mesas e cadeiras de uma sala de aula, que permitisse um uso confortável de seu chão e que criasse um mínimo de resguardo e proteção com relação ao ambiente externo foi um desafio particularmente complexo em uma instituição que reduziu ao mínimo possível, no nível médio de ensino, as aulas de artes e optou por transformar o espaço do teatro da escola em depósito de objetos de patrimônio sem condições de uso. A solução que se mostrou, por enquanto, viável foi a utilização do espaço do “Clube de Ciências” da escola, que é organizado e mantido pela Área de Física, que o alimenta com experimentos construídos por alunos dos mais diversos níveis de ensino, mas que encontra-se no momento parcialmente desativado, uma vez que o Instituto não contrata monitores que possam abrir o espaço para visitação. Como sua utilização está, por isso, restrita, foi possível operar, nos horários de aula, um desvio na função do espaço, afastando os experimentos e cobrindo o chão com tatames de EVA (comprados pelo docente...), transformando-o assim em um espaço razoavelmente adequado para as atividades propostas.

Além do diálogo em tempo e espaço presentes, a disciplina estimulou a sua realização também em “espaço virtual”, através de um *blog*. A maior parte das atividades de avaliação devia ser entregue neste espaço. Assim, ao invés de, como em um modelo tradicional, serem destinadas à leitura exclusiva do docente e visarem exclusivamente garantir a aprovação e a nota do aluno, elas foram destinadas à leitura e comentário públicos, passando a ter uma função mais construtiva com relação às reflexões propostas e tornando-se outra forma de estímulo à exposição e expressão dos estudantes.

Por fim, com relação às atividades de estágio, que são parte integrante do espaço curricular *Oficina de Projetos*, como foi apontado nos objetivos elencados acima, a ênfase recaiu na educação de um olhar verdadeiramente atento ao espaço da escola. Observar os diversos espaços de uma escola, os diversos grupos que a frequentam e a maneira como as pessoas se relacionam em cada espaço, evitando o estabelecimento e a influência de julgamentos prévios, parece uma tarefa das mais simples. Entretanto, a simplicidade da atividade torna-a talvez mais difícil: apenas observar e descrever, com o máximo de atenção a todos os detalhes, sem prejudicar. As questões que se colocam frente a essa orientação relacionam-se ao desafio de “desnaturalização” do cotidiano escolar, de “estranhamento” frente ao que parece natural. Como estabelecer um olhar novo, não-viciado, para situações vividas cotidianamente? É nesse sentido que a focalização da atenção na simples organização espacial das relações, no *cruzamento* entre o espaço físico e a organização espacial das relações humanas, pretende combater uma *psicologização*, já carregada de estereótipos, das observações.

Principais suportes teóricos.

A experiência que tive ao oferecer a disciplina *Oficina de Projetos de Ensino* constitui um foco privilegiado de reflexão deste trabalho. Entretanto, meu objetivo não é tanto o de discutir todos os detalhes associados ao seu desenvolvimento, mas o de incorporar essa experiência ao contexto da busca pela valorização das dimensões poéticas da educação e da ciência, a que fiz referência anteriormente e, mais particularmente, ao contexto da busca por experiências estéticas do espaço e tempo físicos. Sendo essa busca, por sua própria natureza, incerta, tateante e “perigosa”, qualifiquei-a, no título deste trabalho, como “aventuras docentes”, no plural porque trata-se de uma busca múltipla e porque são múltiplos os docentes (formados ou em formação) nela envolvidos. Embora essas “aventuras” se deem em um espaço não completamente conhecido e esclarecido, elas não ocorrem em um espaço “vazio”, desestruturado. Ao contrário, diversas referências teóricas permitem organizá-lo e mapeá-lo. Assim, talvez seja interessante, ainda nessa introdução, fazer referência a alguns autores que me apoiaram nessa jornada.

No que diz respeito à reflexão educacional, a busca por uma perspectiva emancipadora levou-me a fundamentar grande parte de minhas reflexões no educador pernambucano Paulo Freire. Tomá-lo como ponto de partida de uma reflexão implica, de certa forma, assumir uma série de pressupostos não apenas pedagógicos, como também – e talvez até principalmente – epistemológicos e político-sociais. Implica reconhecer-se em uma sociedade histórica, em permanente transformação, fundada em contradições sociais que configuram relações de opressão, e, por outro lado, perceber o conhecimento e as verdades científicas também em sua historicidade, de forma não dissociada da estrutura social que os produz, na qual as perguntas cujas

respostas esse conhecimento traduz fazem sentido e adquirem relevância. No contexto mais especificamente educacional, implica compreender que, posto que as relações de opressão derivam de uma estrutura social, a emancipação também não pode ser um ato individual, mas coletivo, de maneira que a educação deve ser reconhecida como uma ação cultural que procura nos tornar campo para a ação transformadora exercida por nós mesmos, ação cujo “método” fundamenta-se no diálogo e não em qualquer forma “benevolente” de “doação” (ou venda. . .) de conhecimentos daqueles que supostamente os têm àqueles que supostamente deles são “carentes”.

Por outro lado, interessado também na expressão mais subjetiva dessas relações de opressão, manifestada na forma de um alheamento com relação ao mundo e aos eventos que nos passam, de uma submissão a um ritmo de vida exterior e mecanizado, de falta de sensibilidade, anestesiamento e incapacidade de criação do que quer que seja, encontrei no educador espanhol Jorge Larrosa uma referência interessante, no contexto educacional, para o desenvolvimento dessa reflexão. Ao defender uma perspectiva educacional fundamentada na *experiência*, compreendendo esse termo justamente em referência à abertura necessária para que os acontecimentos supostamente exteriores nos deixem marcas, nos aconteçam, nos transformem, esse filósofo da educação cria um espaço de abertura para a inserção de abordagens que privilegiem a sensibilidade não apenas em sua dimensão intelectual, como também afetiva, emocional, sensorial, corporal e que, ao fazerem isso, se abram para a dimensão poética de toda e qualquer linguagem, para expressões que rompam com o esperado, com o compreendido, com o assimilado. Nessa dimensão poética, a linguagem não funciona apenas como um elemento de unificação, de compreensão, de redução de qualquer expressão a um sistema racional e compreensível de significados, mas também permite, ao contrário, a expressão do indizível, do incompreensível, a multiplicação dos significados, a ultrapassagem da própria linguagem.

Dessa forma, a referência à sensibilidade e à sensorialidade é um elemento que permite-nos experimentar a compreensão da educação como arte, tema principal do capítulo 2. Tanto a artista plástica polonesa-brasileira Fayga Ostrower como a diretora teatral norte-americana Viola Spolin dão bastante destaque ao desenvolvimento da percepção e da sensibilidade, compreendendo-as como fundamento do gesto criativo. A criação nasce da própria sensibilidade, da própria “escuta”: dos nossos impulsos internos, da materialidade expressiva de uma linguagem e do mundo. Fayga Ostrower, em particular, preocupada em compreender os processos de criação não apenas na arte como também em todas as atividades humanas, reconhecendo a incapacidade de criação como uma evidência do caráter alienante e opressivo de nossos trabalhos, oferece-nos, de certa forma, um fundamento comum para a reflexão a propósito da criação na educação, na arte e na ciência. Por outro lado, Viola Spolin, com seu interesse pela criação que

se estabelece, em um jogo de improvisação teatral, por jogadores que se relacionam uns com os outros e com o ambiente em tempo presente, por meio de formas tácitas de comunicação e envolvimento, permite-nos refletir sobre o diálogo freireano em uma abordagem que privilegie não apenas a dimensão verbal desse diálogo, como também as diversas outras dimensões sensoriais envolvidas.

A referência que aqui fazemos à sensibilidade não se coloca em oposição dicotômica à racionalidade e ao intelecto, muito pelo contrário. O percurso freireano envolvendo a imersão, emersão e posterior inserção em uma realidade, que se apresenta inicialmente espessa e impenetrável e pode depois ser re-percebida em sua estrutura historicamente condicionada e sujeita à mudança, parece ser potencializado pela forma como, no tipo especial de “diálogo” que se estabelece no sistema de jogos teatrais, os jogadores experimentam ora a função mais ativa do jogo, ora a função da observação atenta e da posterior discussão. Nesse sentido, complementamos a aproximação entre a dinâmica de jogos teatrais e a noção de diálogo freireana com a noção de *estranhamento* do dramaturgo e diretor teatral alemão Bertolt Brecht. Os procedimentos propostos por este artista para produzir *efeitos de estranhamento* são uma fonte de inspiração para formas de potencializar, por meio da dinâmica de jogos teatrais, o diálogo, a um tempo sensível e reflexivo, que estabelecemos a propósito dos objetos do conhecimento, entre nós e com o mundo.

A reflexão a propósito das possibilidades de compreensão da ciência *como* arte (tema principal do capítulo 3) levaram-me à procura de abordagens epistemológicas que enfatizassem o caráter criativo, simbólico, “selvagemmente especulativo” (como escreveu Einstein certa vez) da atividade científica. Nesse sentido, o filósofo alemão Ernst Cassirer tornou-se relevante por oferecer uma compreensão unificada de todas as nossas produções culturais, pensadas como *formas simbólicas*. Ao afirmar o caráter mediado por construções simbólicas de nosso contato com o mundo, este filósofo neokantiano afasta-se de concepções empiristas que procurem reconhecer no conhecimento humano um simples resumo e organização de experiências empíricas atômicas previamente dadas e reconhece no simbolismo a própria *função* de constituição e objetivação da experiência. Sua distinção entre funções *expressivas*, *representativas* e *significativas* permite-nos, ao mesmo tempo, perceber a especificidade do conhecimento científico e a unidade articulada que ele forma com o todo de nossas produções simbólicas.

Por outro lado, o filósofo francês Gaston Bachelard oferece-nos uma perspectiva complementar que permite-nos pensar a respeito das possibilidades de ultrapassagem com relação a si mesmas que têm, cada uma em seu campo, a *racionalidade científica* e a *imaginação poética*, constituindo-se por isso como faculdades essencialmente criadoras de novas realidades e de novas irrealidades. Embora, para este filósofo, as imagens representem frequentemente

um obstáculo para o avanço da racionalidade científica e, da mesma forma, a racionalização represente um obstáculo à imaginação criadora, considerando o caráter dialético de sua filosofia, creio que também esses obstáculos podem e devem ser reconhecidos como elementos que propiciam dinamismo, movimento ao pensamento e à imaginação. Se é necessário, às vezes, combatê-los, isso não significa que seus efeitos sejam apenas negativos na dinâmica de criação propiciada por essas duas atividades.

Esses dois filósofos, dessa forma, nos propiciam representações que parecem conferir lugares relativamente distintos à ciência e à arte. Entretanto, sua abordagem do conhecimento humano retrata uma multiplicidade de funções, de formas de relação com o mundo, que não se apresentam de forma segmentada, mas parecem sobrepor-se umas às outras, de maneira que qualquer forma “real” de conhecimento parece poder ser decomposta em distintas componentes, cada uma delas associada a uma forma específica de relação com o mundo. Bachelard, em particular, chega a explicitar essa decomposição, com sua noção de *perfil epistemológico*. Assim, compreender a ciência como arte, dialogando com as concepções desses dois filósofos, envolve realizar uma valorização de certas componentes que estão presentes no conhecimento científico, mas que são usualmente desconsideradas em reflexões epistemológicas.

O capítulo 4, por fim, pretende fazer “uso” da abordagem defendida nos dois capítulos anteriores – de reflexão a respeito da educação e da ciência aproximando-as das artes – ao discutir mais particularmente a realização de uma leitura de concepções científicas de espaço e tempo em diálogo com as artes e em torno a uma experiência pedagógica. A bem da verdade, devido à opção metodológica de pensar o trabalho pedagógico em constante diálogo com a pesquisa mais teórica, a exploração desse tema já está bastante presente nos dois capítulos anteriores, apenas se apresentando neste último capítulo de maneira mais sistemática. O “fio” que dá continuidade às reflexões propostas neste capítulo associa-se à exploração do desenvolvimento histórico das concepções de espaço e tempo, enfocando particularmente as abordagens que propõem formas de relativização de noções previamente consideradas absolutas, integrando-as em uma estrutura simbólica mais complexa que permite compreender e representar a forma de transformação dessa noção em distintos contextos. O diálogo entre arte, ciência e educação, nesse contexto, procura se valer da “leitura” comparada das “obras” de diversos cientistas, artistas e filósofos e dos desenvolvimentos criativos que essas leituras propiciam em um contexto pedagógico.

A realização de “leituras”, seja de trabalhos científicos ou artísticos, não corresponde nunca a um esgotamento de todas as suas possibilidades de significação, mas apenas à construção de linhas de “interpretação” que nos permitam “traduzir” aspectos desses trabalhos em formas que nos sejam significativas. As “leituras”, as “interpretações”, as “traduções”, as “compreensões” e as “explicações” não são nunca, para nós, redutoras, mas procuram operar um duplo movi-

mento de busca por um denominador comum que permita o diálogo entre diferentes contextos de expressão e de criação de novas leituras, relações e possibilidades expressivas que multipliquem a significação e a linguagem. Nessa operação, encontramos um caminho metodológico para o trabalho aqui desenvolvido. Não se trata nem de procurar relações de identificação entre materialidades e linguagens que jamais poderiam ser identificadas (trabalhos artísticos e científicos por exemplo), nem tampouco de rejeitar qualquer possibilidade de diálogo, mas de, ao procurar por analogias, pretender criar, também, novas e fecundas possibilidades de experiência e compreensão de temas algumas vezes excessivamente petrificados em uma forma gasta. Como afirma Umberto Eco:

“Está fora de dúvida que é perigoso estabelecer simples analogias; mas é igualmente perigoso recusar a individualizar certas relações por injustificada fobia às analogias, próprias dos espíritos simples ou das inteligências conservadoras. Gostaríamos de lembrar uma frase de Roman Jakobson: ‘Àqueles que se amedrontam facilmente com analogias arriscadas, responderei que também detesto analogias perigosas; mas adoro as analogias fecundas’” (ECO, 1971, p. 60).

2 *Educação como arte*

“O teatro, tal como todas as outras artes, tem estado, sempre, empenhado em divertir. E é este empenho, precisamente, que lhe confere, e continua a conferir, uma dignidade especial. Como característica específica, basta-lhe o prazer, prazer que terá de ser, evidentemente, absoluto. (...) O teatro precisa poder continuar a ser algo absolutamente supérfluo, o que significa, evidentemente, que vivemos para o supérfluo. E a causa dos divertimentos é, dentre todas, a que menos necessita de ser advogada” (BRECHT, 1978a, § 3).

“A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” (Constituição Federal, art.205).

Pensar a educação como arte não significa igualar essas atividades, negando suas diferenças. O valor de se pensar a atividade pedagógica como uma expressão artística deve-se justamente ao fato de se tratarem de funções evidentemente diferentes, frutos de tradições históricas distintas. Se estivéssemos diante de ações equivalentes, o título desse capítulo teria o valor de uma tautologia. Pensar a educação como arte, dessa forma, significa introduzir em nosso centro de interesse (a educação) um vetor que possa provocar deslocamentos de significado, que nos permita dar novos sentidos a nossas ações.

As citações em epígrafe explicitam possíveis diferenças de propósitos que animam essas duas tradições culturais. Por um lado, uma atividade de caráter compulsório, formal, com objetivos claros e definidos (associados à preparação e ao desenvolvimento da pessoa), subdividida em diversos níveis hierárquicos, dos quais a respectiva conclusão é certificada por um complexo sistema de avaliações que é muitas vezes confundido com a própria finalidade última de todo o processo. Por outro, um conjunto de manifestações tão diversificado que é difícil encontrar algum denominador comum que nos permita defini-las¹, algumas vezes vinculado a uma tradição mais popular, outras a uma mais erudita, algumas vezes mais marginal outras mais fortemente vinculado à indústria cultural, mas, do ponto de vista de sua recepção, de caráter

¹Também a educação, evidentemente, apresenta uma grande multiplicidade de facetas. Se apresento, neste parágrafo, uma imagem dela que enfatiza seu aspecto mais rígido e instrumental para a inserção do indivíduo em uma estrutura social produtiva isto se deve ao interesse inicial de destacar uma possível polaridade entre arte e ciência.

não-compulsório, não-certificado por sistemas de avaliação e com finalidades e objetivos muito menos definidos.

Ao atentarmos ao exercício cotidiano destas funções, vemos novas diferenças, algumas vezes aparentemente opostas às que acabamos de elencar. Comparemos por exemplo uma aula de física de nível médio (ou superior) a um espetáculo teatral. A duração desses dois *encontros* não costuma ser significativamente diferente. A divisão dos sujeitos que dele participam em dois grupos distintos (público e artistas / estudantes e professor) é outra característica comum. A forma de participação de cada um dos agentes, entretanto, é muito distinta nos dois casos. A participação dos estudantes envolve um *comprometimento com a aprendizagem*, ausente na participação do público, que possui uma atitude mais *espontânea*. Esse comprometimento, entretanto, deve-se muitas vezes ao caráter compulsório da participação em sala de aula, de forma que, quando é este o aspecto predominante, o comprometimento torna-se forçado e predomina a *apatia*. Já o caráter espontâneo da participação do público de um espetáculo condiciona um jogo de criação de relações de *simpatia* e *antipatia*, *identificação* e *estranhamento*, através do qual se dá o envolvimento com o espetáculo. O caráter compulsório das relações escolares também dá à ação docente um limite ético de atuação relativamente rígido, sendo a questão do *abuso de autoridade* uma preocupação sempre presente nestas relações. Por seu lado, o estado de *exposição* em que os artistas se colocam também lhes confere uma forma de poder que pode algumas vezes ser exercido de uma forma que é mal recebida, especialmente quando ele é utilizado para expor não a si mesmo, mas a indivíduos do público.

A preparação envolvida na concretização desses dois encontros é outro elemento marcante de diferenciação. É um elemento comum que merece destaque o fato destes encontros demandarem sempre uma preparação, ainda que de durações muito distintas. O tempo de ensaio de um espetáculo pode facilmente chegar a um ano, enquanto é difícil imaginar a preparação de uma aula que exceda a duração de uma semana. Espetáculos e aulas costumam ser repetidos mais de uma vez e o desafio de manter viva a chama da primeira vez é um elemento comum ao exercício das duas atividades. Enquanto a preparação de uma aula geralmente concentra-se em conteúdos e atividades que possam promover a aprendizagem e alcançar determinados objetivos, a preparação de um espetáculo é muito mais minuciosa e as estruturas que se colocam *entre* os partícipes – a organização do espaço, a iluminação, as vestimentas, o corpo e a voz – tornam-se elementos de linguagem, indissociáveis de qualquer suposto “conteúdo” que eventualmente se pretenda abordar. Já em uma aula, é muito difícil irmos além de pensar que uma “boa” iluminação, uma voz “bem” articulada e com um “bom” volume sejam elementos importantes para uma “boa” aula. Não refletimos sobre esses elementos como elementos de linguagem que, em seus diversos matizes, possam significar coisas distintas e não apenas comunicar bem ou mal.

Essas diferenças repercutem também na maneira como se entende a preparação de mais longo prazo que um professor ou um ator devam ter para o exercício da profissão. Enquanto é evidente que qualquer ator deve ter desenvolvido e exercitado as múltiplas possibilidades expressivas de seu corpo e voz, a formação do professor, mesmo quando se preocupa com a prática docente, não considera a importância do desenvolvimento de sua expressividade corporal.

A questão do elemento ficcional parece-me uma distinção à primeira vista evidente entre o teatro e a sala de aula, mas que encobre um elemento comum mais profundo. Afinal, tanto em um teatro como em uma sala de aula estamos construindo formas simbólicas que nos permitem novas possibilidades de percepção e compreensão da realidade. Se a representação de uma situação fantasiosa, ficcional, pode parecer menos real que a construção de um modelo teórico de um acontecimento real, também é possível ter a sensação inversa e crer mais na situação ficcional por ela nos trazer elementos da realidade que foram justamente esquecidos pelo modelo teórico. Em um caso ou em outro, de qualquer forma, estamos diante de representações. Se a representação de um papel por um ator pode parecer menos verdadeira que a presença de um professor real a exercer sua função, sem pretender fingir ser o que não é, também é possível ter a sensação inversa e acreditar mais na personagem que mostra elementos de sua subjetividade que o docente evita. Em um caso ou em outro, estamos diante do exercício de papéis. Papéis que se por um lado escondem, por outro desvelam facetas antes insuspeitas de nossa subjetividade.

Que perspectivas da atividade docente podem ser abordadas a partir da possibilidade de pensá-la como arte? A rápida comparação realizada acima já demonstra que são inúmeras as possibilidades. Ao longo da pesquisa desenvolvida em torno ao presente trabalho, penso ter refletido especialmente a respeito de cinco temas: (i) a relevância de pensar o trabalho docente como um exercício de criação, o que evidentemente não exclui a sua dimensão de reprodução, que pode e deve ser também criativa; (ii) a necessidade de conceber, por isso, o exercício de *traduções* de uma tradição cultural que o docente realiza também como um exercício criativo, de multiplicação de significações e sentidos; (iii) a importância de compreender a docência como um ato de *exposição* subjetiva, o que pressupõe um estado de aguçamento da percepção e da receptividade; (iv) a possibilidade de compreender e exercitar a *dialogicidade* a partir de um olhar para os recursos da linguagem teatral presentes na sala de aula; (v) a possibilidade de lançar um olhar estético para o jogo dialético entre *imersão e emersão*, envolvimento e distanciamento com relação a uma realidade supostamente “dada”.

Vamos, a seguir, abordar cada um dos temas elencados.

2.1 Docência como criação

Nosso ponto de partida é, juntamente com Paulo Freire (1987), a fé na vocação histórica do homem de “ser mais”: fé em seu caráter perenemente inconcluso, mas capaz da consciência de sua inconclusão, capaz de ser sujeito de sua própria mudança, de ser sujeito de sua *humanização*. Porém, nosso ponto de partida é também o reconhecimento da realidade histórica de nossa desumanização, do estado de opressão que mistifica o real, fazendo-o parecer a-histórico, autônomo com relação aos homens, que dessa forma deixam de ser sujeitos de sua história para se tornarem apenas objetos de um sistema espesso que os contém indistintamente.

Um aspecto desse estado de opressão é a incapacidade de criar. Talvez a criatividade, nos menores gestos, seja a expressão microscópica desse esforço humano de ser sujeito de seu devir. Juntamente com a artista plástica e arte-educadora Fayga Ostrower (1977, p. 5), “consideramos a criatividade um potencial inerente ao homem, e a realização desse potencial uma de suas necessidades”. Juntamente com o filósofo Gaston Bachelard, acreditamos que a possibilidade de sonhar, de dar vazão à *imaginação criadora* é essencial a qualquer trabalho que se pretenda humano:

“Retire os sonhos, e você abaterá o operário. Negligencie as potências oníricas do trabalho, você diminuirá, aniquilará o trabalhador. Cada trabalho tem seu onirismo, cada matéria trabalhada suscita seus devaneios íntimos. O respeito às forças psicológicas profundas deve nos conduzir a preservar de qualquer ataque o onirismo do trabalho. Não se faz nada de bom a contragosto, isto é, a contra-sonho. O onirismo do trabalho é a própria condição da integridade mental do trabalhador” (BACHELARD, 2001, p. 75).

Desta perspectiva, compreendemos que a docência, para que possa representar um esforço comum de humanização e não uma forma alienada e alienante de trabalho, deve pressupor a criação e o desenvolvimento da criatividade. Supor que a criatividade seja um dom privilegiado de artistas e “pessoas especiais” é encobrir o caráter alienante e opressivo de nossos trabalhos. Como afirma Ostrower:

“O vício de considerar que a criatividade só existe nas artes deforma toda a realidade humana. Constitui uma maneira de encobrir a precariedade de condições criativas em outras áreas de atuação humana, por exemplo na da comunicação, que hoje se transformou em meros meios sem fins, sem finalidades outras do que comerciais. Constitui, certamente, uma maneira de se desumanizar o trabalho. Reduz o fazer a uma rotina mecânica sem convicção ou visão ulterior de humanidade. Reduz a própria inteligência humana a um vasto arsenal de informações ‘pertinentes’, não relacionáveis entre si e desvinculadas de problemas prementes da humanidade. Nessas circunstâncias, como poderia o trabalho ser criativo?” (OSTROWER, 1977, p. 39).

2.1.1 Criatividade como forma de sensibilidade e de envolvimento com o ambiente

Como entender o papel da criatividade na docência? Precisamos, primeiro, construir uma compreensão comum do que seja a criatividade. Há uma forma talvez demasiadamente superficial de entender a criatividade como uma capacidade ilimitada de fazer coisas novas, independentemente de qualquer experiência ou contexto anterior. Dessa forma, a capacidade de criação fica parecendo um *dom* incompreensível e inatingível e a criação um gesto “gratuito”, sem significado. Não é esse o ponto de vista que assumo aqui. Para construir uma visão alternativa a esta, apoio-me na concepção desenvolvida por Fayga Ostrower (1977), que abordamos a seguir.

Se imaginarmos a criação como uma faculdade ativa, de construção, e a sensibilidade e a percepção como faculdades passivas, de recepção, será a primeira vista surpreendente ler a definição dessa autora, para quem “a criatividade não seria então senão a própria sensibilidade” (OSTROWER, 1977, p. 17). Como é possível tal equivalência? Como é possível que perceber o mundo como é possa ser equivalente a criar o que ainda não existe? Uma chave para a compreensão dessa definição da autora será adotar uma abordagem que não dicotomize tão esquematicamente faculdades ativas e passivas.

Começemos percebendo o caráter ativo das faculdades aparentemente passivas da sensibilidade e da percepção. Fayga define a sensibilidade como a própria condição de abertura para e de troca energética com o mundo, que não só o homem, mas todo ser vivo precisa ter para manter-se vivo. Evidentemente porém, nem tudo que nossa sensibilidade “capta” torna-se consciente para nós. Nesse sentido, a percepção seria a dimensão consciente da sensibilidade. Como dimensão consciente, ela não se identifica com supostas sensações elementares e independentes do sujeito, mas já é uma certa ordenação em uma forma específica, “uma elaboração mental das sensações”². Dessa forma, a percepção delimita o que somos capazes de sentir e compreender e “cria uma barreira entre o que percebemos e o que não percebemos”. Ela:

“articula o mundo que nos atinge, o mundo que chegamos a conhecer e dentro do qual nos conhecemos. Articula o nosso ser dentro do não-ser” (OSTROWER, 1977, p. 12-3).

Esse limite estabelecido pela percepção, essa forma específica que ela dá ao nosso ser, não é inato ou estabelecido a priori, mas o resultado de nossa história pessoal e cultural. A maneira como nos percebemos e como percebemos o mundo é o resultado de nossa longa história de construção de formas simbólicas que nos permitem ver, sentir e pensar o mundo.

²Comparar com a discussão, na mesma direção, que Cassirer constrói a respeito da percepção, conforme comentamos na página 130.

A associação entre criação e sensibilidade se dá porque, ao invés de ser uma fabricação de algo novo a partir “do nada”, a criatividade é, para Fayga, a capacidade de dar forma, de formar algo novo. Formar a partir do quê? De nossa sensibilidade e de nossa percepção sobre o mundo e sobre uma *materialidade*, uma *linguagem* específica. Essa formação, essa ordenação de uma certa materialidade não é distinta da ordenação que a percepção realiza. Ato intencional e consciente – mas em grande medida intuitivo – a criação estabelece, a partir de materialidades diversas, formas que convertem “a expressão subjetiva em comunicação objetivada”:

“Se a fala representa um modo de ordenar, o comportamento também é ordenação. A pintura é ordenação, a arquitetura, a música, a dança ou qualquer outra prática significativa. São ordenações, linguagens, formas; apenas não são formas verbais, nem suas ordens poderiam ser verbalizadas” (OSTROWER, 1977, p. 24).

Por ser consciente e intencional, a criação não é gratuita, mas movimentada por sucessivas escolhas. Cada escolha, por um lado, destrói uma infinidade de potencialidades não realizadas e, por outro, cria uma tensão que ativa um novo conjunto de potencialidades que animarão a próxima escolha. Um exercício proposto por Ostrower (2003, p. 20-1) ilustra esse processo: em uma aula de arte para uma turma de operários, a autora solicita que um aluno vá a lousa e desenhe uma linha qualquer; a seguir, solicita que uma segunda pessoa vá ao quadro e desenhe uma segunda linha que complemente a primeira; a cada etapa, ela comenta com os estudantes sobre os possíveis sentidos de suas contribuições. Cada escolha elimina uma multiplicidade de opções de desdobramento possíveis em função de uma, que efetivamente se realiza e se abre em novas possibilidades, que motivarão novas escolhas. Dois exemplos desse processo estão expostos na figura 2.1.

Um estado de tensão psíquica, uma espécie de tônus criativo, é necessário para alimentar o processo de criação e dar sentido às escolhas realizadas. A capacidade de manter esse estado tonificado e de realimentá-lo com a própria criação é parte essencial do processo, garantindo a vitalidade da criação. Mais do que uma *descarga* de energia e tensão, criar representa:

“uma intensificação do viver, um vivenciar-se no fazer; e, em vez de substituir a realidade, é a realidade; é uma realidade nova que adquire dimensões novas pelo fato de nos articularmos, em nós e perante nós mesmos, em níveis de consciência mais elevados e mais complexos. Somos, nós, a realidade nova” (OSTROWER, 1977, p. 28).

Vemos aqui a mesma vocação humana de “ser mais” conceituada por Paulo Freire, a mesma consciência da própria incompletude e a mesma busca por nossa humanização. Evidentemente, cabe ressaltar que não se trata aqui de propor qualquer solução mágica do tipo: “tornemos os alunos criativos e eles deixarão de ser oprimidos”. Ao contrário, a concepção de criatividade

Figura 2.1: Exercício proposto por Fayga Ostrower (2003, p. 20-1) no qual estudantes vão sucessivamente ao quadro e desenhavam uma linha, dialogando com o conjunto de linhas já desenhado anteriormente. A cada momento, uma escolha que destrói potencialidades não realizadas e cria novas tensões no espaço, abrindo novas possibilidades de criação.

aqui apresentada aborda a forma como lidamos com um certo *estado de percepção*, que é constituído histórica, social e culturalmente e não dado a priori, a respeito do mundo, das relações sociais e de nós mesmos neste mundo; a criação remete à forma como colocamos em tensão essas formas de percepção e como buscamos re-ordená-las, re-formá-las em nossas representações simbólicas.

O caráter social, coletivo deste processo de criação, embora esteja sempre presente (uma vez que a nossa própria percepção é constituída socialmente), é particularmente acentuado em fazeres eminentemente coletivos como são o teatro e a sala de aula. Nesse sentido, vale a pena complementar a abordagem sobre a criatividade exposta até agora com contribuições da diretora teatral e arte-educadora Viola Spolin, sistematizadora de uma forma de improvisação teatral fundamentada em *jogos teatrais*, que discutiremos em maior detalhe um pouco adiante.

Ao valorizar aquilo que chama de *experiência criativa*, Spolin compreende a noção de experiência de maneira semelhante a como Ostrower entende a sensibilidade, mas enfatizando a noção de troca com o ambiente em todos os níveis, de *penetração* no ambiente, *envolvendo-se* totalmente com ele nos níveis intelectual, físico e intuitivo. Parece-me que essa diferença de ênfase deve-se ao interesse de Spolin estar associado a uma criação que se dá no exato *aqui e agora* de uma troca, em um jogo de improvisação teatral, entre os jogadores e destes com o público, através das relações que se estabelecem no espaço entre todos estes corpos expressivos. O ato de criação continua sendo um ato consciente de múltiplas escolhas em que a intuição joga um papel fundamental, mas o caráter não mediado deste envolvimento com o ambiente, em que o ritmo da cena não pode ser interrompido pela indecisão dos jogadores, em que qualquer ação que se realize, qualquer movimento, qualquer respiração, é necessariamente parte do jogo criativo construído, leva Spolin a buscar a atitude de *espontaneidade* que advém de um envolvimento total com o imediato, com o aqui e agora do mundo em constante transformação:

“Através da espontaneidade somos reformados em nós mesmos. A espontaneidade cria uma explosão que por um momento nos liberta de quadros de referência estáticos, de memória sufocada por velhos fatos e informações, de teorias não digeridas e técnicas que são na realidade descobertas de outros. A espontaneidade é um momento de liberdade pessoal quando estamos frente a frente com a realidade e a vemos, a exploramos e agimos em conformidade com ela. Nessa realidade, as nossas mínimas partes funcionam como um todo orgânico. É o momento da descoberta da experiência, da expressão criativa” (SPOLIN, 1998, p. 4).

E tal como ocorre segundo Fayga, esse momento de liberdade associado à expressão criativa tem como resultado não uma mera descarga ou a criação de uma substituição do real, mas a criação de uma realidade nova, associada a um novo nível de percepção e consciência:

“Em qualquer forma de arte procuramos a experiência de ir além do conhecido. Muitos de nós ouvimos os movimentos do novo que está para nascer, mas é o artista que deve executar o parto da nova realidade que nós (plateia) impacientemente esperamos. É a visão desta realidade que nos inspira e regenera. O papel do artista é dar a visão” (SPOLIN, 1998, p. 14).

2.1.2 Criatividade docente

“[Ira Shor -] A ruptura criativa da educação passiva é um momento tão estético quanto político, porque exige que os alunos “re-percebam” sua compreensão anterior e que, junto com o professor, pratiquem novas percepções como aprendizes criativos. Talvez nos possamos considerar dramaturgos, quando reescrevemos os roteiros dramáticos da sala de aula, e reinventamos roteiros libertadores. O programa de estudo é tanto um roteiro quanto um currículo. A sala de aula é um palco para representações, tanto quanto um momento de educação. Ela não é só um palco e uma representação e não é só um modelo de pesquisa, mas também um lugar que tem dimensões visuais e auditivas. Lá ouvimos e vemos muitas coisas” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 74).

Fará sentido pensar na criatividade docente como uma faculdade *consciente e intencional*, associada à *sensibilidade* e ao *envolvimento com o ambiente nos níveis físico, intelectual e intuitivo*? Pensá-la como uma faculdade de *formação* de uma “realidade nova que adquire dimensões novas por nos articularmos, em nós e perante nós mesmos, em níveis de consciência mais elevados e mais complexos”? Quais os desafios envolvidos na defesa da docência como criação? Quais os gestos e as ações cujo valor criativo devemos reconhecer e valorizar?

O que cria um docente? Vejo em torno ao docente pelo menos duas “materialidades” com as quais ele interage de forma potencialmente criativa. Por um lado o corpo de conhecimentos do qual ele é suposto um conhecedor, cuja síntese ele deve ser capaz de formar, cujos possíveis significados e sentidos ele deve explorar. Por outro, o conjunto de estudantes por cuja “formação” ele é co-responsável.

O uso aqui da palavra “materialidades” tem efeito provocador. Por um lado, é evidente que um “corpo de conhecimentos” não possui materialidade física, mas apenas simbólica. Referimo-nos à sua materialidade ao identificar a complexa estrutura – de conceitos, de experiências, de paradigmas de pensamento e ação, de leis – que dá *corpo* a uma determinada área de conhecimentos. Por outro lado, embora seja evidente o caráter material, corpóreo dos estudantes, a imagem deles como uma “matéria a ser formada” é bastante estranha. Afinal, o sentido de formar estudantes deve ser bem distinto (esperamos!) daquele associado a formar uma estátua de um pedaço de mármore. Enquanto o pedaço de mármore apresenta uma resistência que deve ser “vencida” pelo artista para formar aquilo que deseja, da relação professor-estudantes

esperamos uma relação de trocas, o estabelecimento de consensos e mesmo um protagonismo discente. Em outras palavras, se a ação de um escultor *sobre* um bloco de mármore é uma ação criativa *sobre um objeto*³, a ação de um docente *em relação com* estudantes é uma *relação criativa entre sujeitos*. Por isso, não faz sentido pensar a criatividade docente de forma desarticulada da criatividade discente.

Talvez nosso maior desafio, na proposição da docência como criação, seja a superação do paradigma da transmissão: o docente como elo de ligação entre uma tradição científico-cultural e alunos, que são como páginas em branco; e quanto menor o atrito oferecido por esse professor – conector, melhor a qualidade da transmissão. Não há dúvida de que boa parte da pesquisa realizada em ensino foi motivada pelo combate a esse modelo de educação, tão bem caracterizado por Paulo Freire como educação bancária, fundamentada em “depósitos” de “conhecimento” na consciência dos alunos. Mesmo assim, é difícil negar que este continue sendo o paradigma dominante. No contexto de um processo histórico de profunda desvalorização social da docência, vale a pena refletirmos sobre os efeitos alienantes e opressivos desse modelo não apenas sobre os estudantes, como também sobre os professores. Nesse sentido, afasto-me de concepções associadas à noção de *transposição didática*, tal como proposta por Yves Chevallard. Essas concepções, embora fundamentem diversas pesquisas *atuais* em ensino de ciências, são, a meu ver, problemáticas por não reconhecerem na atuação docente e / ou discente um processo também de criação de conhecimentos, mas somente de transmissão e assimilação:

“O saber que produz a transposição didática será portanto um saber exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se, enquanto saber ensinado, como algo que não é de nenhum tempo nem de lugar nenhum, e não se legitimando mediante o recurso à autoridade de um produtor, qualquer que fosse. ‘Podem acreditar em mim’, parece dizer o docente, *para afirmar seu papel de transmissor, que não pode transmitir senão sob a condição de não produzir nada*, ‘podem acreditar em mim porque não se trata de mim...’” (CHEVALLARD, 2009, p. 18, tradução e grifos meus).

Não se trata de negar que o professor possa ser um elo de ligação, mas sim de rejeitar a imagem desse elo como um elo de transmissão ou a imagem de transmissão como um processo pelo qual, idealmente, um mesmo conteúdo simplesmente muda de lugar⁴. Se o docente é um

³Admito que essa descrição da atividade de um escultor está, aqui, bastante rasa. Afinal, em seu envolvimento sensível com a materialidade do mármore, o escultor não pode percebê-la, também, como um sujeito, dotado de toda uma profundidade? Bachelard (2001), por exemplo, comenta longamente a respeito dos devaneios em torno às profundidades da matéria, ao seu interior. Como minha intenção aqui, entretanto, é apenas enfatizar como, no caso da docência, essa ação criativa, com maior razão ainda e em sentido literal, é uma ação entre sujeitos, opto por manter a comparação.

⁴Evidentemente, a noção de transposição didática reflete sobre as transformações do conhecimento ao mudar de lugar. Entretanto, ela não parece aceitar esse processo como um processo também de construção e de criação de conhecimentos.

elo de transmissão, a interferência de sua subjetividade é compreendida como um ruído ou, na melhor das hipóteses, como um adorno dispensável. O importante é a sua adequada inserção em um sistema racional que pretende alcançar objetivos bem definidos, com a maior eficiência possível. Se pensamos este elo como um *elo de criação*, então a maneira específica e pessoal como o docente “traduz” uma certa herança científico-cultural, a maneira específica como ele cria, junto com os estudantes, novos sentidos para o mundo através dos instrumentos fornecidos por essa herança, a maneira como ele e seus estudantes se transformam por esse diálogo é que representam o fundamental de um processo pedagógico. Juntamente com a pesquisadora Alice Lopes, preferimos, nesse sentido, a noção de “mediação didática”:

“Mais coerentemente, devemos nos referir a um processo de mediação didática. Todavia, não no sentido genérico, ação de relacionar duas ou mais coisas, de servir de intermediário ou “ponte”, de permitir a passagem de uma coisa a outra. Mas no sentido dialético: um processo de constituição de uma realidade a partir de mediações contraditórias, de relações complexas, não imediatas. Um profundo sentido de dialogia” (LOPES, 1999, p. 209).

Desenvolveremos melhor, adiante, essa relação criativa que docentes e estudantes podem estabelecer com o conhecimento específico. Antes, gostaria de retomar as características que associamos à criatividade e pensar sobre seus sentidos na docência. O caráter consciente e intencional, que assumimos serem inerentes aos processos criativos, é bastante evidente na ação docente: afinal, é esse caráter intencional, com objetivos, que diferencia uma aula de um encontro espontâneo entre pessoas. Já a relevância da intuição neste trabalho costuma ser muito menos enfatizada ou percebida. Frequentemente, a demanda de intencionalidade é confundida com uma atitude racionalista que exige de toda proposição a sua adequada motivação e a definição dos objetivos que ela pretende alcançar. Essa demanda de completa coerência de nossas proposições, de sua inserção não-problemática em uma estrutura racional de objetivos já estabelecida, acaba atuando como um obstáculo à possibilidade de proposição de novas ordens, de novos objetivos que, ao serem criados, não aparecem em uma estrutura já acabada, mas compõem uma ordem apenas *intuída*. Tal como a percepção, a intuição é, para nós, uma faculdade integradora, de criação de ordens:

“Enquanto identificamos algo, algo também se esclarece para nós e em nós; algo se estrutura. Ganhamos um conhecimento ativo e de auto-cognição, uma noção que ao identificar as coisas, ultrapassa a mera identificação. Em qualquer situação em que nos encontremos, por exemplo, haverá de surgir inúmeros dados, dos quais alguns talvez já nos sejam familiares, outros novos, alguns talvez desconexos e outros até mesmo insólitos. No entanto, de modo aparentemente misterioso, de pronto os unimos. Os dados serão vistos em conjunto, pertencentes à situação à qual também nós pertencemos” (OSTROWER, 1977, p. 57).

Reivindicar a docência como criação é também reivindicar um maior espaço para a indeterminação de objetivos, uma suspensão das compreensões e dos sentidos já dados a priori, para permitir a construção de novas possibilidades de interpretação e de representação do mundo e de nós mesmos neste mundo. É reivindicar espaço para o não-saber, necessário à possibilidade de construção do saber. E quão difícil é a um docente reivindicar o seu direito ao não-saber! Um não-saber que não é incompetência ou má formação, mas a própria condição para a possibilidade de exercício do pensamento. Lembro-me da forma como Brecht expressou, através do personagem de Galileu Galilei, a necessidade de tempo para esse não-saber como condição para a pesquisa e o pensamento:

“[Galileu -] Eu ensino e ensino, e quando é que estudo? Homem de Deus, eu não sei tudo, como os senhores da Faculdade de Filosofia. Eu sou estúpido. Eu não entendo nada de nada. De modo que necessito preencher os buracos do meu saber. E quando é que tenho tempo? Quando é que faço pesquisa?” (BRECHT, 1991a, p. 65)

Lembro-me também de Funes, *el memorioso*, o personagem de Jorge Luis Borges que era incapaz de esquecer qualquer evento, qualquer sensação, mesmo a menor e mais fragmentária delas, e que, tamanho era o sufoco causado por sua memória e atenção infinitas, que já não podia mais pensar:

“Os dois projetos que indiquei (um vocabulário infinito para a série natural dos números, um inútil catálogo mental de todas as imagens de sua recordação) são insensatos, mas revelam certa balbuciante grandeza. Deixam-nos vislumbrar ou inferir o vertiginoso mundo de Funes. Ele, não esqueçamos, era quase incapaz de ideias gerais, platônicas. Não somente lhe custava compreender que o símbolo genérico cachorro abarcasse tantos indivíduos díspares de diversos tamanhos y formas; molestava-lhe que o cachorro das três e catorze (visto de perfil) tivesse o mesmo nome que o cachorro das três e quinze (visto de frente)” (BORGES, 1944).

Parece que o excesso de conteúdos escolares, o excesso de objetivos a serem alcançados serve muitas vezes como um mecanismo de controle que impede ao invés de promover o pensamento e a criação tanto discentes quanto docentes. Por outro lado, o extremo oposto, também frequente, de uma completa falta de conteúdos e objetivos, tem efeito ainda mais desestimulador para o exercício do pensamento. O vazio que é necessário à criação é um vazio pleno de potencialidades, cheio de vontades, um vazio tonificado. Encontrar o equilíbrio sutil entre a necessidade de conhecimentos e de espaço para a reflexão é uma arte difícil. Arte difícil que desenvolvemos no exercício da difícil arte da docência.

Se o *envolvimento intelectual* com o fazer da docência é evidente e o *envolvimento intuitivo* acaba de ser discutido, a importância do *envolvimento físico* com o ambiente para o desenvolvimento da criação docente precisa ainda ser muito discutida. De fato, a nossa tradição cultural de

dicotomização entre atividades intelectuais e físicas atinge em cheio a profissão docente e a maneira como pensamos a sua formação. Frequentemente, esquecemos que o exercício deste ofício não é apenas um trabalho intelectual, como também físico-corporal, e este “esquecimento” tem implicações nefastas inclusive para a saúde destes profissionais⁵. Ao associarmos a importância de pensar essa dimensão corporal do trabalho docente à sua ação criativa, valorizamos a sensibilidade associada a essa dimensão: a percepção do próprio corpo e dos outros corpos, da própria voz e das outras vozes em sua dimensão estética, significativa, plena de sentidos.

Pode parecer esdrúxulo pensar a simples presença, em relação, do professor e dos estudantes em sala de aula como um momento criativo. Entretanto, quantas coisas não acontecem nestes encontros! Trata-se de uma criação fugaz, que dificilmente documentamos, associada a momentos que eventualmente comentamos com um colega e depois esquecemos. Tomo como exemplo o relato, feito por uma estudante, de uma aula que desenvolveu com alunos como parte de suas atividades de estágio. Ela organizou um debate entre estudantes, em que metade da turma deveria defender que a Terra é plana e imóvel, enquanto a outra metade deveria defender uma Terra esférica e movente. Organizou os dois grupos frente a frente, o que, segundo seu relato, “deu ao debate uma sensação de disputa”. Aos poucos, entretanto, os defensores da Terra imóvel foram ficando “sem jeito”, por defenderem algo que sabiam ser “errado”, até que a estudante-estagiária fez uma intervenção:

“um dos meninos da equipe estava jogando a borracha para cima e pegando com a mão, eu pedi que ele repetisse para que todos observassem. Percebi que os alunos imaginaram que eu reclamaria ou criticaria aquela atitude e não a usaria como parte da aula. Ele então repetiu o movimento e eu questionei:
— Se a Terra realmente se move, por que a borracha cai exatamente na mão dele e não um pouquinho para o lado?
O silêncio foi total, uma menina falou “só falta agora ela falar que a Terra está parada” outro argumentou “é que o movimento da Terra é muito lento” mas um outro logo olhou uma anotação no caderno e viu que era de aproximadamente 1500Km/h portanto o argumento não valia (*Relatório de estágio elaborado pela estudante*)”.

Há alguns momentos particularmente significativos neste relato, que vale ressaltar. Em primeiro lugar, a proposição – consciente, planejada – de organizar os grupos de estudantes frente a frente. Ao intensificar a “sensação de disputa”, essa simples disposição, sem necessidade de verbalização adicional, é, sem dúvida, significativa, como a própria estudante faz notar. Depois, a intervenção da estudante, que ocorre no momento em que, segundo a sua percepção, chegava-se a uma situação limite, é um exemplo desses significados que são construídos na situação imediata da relação, sem nenhum planejamento prévio, mas de forma consciente e intencional.

⁵Basta mencionar a generalizada ocorrência de problemas de voz em professores de todos os níveis de ensino.

Para além do conteúdo verbal de seu discurso, sua intervenção carrega também outros sentidos. Um aluno estava jogando a borracha para cima. Qual o sentido de sua atitude? Para a turma, aparentemente, representava uma “bagunça”, uma “distração”. De qualquer forma, um comportamento não previsto que, como tal, seria, pela ordem comum em vigor, alvo de repreensão. A atitude da estagiária transformou o sentido daquela atitude em um argumento contra a mobilidade da Terra. Quebrou duplamente a expectativa dos alunos: por defender uma tese “errada” e por não repreender, mas incluir em seu discurso, uma atitude “errada”. E o “silêncio total” que se segue a este ato é, também, evidentemente, bastante significativo. Acredito que esses sentidos de nossas atitudes em sala de aula são tão ou mais importantes do que aqueles associados aos conteúdos verbais de nossos discursos.

Se há envolvimento com o fazer, cada um destes pequenos acontecimentos, cada nova percepção de uma certa forma de pensar, dos limites que ela estabelece, cada possibilidade de superação destes limites, é um momento criativo no qual nos renovamos, nos “articulamos, em nós e perante nós mesmos, em níveis de consciência mais elevados e mais complexos”.

2.2 Traduções

“Cada poesia é uma leitura da realidade, e toda leitura de um poema é uma tradução que transforma a poesia do poeta na poesia do leitor”.
Octavio Paz (LARROSA, 2004, p. 63).

Ao pensarmos a relação do docente com a sua área de conhecimento específico como uma atividade criativa, precisamos esclarecer como e em que sentido as possíveis “traduções” que ele realiza destas formas de conhecimento podem (e precisam) ser criativas. A noção de tradução, que, em sua etimologia, associa-se a “levar de um lugar a outro”⁶, pode dar a impressão de uma operação relativamente mecânica, através da qual se expressa um mesmo *significado*, um mesmo *conteúdo* em distintas *formas*. Ao nos darmos conta, porém, de que a etimologia da palavra *metáfora* é essencialmente a mesma que a de tradução⁷, podemos suspeitar que essa passagem de uma forma a outra talvez não seja tão simples ou tão inócua.

Vejamos um exercício de “tradução” realizado por estudantes na disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*. Propus a eles a seguinte questão:

“Suponha um mundo em que não existem letras, nem palavras, nem números. Traduza para este mundo a lei da inércia, utilizando os recursos que quiser. Você não precisa se preocupar, nessa questão, em ser exato, preciso ou fiel”.

⁶Do latim: *trans* (de um lugar a outro) + *ducere* (guiar / conduzir)

⁷Do grego: *meta* (fora) + *pherein* (transladar). Até hoje, no grego moderno, metáfora é associada a transporte, sendo utilizada para referir-se por exemplo ao ônibus, que realiza o transporte urbano e também para referir-se a transferências bancárias.

Os estudantes deveriam publicar suas traduções no *blog* da disciplina. A seguir, deveriam realizar, por escrito, uma leitura verbal, um comentário de pelo menos uma contribuição não-verbal de um colega. Por fim, discutiríamos esse conjunto de “traduções” e “traduções de traduções” em sala de aula.

Algumas das respostas propostas, que foram enviadas através do *blog* da disciplina, estão dispostas nas figuras 2.2 e 2.3. Elas demonstram quão variada pode ser uma tradução e como a presunção de uma dicotomização entre *forma* e *conteúdo*, que tornaria fácil e mecânica a tradução, é artificial. A linguagem não é neutra, não é única, nem sequer uniforme e os conteúdos estão como que encrustados em sua materialidade expressiva. Por isso, o ofício de traduzir é tão problemático. Como afirma Ostrower (1977, p. 35):

“Não é possível traduzir nem parafrasear o processo imaginativo, porque transpor de uma matéria específica para outra desqualifica essa matéria e não qualifica a outra. O único caminho aberto para nós seria conhecer bem uma dada materialidade no próprio fazer. Com este conhecimento e com a nossa sensibilidade tentaríamos acompanhar analogicamente o fazer de outros; sempre, é claro, por analogias de estrutura e não de operações mecânicas”.

O educador espanhol Jorge Larrosa defende o valor de se pensar o ato de ler como uma tradução. Se mesmo uma língua individual é sempre múltipla e heterogênea, se mesmo uma comunidade humana individual é sempre múltipla e heterogênea, não pode existir algo como a compreensão desproblematizada. Por isso, ao invés da leitura como uma coleta, uma aquisição, uma apropriação de um significado, ele propõe a leitura como transferência, como transporte. Nesse sentido, qualquer comunicação torna-se o difícil exercício de uma tradução, de uma negociação entre as diferenças.

Ao observar as imagens das figuras 2.2 e 2.3, espanto-me com a *multiplicação* que a proposição de uma tradução provoca. Saberei o que significa a lei da inércia? Serei proprietário de seu significado essencial? Saberei o que significa traduzir? Procuro, então, compreendê-las, lê-las, traduzi-las e, nesse esforço, identifico nessas figuras aproximadamente quatro sentidos distintos para o que seja o traduzir.

1 Na figura 2.2b, vejo uma concepção que entende a tradução como uma correspondência termo a termo entre duas linguagens. Uma vez que sabemos o que pretende comunicar essa tradução, é fácil para nós encontrar a significação que o autor atribui a cada signo: significa “corpo em movimento”; significa “corpo em repouso”; significa “se ... então”; significa “certo”; e significa “errado”. Nessa espécie de tradução “literal”, fica apenas faltando um signo para representar o significado de “na ausência de forças”... A dimensão criativa dessa

(a)

(c)

(d)

(b)

(e)

(f)

Figura 2.2: Imagens propostas para responder à questão: “Suponha um mundo em que não existam letras, nem palavras, nem números. Traduza para este mundo a lei da inércia, utilizando os recursos que quiser. Você não precisa se preocupar, nessa questão, em ser exato, preciso ou fiel”.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figura 2.3: Instantâneos extraídos de vídeos ou animações realizados visando responder à questão: “Suponha um mundo em que não existem letras, nem palavras, nem números. Traduza para este mundo a lei da inércia, utilizando os recursos que quiser. Você não precisa se preocupar, nessa questão, em ser exato, preciso ou fiel”

tradução associa-se à criação de um vocabulário e à capacidade de nos fazer compreender as convenções envolvidas, que são constituídas de forma implícita. Frente a esse tipo de tradução, sinto-me bem por assegurar-me de que eu sei o que significa a lei da inércia, sei o que é traduzir e sei o que significa a mensagem proposta na figura. Posso, inclusive, por isso, certificar que se trata de uma tradução “correta” (embora, eventualmente, incompleta). Posso, em minha alegria docente, marcar neste exercício: ✓ !

2 Já as figuras 2.2c, 2.2e, 2.2f, 2.3b, 2.3e apresentam uma concepção de tradução que corresponde à contextualização de um caso particular que representa a compreensão do tradutor a respeito do significado daquilo que está traduzindo. Se fazemos uma pesquisa no *google* por imagens associadas ao termo de pesquisa “lei da inércia”, é esse tipo de “tradução” que encontramos com maior frequência. Talvez não por acaso, esse foi o tipo de proposição discente mais comum em resposta ao exercício proposto⁸. Nessa forma de tradução, o tradutor sente-se livre para criar elementos que não estão contidos no enunciado que ele pretende traduzir. Uma proposição ambienta uma situação de guerra, outra um ônibus com pessoas de pé, outras passageiros em um carro que colide; e essa escolha é mais ou menos arbitrária, ou, pelo menos, não é direcionada pelo conteúdo da lei da inércia, mas talvez por uma vaga vontade de “aproximar-se do cotidiano dos alunos”. A criatividade do tradutor se manifesta, nesse caso, principalmente na proposição de situações inusitadas, divertidas, “criativas” e na capacidade de mobilizar a linguagem visual de uma forma “interessante”, “cativante”. Ao serem chamados a ler (ou seja, a traduzir) essas imagens e vídeos, os estudantes frequentemente gostam do que veem e consideram que compreenderam “perfeitamente bem” tanto as criações propostas como a própria lei da inércia. Vejamos alguns exemplos de leituras discentes:

“[figura 2.3b -] Dois ovos colocados em um carrinho, um ovo fica solto e o outro é colocado preso no carrinho, o carrinho é colocado em uma pista inclinada, o carrinho começa a descer. Ao final da pista tem dois obstáculos colocados lado a lado, o carrinho bate com força nos dois obstáculos, o ovo que não está preso no carrinho voa para fora do carrinho. Segundo a lei da inércia, todo corpo tende a manter seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme até que uma força atue sobre ele. Quando o carrinho desce a pista os ovos que estão nele fazem o mesmo movimento (considerando um referencial fora do carrinho), ao bater nos obstáculos, o ovo que não está preso ao carrinho continua o movimento, ficando assim, em pleno acordo com a lei da inércia, pois o ovo que estava dentro do carrinho, em movimento junto com o carrinho, tendeu a manter o seu movimento após o carrinho ter parado pelos obstáculos. O outro ovo por sua vez só parou porque estava amarrado, ou seja, uma força atuou sobre ele, a força do cordão pelo qual estava preso. O vídeo embora

⁸Também não é por acaso que são essas as figuras que aparecem com mais frequência em pesquisas na internet. Afinal, elas são, em sua grande maioria, extraídas justamente de páginas que se propõem a *explicar*, a *ensinar* a lei da inércia.

seja uma propaganda de uma montadora, retrata bem o conceito de inércia, é até um ótimo exemplo para os alunos entenderem e não esquecerem a lei da inércia, basta lembrar da importância do cinto de segurança dos automóveis, pois entendendo como eles funcionam (que todo mundo sabe) entende-se perfeitamente a lei da inércia”.

“[figura 2.2f -] A imagem acima mostra um homem puxando uma pedra muito grande amarrada com uma corda, esse homem se esforça ao máximo e não consegue movê-la. Fazendo uma comparação com a física, esse processo é conhecido como inércia, uma teoria postulada por Isaac Newton, que diz que os corpos só se mantêm parados se não houver uma força atuante nesse mesmo corpo. O homem faz uma tremenda força para mover a pedra e não consegue pois a força exercida pelo mesmo não é o suficiente para fazer com que a pedra se mova. Gostei da ilustração pois explica sucintamente o que seria a inércia. Seria uma boa imagem para mostrar para a galerinha do ensino médio; eles entenderiam e aceitariam muito bem”.

(leituras propostas por estudantes, publicadas no blog da disciplina).

Já eu, como professor, ao ler e traduzir estas imagens e vídeos, não consigo ser tão entusiasta. Por um lado, tal como os estudantes, também sinto-me confiante em afirmar que eu compreendo tanto a lei da inércia como cada uma das traduções propostas. Por outro, por isso mesmo, não consigo ficar a vontade frente a figura 2.2f e chego mesmo a ficar escandalizado em perceber que as leituras discentes não se dão conta de que se trata de uma tradução *errada* (✗!) da lei da inércia. Discuto então a questão em aula, na esperança de que apareça um juízo crítico a respeito dessa imagem. Ele aparece, mas o conjunto da classe resiste. Intervenho então na discussão com argumentos adicionais e com o peso do argumento de autoridade. Todos (?) então se convencem dos problemas desta tradução, que se revela na verdade *traidora* do conteúdo original. Fico então feliz (✓...).

3 As representações das figuras 2.3a, 2.3c e 2.3d apresentam, do meu ponto de vista, uma concepção de tradução ligeiramente diferente das que acabamos de discutir. Por um lado, elas também partem do propósito inicial de representar uma situação que exemplifique a compreensão do tradutor a respeito do significado da lei da inércia. Por outro, o esforço criativo do tradutor não é mais o de criar um contexto familiar ou divertido para essa situação exemplar. Trata-se aqui de envolver-se com o fenômeno, em sua estranheza, em seu caráter não-familiar, extraordinário. A inserção desses fenômenos no contexto cotidiano de um trem ou de uma escada rolante ressalta justamente o aspecto não-familiar desses fenômenos. Evidentemente, eles estão presentes o tempo todo, mas essas representações fazem-nos percebê-los de uma forma distinta da que usualmente percebemos. Nesse sentido, neste caso, a dimensão criativa da tradução associa-se à capacidade de dirigir o nosso olhar, a nossa percepção, a nossa sensibilidade. Por serem menos explicativas, essas traduções exigem um esforço maior de leitura e geram mais

dúvidas com relação a sua interpretação. Vejamos algumas leituras propostas pelos estudantes:

“[figura 2.3d -] O pêndulo está ‘em repouso’ no trem com ligeiras trepidações. *Creio que o editor do vídeo queria fazer menção* ao fato que mesmo em movimento, com relação ao chão, o pêndulo está em repouso, com relação ao trem. A lei da inércia existe, mas apenas para referenciais inerciais. O trem não é um referencial inercial por mudar de velocidade nas partidas e nas paradas nas estações, o que faria que o pêndulo “ganhasse movimento” para trás e para frente, respectivamente. Acho que o autor poderia ter filmado também, a parada (ou a partida) do trem, por exemplo, para que ficasse claro a relação entre estar em movimento e a condição de continuar em movimento com relação à Terra”.

“[figura 2.3c -] Agora sim, *pode-se ver o conceito de inércia*. Quando em movimento, o objeto permanece com o mesmo estado que estava. Conseguimos notar que está em repouso em relação à escada rolante. E em movimento em relação à escada fixa”.

“[figura 2.3a -] Muito criativo, parece até que foi inspirado na discussão sobre espaço relativo. O problema é que não acredito que se encaixa no conceito de inércia, pois a roda, por girar em torno do seu próprio eixo, gera aceleração angular e, considerando o fato de ela estar flutuando poderia se encaixar mais no conceito de gravitação do que inércia! *Não sei se interpretei direito, mas é o que estou enxergando*”.

(leituras propostas por estudantes, postadas no blog da disciplina, grifos meus).

Eu, como professor, também tenho maior dificuldade em julgar o esforço de tradução da figura 2.3a como certo ou errado: não há critérios tão claros, não há compreensão tão definida. Por um lado, parece-me que o estudante não se deu conta da presença da força gravitacional a provocar esse movimento, não se deu conta de que há um torque a modificar continuamente a quantidade de movimento angular do sistema na situação proposta por ele. Por outro, não posso negar a associação entre inércia e a manutenção de um movimento mesmo após a retirada da força que o iniciou. Já não posso estar tão seguro sobre o que o estudante *quis dizer* ao propor esta tradução. Nessa insegurança, não posso mais *enquadrar* essa proposição e dispensá-la por isso como conteúdo já compreendido, mas preciso ater-me a ela em sua individualidade, em sua expressão particular.

4 Um último conjunto de traduções, que demonstra uma outra compreensão desta atividade, refere-se às figuras 2.2a e 2.2d. Frente a elas, a sensação de perplexidade foi muito maior. Vejamos algumas leituras propostas pelos estudantes:

“[figura 2.2a -] A descrição/leitura que eu faço desta imagem, apesar de não me parecer muito claro seu significado, é de uma espécie de estrutura como por exemplo uma parede que por algum motivo parece estar sendo puxada de

modo a se afunilar em um único canto da folha e um objeto de aspecto circular, cujos objetos azuis que fazem parte deste estão alguns ainda neste e outros como se estivessem saindo. A estrutura em preto e branco comentada a priori sinceramente não compreendi além do descrito acima. No entanto, o objeto circular me passa a impressão de que este se encontrava em movimento circular e quando este movimento circular cessou, assim como esperado, os pequenos objetos azuis saem pela tangente, já que estes tendem a manter-se em movimento. *Apesar de confuso e todavia interessante*, não consegui compreender muito além do citado acima, mas as interpretações das quais compreendi estão postadas acima”.

“[figura 2.2d -] *Não consegui entender...* É parte de um vídeo e não esta completo?”

(leituras propostas por estudantes, postadas no blog da disciplina, grifos meus).

Tal como os estudantes, também me sinto muito menos confortável com essas proposições. Já não tenho certeza de que “entendi” a representação dos autores, de que li (quer dizer, traduzi) corretamente suas criações. Já não consigo qualificar suas traduções em certas ou erradas e, por isso, chego a ficar em dúvida a respeito de minha compreensão sobre o tema proposto (a lei da inércia). Imagino que facetas da lei da inércia esses autores terão percebido, de que talvez eu nunca tenha me dado conta. Traduzir (quer dizer, ler) suas contribuições torna-se uma tarefa difícil, incerta, a que eu me arrisco a seguir.

Com relação à figura 2.2a, o primeiro elemento que me intriga é a opção do autor-tradutor de tirar três fotos de um mesmo desenho. Estarão elas associadas aos distintos pontos de vista, aos distintos referenciais através dos quais se pode analisar um movimento? De qualquer forma, cada ângulo com que se vê a imagem provoca uma sensação muito distinta, o que, de resto, demonstra como nosso espaço visual não é homogêneo nem isotrópico. Quando vista de acordo com a primeira representação (aquela mais acima na figura), as linhas que convergem à esquerda e ao alto, ao mesmo tempo que configuram um tabuleiro de xadrez, dão uma sensação de profundidade à imagem. Já na segunda vista (a do meio), essas mesmas linhas, que agora convergem em baixo e no meio da imagem, provocam a sensação de um movimento de sucção, descendente. Por fim, na terceira vista, tenho uma sensação mais confusa, como de uma espécie de jorro, de baixo para cima. Foi só observando este último ângulo da imagem que me dei conta de que, enquanto metade das linhas convergem para o canto da imagem (que era só o que havia percebido até então), a outra metade converge para o centro da figura, o que faz com que, especialmente deste último ângulo, o tabuleiro de xadrez pareça torcido, dobrado. Enquanto na primeira vista da imagem, esta espécie de moinho no qual peças de xadrez estão posicionadas parece estar acima do tabuleiro, na terceira vista, o tabuleiro parece envolver o moinho, parece estar tanto acima quanto abaixo dele e estender-se em profundidade até o horizonte, que se localiza bem no meio da imagem. O vazio que, nessa terceira vista, se localiza a esquerda e

ao alto dá a sensação de movimento ascendente nessa direção a que fiz referência. A linha de peças de xadrez em espiral dá também uma sensação de movimento, que, entretanto, ora parece ser centrífugo, ora centrípeto.

E como relacionar essa composição à lei da inércia que ela pretendia traduzir? Nesse caso, mais do que em qualquer outro, parece ser importante lembrar a recomendação de Fayga Ostrower de “com a nossa sensibilidade tentar acompanhar analogicamente o fazer de outros; sempre, é claro, por analogias de estrutura e não de operações mecânicas”. Por representar, enquanto concepção de tradução, o polo oposto com relação à figura 2.2b, não há nenhuma possibilidade de encontrar aqui um vocabulário que pudesse corresponder, por relações biunívocas, aos termos em que a lei da inércia é enunciada. Por outro lado, o enunciado verbal da lei da inércia é apenas a forma verbal através da qual se expressa uma lei de uma ciência que tem com a palavra uma relação muito menos umbilical do que aquela que, por exemplo, têm as ciências sociais. Assim, talvez seja possível encontrar analogias de estrutura entre expressões mais geométricas associadas à lei da inércia e essa composição, que se propõe a traduzi-la.

Se considero que a lei da inércia refere-se a uma distinção entre dois tipos de referenciais, dois tipos de “pontos de vista” com relação ao movimento, aqueles (os referenciais inerciais) para os quais os corpos livres possuem movimento retilíneo não acelerado, e aqueles (os referenciais não-inerciais) para os quais corpos livres podem ter movimentos curvos e acelerados, as “analogias de estrutura” com a representação proposta começam a se multiplicar: os diversos pontos de vista sobre a mesma imagem; o farto uso de linhas retas e a sensação de movimento (por inércia?) que elas nos trazem; a sensação, apesar do uso de linhas retas, de deformação do espaço. Indo por esse caminho, chego a ver no moinho, ao centro da imagem, um corpo massivo a exercer atração gravitacional através da deformação no espaço que ele provoca e recupero a versão generalizada da lei da inércia formulada através da teoria da relatividade geral! As cores mais vivas presentes no centro me fazem ver agora não um moinho mas um sol central a deformar o espaço ao seu redor, a irradiar grande quantidade de energia e simultaneamente atrair, pela deformação do espaço, os corpos a sua volta. Vejo, nas linhas que convergem para o canto, uma referência ao movimento inercial retilíneo e, nas linhas que convergem para o centro, uma referência à deformação através da qual a menor distância entre dois pontos deixa de ser uma linha reta.

O que de fato quis o autor dessa imagem dizer? Esta é uma pergunta que não pode ser respondida, principalmente porque ela não faz sentido. Se perguntarmos ao autor o que ele quis dizer, sua resposta representará apenas outra tradução verbal de uma expressão que se deu em outra forma, em outra materialidade. E não há possibilidade de tradução desproblematizada, de correspondência bi-unívoca entre essas linguagens. Isso não significa que seja inútil perguntar

ao autor por sua tradução⁹, ou que seja inútil realizar novas leituras, novas traduções de uma expressão. Significa apenas que todas essas leituras, todas essas traduções jamais nos dispensarão de olhar para a expressão original e tentar lê-la, quer dizer, traduzi-la.

Não me atarei aqui com tanto detalhe ao esforço de ler e traduzir a figura 2.2d, mas apenas destacarei certos elementos formais que apareceram na figura 2.2a e, coincidentemente, reaparecem aqui, tais como: a presença de linhas retas em convergência, que dão ao espaço uma sensação de profundidade e de movimento; a leve deformação dessas linhas no horizonte distante, associada à curvatura topográfica do “terreno”, que nos remete a uma possível generalização da noção de “retas”. Novamente, enfatizo: não quero, com essas leituras, supor que os autores dessas composições tenham realizado um projeto racional de representação de tais e tais

⁹Vejamos como o próprio autor da figura 2.2a traduz sua motivação (só tive acesso a esse texto do estudante *depois* de escrever a minha interpretação):

“tive a ideia de fazer um desenho, desde que fosse feito em um papel (em vez de fazer no computador). Imaginei que todos os meus amigos de turma fariam também desenhos e imagens, porém acreditei que todos demonstrassem a inércia através de objetos em movimento ou parados em uma trajetória retilínea, o que de fato aconteceu. Como quis fazer algo apenas diferente e não sofisticado, pensei em desenhar algum ou alguns objetos em movimento circular, e que tais objetos pudessem representar alguns fenômenos em seu movimento que pudesse mostrar uma característica da lei da inércia. Esse trabalho teve uma curiosidade interessante. Eu não havia pensado no trabalho final antes de iniciar. Fui desenhando aos poucos da maneira que as ideias saíam de minha cabeça até chegar ao desenho final, porém sempre com o objetivo de representar algum objeto realizando um movimento circular e que tal movimento pudesse demonstrar a lei da inércia. No final desenhei uma roda em movimento com alguns pequenos objetos no seu interior, separados por duas paredes, uma externa e outra interna, sendo que a parede externa tivesse uma abertura em uma parte da roda. É nessa abertura em que os objetos “caem” da roda, pois ela está em movimento. O que evidencia que a roda está em movimento é o próprio fato de os objetos que estão dentro dela estarem caindo, pois não consigo ver outras evidências de movimentos, caso existem, não tive a intenção de representá-los. Sobre os objetos, acredito que deixei claro que os objetos que descrevem trajetórias circulares, só as descrevem porque há uma força que impede que o movimento seja realizado em linha reta, que no caso do desenho, a força é a que a parede externa da roda está exercendo sobre os objetos. Quando esta força cessa (quando não há essa parede externa) todos os objetos tendem a se mover em linha reta. Sobre o formato dos objetos desenhados, ouvi comentários de meus amigos de turma que eram peças de xadrez. Na verdade eu desenhei vários objetos diferentes uns dos outros, apenas para ficarem diferentes. Entre os objetos, temos triângulo, quadrado, esfera, pedra, bandeira, cavalo, martelo e alguns outros. Sobre o fundo preto e branco, acredito que muitos imaginaram que pudesse ter sido algo para demonstrar algum fenômeno físico no espaço-tempo ou que a massa da roda pudesse gerar distorções no espaço tempo ou qualquer coisa relacionada a física moderna. Após ter desenhado, analisei o desenho e interpretei conforme o desenho que a lei da inércia funciona em qualquer lugar do universo, mesmo onde a massa dos corpos em movimento, estejam alterando as configurações do espaço-tempo. Resumindo, o pano de fundo pode nos fazer imaginar diferentes situações, porém, não tive a intenção de representar isso no momento em que desenhei, fiz simplesmente para enfeitar o desenho”.

elementos formais associados à lei da inércia¹⁰. Porém, de alguma forma, ao mobilizarem sua sensibilidade para a leitura (quer dizer, tradução) da lei da inércia e, simultaneamente, para os recursos da linguagem visual que poderiam ser mobilizados em sua criação expressiva, produziram composições com alguns elementos comuns que eu, ao mobilizar a minha sensibilidade para a tradução (quer dizer, leitura) de suas composições, associei a estes elementos formais que registrei em meu texto que você, leitor, está agora a ler (quer dizer, traduzir). Trata-se de um jogo criativo, através do qual é possível a constituição de uma comunicação, de um diálogo, de uma relação de compreensão que não pressupõe a existência de um significado único e unívoco, que viria a nos dispensar do envolvimento com o material expressivo com o qual estamos tentando dialogar:

“Warning: perception requires involvement. Attention: la perception requiert implication. Achtung: wahrnehmung erfordert einsatz. Attenzione: la percezione richiede partecipazione. Advarsel: for at kunne forstå noget må man engagere sig. Pas op: waarneming vereist betrokkenheid. Varning: för att uppfatta måste man engagera sig. Atenção: a percepção requer empenho. Varouitus: havainnointi edellyttä sitoutumista”.

[texto presente na obra *On translation*, do artista Antoni Muntadas (LARROSA, 2004, p. 147)].

Em síntese, podemos notar nas quatro concepções de tradução desenvolvidas a propósito das figuras 2.2 e 2.3, uma escala decrescente com relação à univocidade de compreensão e uma escala crescente de necessidade de envolvimento criativo com o objeto de estudo, seja ele a lei da inércia, ou as próprias imagens e vídeos propostos como sua possível tradução. Quanto menos evidente e imediato é o significado de uma composição, mais nossa atividade criativa se focaliza na própria percepção sensível do objeto de estudo e de sua estruturação formal.

Como valorar essas diferentes concepções de tradução no contexto do ensino? Por um lado, as formas de tradução que propiciam uma compreensão mais definida possuem o evidente mérito de permitir, de forma evidente, a distinção entre compreensões corretas e equivocadas. Esse tipo de avaliação é parte fundamental do sistema de ensino, especialmente da forma como

¹⁰Vejam os como o próprio autor da figura 2.2d traduz sua motivação (só tive acesso a esse texto do estudante depois de escrever a minha interpretação):

“Eu escolhi aquela imagem pensando em um movimento uniforme retilíneo, uma reta infinita, onde não houvesse nenhuma força. Ao pensar em movimento inercial, eu pensei no vazio, no vácuo, no universo só que, sem nenhum planeta, estrela ou qualquer outro corpo. Seria como alguém caminhando sozinho ou um corpo qualquer se movendo no vazio. A palavra solidão também tem uma certa influência nisso, pois desde que comecei meu curso no IFSP abri mão de diversas coisas além de estar mais sozinho do que antes”.

ele é estruturado atualmente. De qualquer forma, a possibilidade de sinalizar caminhos, de estabelecer com clareza equívocos é fundamental para a possibilidade de *ruptura* com o senso comum a que o conhecimento científico se propõe. Frente a discursos que possuem sempre certa dose de ambiguidade, torna-se difícil atribuir certa dose de *veemência* que é fundamental ao debate de ideias e à constituição do pensamento e, assim, corre-se o risco de cair em uma espécie de vazio de sentidos.

Por outro lado, nem sempre a significação definida de um certo discurso é garantia de algum avanço real de compreensão. A utilização, no ensino, de formas muito padronizadas de discurso frequentemente *condiciona* os estudantes a responderem corretamente sem ter qualquer tipo de compreensão a respeito do significado de seu discurso. A escola produz uma certa *uniformidade* de abordagem através da qual qualquer forma de pensamento é reduzida sempre a um mesmo tipo de discurso, a um mesmo tipo de exercício, sendo traduzida sempre da mesma forma. Não surpreende, nesse contexto, que a associação entre a imagem da figura 2.2f e a lei da inércia seja aceita tão tranquilamente por uma grande quantidade de estudantes. A transformação, realizada amplamente na escola, de qualquer discurso em um mesmo discurso tem efeito anestesiador sobre a nossa capacidade de leitura, de tradução e de pensamento. Trata-se de um efeito muito similar àquele através do qual a mídia televisiva converte tudo a uma mesma forma. A este respeito, Larrosa faz referência aos trabalhos do artista Antoni Muntadas como forma de denúncia desse tipo de “tradução estúpida”:

“Ainda que seja importante o controle dos conteúdos, são as convenções formais as que funcionam como gigantescos mecanismos de homogeneização. Na televisão, tudo se converte em televisão. A linguagem-televisão é tão uniforme e estandardizada que borra qualquer diferença. Algo semelhante aparece em *The last ten minutes* [obra de Muntadas de 1976-7], uma coleção de gravações dos últimos dez minutos da programação televisiva de três países diferentes (...) , mescladas com tomadas de transeuntes registradas no mesmo dia e na mesma hora em algumas das ruas principais desses mesmos países. O contraste entre as diferenças sociais e culturais da rua e a aplastante homogeneidade das imagens televisivas não pode ser mais surpreendente, nem mais óbvio” (LARROSA, 2004, p. 139-40).

Esse tipo de constatação, “perturbador em sua obviedade”, não ocorre apenas quando pensamos a respeito da mídia televisiva ou de outros meios de comunicação de massa, mas está presente também no ensino, por exemplo, quando se analisa a forma como se propõe frequentemente inserir a física moderna no nível médio de ensino. Vejamos, como exemplo, a seguinte análise de proposições de *tradução* (ou, na linguagem dos autores citados, de *transposição didática*) da física moderna para o ensino médio, presentes em livros didáticos:

“Nessa última tendência, existe a tentativa de se utilizar a mesma estrutura de transposição que transformou a Cinemática, ou a Dinâmica com seus inúmer-

ros problemas de bloquinhos em atividades de ensino. Ela conduz à criação de exercícios similares àqueles desenvolvidos em boa parte dos livros didáticos tradicionais, de forma que se muda apenas o nome dos elementos envolvidos nos exercícios (Por exemplo, ver exercícios: 9, p.297; 13, p.298; 9, p. 320; 1, p. 359; 3, p.365; 11 e 12, p. 382; GASPAR, G. 2000). Assim, um exercício comum que aparece quando se intenciona inserir Física de Partículas nas escolas é, simplesmente, transformá-la em colisões de bolinhas e exigir o cálculo de quantidade de movimento para descrever seu comportamento. Estas bolinhas, agora com nomes excêntricos como elétrons, prótons, nêutrons etc. são na verdade as mesmas bolas de sinuca que antes colidiam numa mesa de bilhar” (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 401).

Em contraposição, ao tornar problemática a questão da interpretação, as formas de tradução mais “abertas” têm a vantagem de convocar seus leitores a se aterem a sua leitura, uma vez que não lhes é possível descartá-las, supondo-as compreendidas. Evidentemente, lidar com traduções dessa natureza no ensino pressupõe a problematização de suas leituras e do que significa ler e traduzir. Pressupõe o diálogo. Por exemplo: o exercício aqui relatado, com o qual eu inicio a disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*, possui diversas etapas: i) a criação das traduções não verbais, realizadas pelos estudantes; ii) a criação de leituras verbais das traduções não-verbais alheias; iii) a leitura, em diálogo, tanto das traduções não-verbais, quanto das leituras verbais dessas traduções. Dessa forma, acredito, experimentamos a possibilidade de problematizar a lei da inércia, problematizar a leitura e a tradução e construímos, criamos, em diálogo, conhecimento, tanto a respeito da noção de inércia quanto a respeito dessas traduções sem precisar restringir-se a formas rígidas e homogeneizantes de tradução. Como afirma Larrosa:

“Para nós, tanto a tradução como a leitura já não são práticas nas quais se produz o comum, mas práticas nas quais se produz o diferente, práticas de singularização e de diferenciação. O tradutor já não trabalha para borrar a diferença, mas para fazê-la produzir” (LARROSA, 2004, p. 84).

Nesse sentido, repetimos, as múltiplas traduções que se constroem em sala de aula são ao mesmo tempo um momento de interpretação, de compreensão de um conhecimento e de produção de novos conhecimentos. Por isso mesmo, as experiências vividas em sala de aula estão aqui a ajudar-me a formar e expressar minha pesquisa.

2.3 Exposição e experiência

Já nos referimos aqui à importância da *experiência* e *sensibilidade* criativas. Associamos, na ocasião, essas duas palavras, experiência e sensibilidade, compreendendo-as como um ato de abertura para com o mundo, de envolvimento total com o ambiente, nos níveis intelectual, físico e intuitivo. Dessa forma, vinculamos o ato de criação – uma conduta ativa através da qual

o sujeito inevitavelmente se expõe – à faculdade mais receptiva da experiência e da sensibilidade, de abrir-se para e envolver-se com o ambiente. Em sentido complementar, podemos ler a definição que o filósofo da educação espanhol Jorge Larrosa constrói para o termo experiência:

“A experiência é o que nos passa, ou o que nos acontece, ou o que nos toca. Não o que passa ou o que acontece ou o que toca, mas o que nos passa, o que nos acontece ou nos toca. A cada dia passam muitas coisas, porém, ao mesmo tempo, quase nada nos passa. Dir-se-ia que tudo o que passa está organizado para que nada nos passe.” (LARROSA, 2004, p. 154).

Como uma opção alternativa à reflexão sobre educação a partir do ponto de vista da relação entre ciência e técnica (em uma perspectiva tecnicista) ou da relação entre teoria e prática (em uma perspectiva crítica), Larrosa se propõe a pensar a educação a partir da noção de experiência. Compreende-se assim que um elemento de nossa desumanização, um dos elementos que nos torna incapazes de criar, transformando nossa ação em uma série de rotinas mecânicas desprovidas de convicção, é justamente a nossa miséria de experiência no mundo moderno. Larrosa explica-nos que a experiência não tem nada a ver com o acúmulo, seja de informações, de conhecimentos ou de anos vividos. Ao contrário, o excesso de informações, de opiniões, de trabalho, acompanhados pela falta de silêncio, de tempo e de memória que lhes são correlatos representam grandes obstáculos à constituição de uma *simples* experiência.

Ao mesmo tempo, a experiência não se vincula às atitudes, mais seguras de si, de *proposição*, de *imposição* ou mesmo de *oposição*. A experiência demanda, ao invés disso, uma atitude mais passiva (e mais passional), mais receptiva, mais vulnerável, mais perigosa: uma atitude de *exposição*.

“A palavra experiência vem do latim *experiri*, provar. A experiência é, em primeiro lugar, um encontro ou uma relação com algo que se experimenta, que se prova. O radical é *periri*, que se encontra também em *periculum*, perigo. A raiz indo-européia é *per*, com a qual se relaciona antes de tudo a ideia de travessia e, secundariamente, a ideia de prova. Em grego há numerosos derivados dessa raiz que marcam a travessia, o percurso, a passagem. (...) Em nossas línguas há uma bela palavra que tem esse *per* grego de travessia: a palavra *peiratês*, pirata. O sujeito da experiência tem algo desse ser fascinante que se expõe atravessando um espaço indeterminado e perigoso, pondo-se nele à prova e buscando nele sua oportunidade, sua ocasião” (LARROSA, 2004, p. 161-2).

Essa atitude que a experiência e a sensibilidade criativas demandam envolve, portanto, também a exposição aos perigos de uma travessia e a exposição, nessa travessia, de nossas fragilidades. A experiência de criação não tem nada a ver com o estereótipo, às vezes associado à imagem do “artista”, do sujeito autônomo e autocentrado, pura exterioridade, pura aparência. A experiência criativa, tal como a experiência da aprendizagem – com a qual se identifica, na

perspectiva de nossa abordagem – não é, portanto, fácil ou indolor; ao contrário, lidar com o que nos falta, na região de fronteira entre o percebido e o não-percebido, o compreendido e o não-compreendido, o criado e o não-criado, entre o que somos e o que não somos demanda uma disponibilidade rara em nossos tempos. Por isso, o ambiente de aprendizagem, que é um ambiente de criação, deve ser suficientemente protegido para que o convite à exposição e à experiência da aprendizagem e da criação possa representar um convite a uma prática libertadora e não a imposição de mais uma situação de opressão social.

Vejamos alguns exemplos vividos daquilo que associo aqui à noção de exposição e à busca pela constituição de verdadeiras experiências. Como contribuição autoral ao desenvolvimento da disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*, um estudante compôs um vídeo do qual alguns fotogramas estão representados na figura 2.4. Neste vídeo, intitulado “Como andar”, o estudante se propôs a experimentar o andar, mas submetido a uma regra que ele se impôs: caminhar olhando apenas para o visor de uma câmera que aponta para o teto:

“A ideia do vídeo é subverter o sentido para cima. (...) Ao final, espera-se entender como é importante para nós ter um referencial bem definido, o chão, e como isso pode atrapalhar para entendermos outros sistemas de referências. No vídeo realizo um percurso olhando diretamente para câmera, muito difícil, pois o medo de cair é maior, mas quando desço uma escada, me afasto do teto, o mais interessante é quando algo aparece no teto e tento me desviar”.
(*Fragmento de relato, que acompanhava o vídeo “Como Andar”, elaborado pelo estudante*).

Um olhar excessivamente embrutecido pela lógica da eficiência e da produção pode se perguntar: “Para quê? Porque criar obstáculos inexistentes a uma simples caminhada que vai de nada a lugar nenhum e ainda por cima filmá-la e compartilhá-la no *blog* da disciplina?” É claro que a composição do estudante relacionava-se a um tema de reflexão da disciplina, associado à questão dos múltiplos pontos de vista sobre um mesmo fenômeno e ao caráter não-isotrópico do espaço que vivenciamos com nosso corpo. Entretanto, quero ressaltar que sua maneira de abordar o tema não se enquadra na lógica de um comunicado, da transmissão ou mesmo da discussão de um conteúdo. Ao submeter-se a uma série de limites que o colocaram em uma situação extraordinária, o autor nos permite vê-lo fora de sua região de conforto, esforçando-se para relacionar-se com o ambiente a sua volta de uma forma não convencional e dando-nos a ver esse ambiente, dessa forma, também segundo novas possibilidades de percepção.

Um segundo exemplo que gostaria de abordar refere-se a um exercício que propus aos estudantes no contexto da mesma disciplina: tratava-se de caminhar, no início, pelo ambiente da sala de aula e, depois, de toda a escola, mas de olhos vendados (quadro 2 na página 178). Cada caminhante “cego” contava com um parceiro que ficava atento para, em caso de perigo, alertar

Figura 2.4: Alguns fotogramas extraídos de vídeo realizado por estudante e postado no *blog* sob o título “Como andar?”

Figura 2.5: Imagens de exercício em que os estudantes deviam caminhar vendados pelo espaço do Instituto.

Figura 2.6: Imagens de exercício em que os estudantes deviam caminhar vendados pelo espaço do Instituto.

e proteger o caminhante a tempo, mas que não intervinha desnecessariamente na experiência do parceiro, não “guiava” o parceiro. Novamente, a imposição de certos limites não convencionais à simples experiência de uma caminhada por lugares familiares tornava novos e “estranhos” essa caminhada e esses lugares supostamente familiares. Toda uma nova gama de percepções auditivas, táteis, olfativas se revelavam, embora tivessem estado, antes, o tempo todo presentes. Foi interessante, após essa experiência, conversar em grupo a respeito, mas mantendo os olhos fechados. “Estranhamente”, a ausência da visão não tornou mais difícil a comunicação; ao contrário: todos puderam falar sem ser interrompidos e contando com uma escuta bastante difícil de ser alcançada em situações “normais”; a própria construção do discurso e a entonação da voz adquiriram uma qualidade que eu não havia visto até então. Acredito que, por meio da limitação da visão, conseguimos naquele momento, finalmente, viver a *experiência* da fala e da escuta.

Parece-me que, no espaço assimétrico da sala de aula, em que há papéis distintos para o docente e os estudantes, uma condição essencial para que o convite à exposição não degenera em uma prática opressiva é a criação de dinâmicas em que também o docente possa se expor, também ele possa viver experiências que lhe toquem. Nesse sentido, a imagem do docente que já sabe tudo previamente, que já viveu tudo, funciona como obstáculo à constituição da *experiência* em sala de aula, ao menos no sentido em que compreendo este termo. Por isso, mais uma vez, não posso compartilhar da maneira como Chevallard compreende a forma como o conhecimento se transforma em sala de aula e o tipo de relação entre professor e estudantes que esta forma de *transposição didática* engendra:

“O docente é, portanto, aquele que sabe antes que os demais, aquele que já sabe, que sabe ‘mais’. Isto lhe permite conduzir a *cronogênese do saber*. Esta é, estritamente, a condição que permite levar a cabo a renovação didática: é a condição mínima. Se essa situação de avanço cronológico, sempre destruída (pela aprendizagem), sempre reconstruída (pelo ensino, quer dizer, pela introdução de novos objetos transacionais) se estrutura segundo o eixo temporal único de um tempo progressivo, cumulativo e irreversível, existiria uma identificação – ainda que em assincronia cronológica – do tempo do ensino e do tempo da aprendizagem: *a ficção de um tempo didático único se tornaria realidade*. (...) Se aceitamos, provisoriamente, a ideia de que o intervalo temporal de atraso, sempre aberto, tende sempre a ser preenchido e que, com relação a conhecimentos anteriormente ensinados, o aluno pode saber tanto quanto o professor (que, por definição, possui um saber adicional *a espera de ser ensinado*), o professor também se distingue do aluno no que diz respeito ao eixo temporal da relação didática, *porque é capaz de antecipar*: o aluno pode dominar perfeitamente o passado – admitamos, ao menos por um instante – *mas só o professor pode dominar o futuro*” (CHEVALLARD, 2009, p. 81-2, grifos do autor).

O docente que domina o futuro é também aquele que não pode viver plenamente o presente

sob risco de “perder o controle” sobre o tempo. Por seu lado, o aluno que transfere toda a responsabilidade pelo futuro ao docente também já não pode viver o presente, pois perdeu toda sua autonomia. Não à toa, mas por isso mesmo, o “tempo didático” é concebido neste contexto essencialmente como uma ficção: a passagem do tempo, a renovação, o devir, quando submetidos a um controle racional de produtividade, desprovidos de experiência, perdem sua substância e degeneram em mera repetição do mesmo.

A busca pela *experiência* e a *exposição* em uma sala de aula de um curso de formação de professores representa o esforço de constituir com os estudantes um tipo de relação coerente com uma certa concepção a respeito do conhecimento, da educação e da própria vida e, ao mesmo tempo, também uma maneira de propor essa possibilidade de atuação docente à reflexão dos *professores em formação*. Um acontecimento do qual já havia me esquecido tornou-se marcante para mim quando, ao término do semestre letivo, um estudante comentou a respeito da importância que teve, para ele, aquele evento. Havia proposto um jogo de improvisação teatral no qual todos formávamos, de pé, uma roda enquanto um jogador entrava no centro do círculo e criava uma situação em que estivesse em um lugar ficcional que se move. Quando alguém, no círculo, acreditasse ter descoberto “onde” estava o jogador ao centro, deveria entrar na cena e complementar a ação do primeiro jogador, mas sem nunca “contar” onde estava. Sucessivamente, outros jogadores deveriam entrar em cena obedecendo à mesma regra. Trata-se de um exercício que visava, principalmente, discutir a lei da inércia e sua relação com referenciais inerciais e não-inerciais, permitir o desenvolvimento do contato e do diálogo não-verbal entre os jogadores em torno a uma situação ficcional e, claro, também desenvolver a espontaneidade nesse estado de exposição pessoal ao qual o conjunto de estudantes está muito pouco habituado.

Em um destes exercícios, um jogador propôs a situação de um barco em movimento. Outros jogadores foram entrando e compondo a ação, entre eles um pescador que havia fispado um peixe e que esforçava-se muito para retirar o peixe da água em uma ação que se desenrolava em minha direção. Sem pensar muito, entrei também em cena no papel do... peixe. Foi com surpresa que, ao final do semestre, ouvi de um estudante que se sentia desconfortável com esse tipo de exercício como havia sido importante, para ele, esse momento. Contou que, neste momento, todos pararam por um segundo surpresos, se olharam e, depois, continuaram o jogo. Ele passou, a partir de então, a não temer tanto a exposição a situações que considerava ridículas. Afinal, se até o professor se colocou nessa situação, estávamos todos, literalmente, no mesmo barco. Compreendi então a importância, nesse processo, da auto-exposição do professor a uma situação que ele mesmo não controla completamente, mas na qual ele também se arrisca.

Evidentemente, não se trata de pensar uma dissolução que atribua a professor e estudantes o mesmo papel. Se é possível, algumas vezes, como no exemplo acima, que o professor coloque-

se por um momento no mesmo exercício em que atuam os estudantes, não é possível nem necessário que isso ocorra o tempo todo. O que ocorre é que, mesmo com uma função distinta, o professor pode se colocar não como senhor de um tempo e espaço sob seu domínio, mas em diálogo com os estudantes, em torno a objetos de conhecimento cujos múltiplos sentidos ele não domina de forma absoluta; colocar-se em um tempo que, na medida em que se abre para a criação de sentidos, não pode mais ser controlado sem ser ao mesmo tempo aniquilado, destituído de vida.

Nesse sentido, gostaria de comentar a respeito de um último exercício que, de certa forma, “simula” o exercício de construção, pelo professor, de um discurso cujo sentido e sequência, ele não controla de forma absoluta. Tratava-se de discutir um certo tema, relacionado ao desenvolvimento da disciplina (o tema em questão é abordado na seção 4.8.2 na página 258). Em duplas, os estudantes deveriam desenvolver este tema para um público, formado pelo professor e pelos demais estudantes, em um discurso comum, único, mas obedecendo à seguinte regra: o jogador que desenvolve a fala deve olhar para o público, enquanto o outro jogador olha para o primeiro (conforme figura 2.7).

A alternância com relação a quem está falando pode se dar de três maneiras diferentes: (i) por um sinal sonoro do professor; (ii) quando o jogador que está falando “transfere” o foco para o outro, passando a olhar para ele; (iii) ou quando o jogador que estava observando “rouba” o foco e começa a falar, olhando para o público, enquanto o primeiro jogador passa a olhá-lo. Além disso, se, por qualquer motivo, o jogador que está falando olha para o outro jogador, o foco deve ser obrigatoriamente transferido para o segundo jogador. Essas regras davam ao jogo proposto uma certa geometria (que, do ponto de vista da linguagem teatral, é chamada de relação de triangulação) e possibilitavam a experiência de construir um discurso sobre o qual não se tem controle, que pode se desenvolver em direções não previstas e ao qual, mesmo assim, é preciso conferir sentido.

A definição das regras, além de configurar uma situação não-usual de desenvolvimento da fala, potencializando assim a experiência de criação de um discurso, ao definir uma geometria para o jogo de relações entre o público e os dois protagonistas do discurso, deu a este jogo uma certa estabilidade: mesmo sem saber exatamente como proceder ou o que dizer, era possível permanecer ativo e em relação através da simples manutenção da forma proposta. Por exemplo, quando um jogador recebia o foco e não sabia o que dizer, algumas vezes simplesmente permanecia em silêncio por algum tempo e devolvia o foco para o primeiro jogador que podia então, se também não soubesse o que dizer, proceder da mesma maneira. Essa simples sequência de movimentos tornava-se significativa e dava o respiro, o tempo necessário para que o pensamento se articulasse em novas expressões verbais.

Figura 2.7: Jogo de improvisação em que se propunha o desenvolvimento de um discurso coletivo comum e a transferência de foco através do mecanismo de *triangulação* ilustrado nas imagens: o jogador que está com o foco e fala é sempre o que está olhando para o público.

Retomamos, com a descrição deste exercício, o tema do silêncio, do tempo de suspensão, de “não saber”, de escuta. Frequentemente, o tempo, na sala de aula, é completamente preenchido pelo discurso, pelo conhecimento, pelas atividades que precisam ser feitas. Este exercício ajuda-nos a lembrar que a experiência pressupõe uma outra relação com o tempo e que é possível permanecer em silêncio sem deixar, por isso, de estar em diálogo. A escuta, mesmo a escuta do silêncio, também é um ato.

2.4 Diálogo

“[Paulo -] Através dessa forma de entender o diálogo, o objeto a ser conhecido não é de posse exclusiva de um dos sujeitos que fazem o conhecimento, de uma das pessoas envolvidas no diálogo. No caso da educação, o conhecimento do objeto a ser conhecido não é de posse exclusiva do professor, que concede o conhecimento aos alunos num gesto benevolente. Em vez dessa afetuosa dádiva de informação aos estudantes, o objeto a ser conhecido medeia os dois sujeitos cognitivos” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 65).

Frequentemente, a defesa do diálogo em educação é confundida com um discurso “politicamente correto”, “bem intencionado”, com a negação de uma dimensão de conflito nas relações escolares. Com esta compreensão, o diálogo torna-se uma espécie de maquiagem, um adorno

com que se reveste relações que permanecem, no fundo, intocadas. É quando a relação escolar se cobre de sorrisos. Quando o professor afirma o que “nós queremos”, o que “nós pretendemos fazer”, mas pensa o que “eu quero”, o que “eu pretendo”. Quando mostra-se aparentemente disposto a ouvir um aluno, mas apenas para em seguida voltar ao “verdadeiro” tema da aula, sem se deixar influenciar por aquilo que ouviu. Quando distorce o que o aluno disse para mostrar como era “isso mesmo” o que ele “queria dizer”.

Contra essa concepção, entro em consonância com a maneira como Paulo Freire compreende o *diálogo*, não como uma técnica “que podemos usar para conseguir obter alguns resultados”, ou uma “tática que usamos para fazer dos alunos nossos amigos”, mas sim como o elemento que “sela o relacionamento entre os sujeitos cognitivos” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 64-5). Esse encontro não se dá no vazio, mas sim em torno e a propósito de um objeto cognitivo, que medeia os dois sujeitos e é colocado na mesa, entre eles.

Mais do que uma simples forma “bem educada” de relação, o que se pressupõe é um tipo de atitude epistemológica, uma concepção sobre o que é o conhecimento e como se o constrói (e não apenas como se o ensina). Essa posição epistemológica está fundada na afirmação do caráter histórico do conhecimento e, portanto, suscetível a reformulações, a transformações e aberto à construção de novos sentidos e significações. Evidentemente, a escala de tempo e o tamanho da comunidade envolvida nesse processo histórico de construção do conhecimento não podem ser comparados ao tempo de desenvolvimento de um curso, ou ao tamanho de uma sala de aula ou mesmo de uma escola. Mas a maneira como nos relacionamos com o conhecimento se modifica radicalmente se o compreendemos em sua dimensão histórica, em seu devir. Por maior que seja o preparo de um docente com relação a um determinado objeto de conhecimento e por maior que seja o nível de certeza científica que ele possui a respeito, o professor tem consciência de que o diálogo em torno ao tema não é a exploração de um terreno completamente conhecido, mas de um mapa em constante e lenta transformação. E a exploração desse mapa só faz sentido porque ele aponta para um terreno que queremos conhecer melhor.

“[Paulo -] O que os educadores dialógicos sabem, porém, é que a ciência tem historicidade. Isso significa que todo conhecimento novo surge quando outro conhecimento se torna velho e não mais corresponde às necessidades do novo momento, não mais responde às perguntas que estão sendo feitas. Por causa disso, cada conhecimento novo, ao surgir, espera sua vez de ser ultrapassado pelo próximo conhecimento novo, o que é inevitável. Algumas vezes digo que se os cientistas fossem tão humildes quanto o conhecimento, estaríamos num mundo diferente” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 66).

Ao contrário do diálogo socrático, em que se supõe que a resposta certa esteja “na cabeça do professor e na cabeça dos alunos, e que o professor a revela à atenção dos alunos”, ou de

um método de arguição do tipo pergunta-resposta-discussão, em que as respostas já existem *a priori* e precisam apenas ser verbalizadas pelos alunos, o diálogo freireano reconhece, como vimos, o caráter histórico do conhecimento. Embora o professor não se coloque em igualdade de condições com relação aos estudantes, uma vez que se pressupõe que ele possua um maior estudo e uma reflexão anterior a respeito da problemática em jogo, isto não impede que a aula dialógica se constitua como um momento de construção do conhecimento. E mesmo ao “re-aprender” algo através do processo que vivencia com seus alunos, isto se dá não de forma mecânica, mas significativa, de maneira que também o docente se transforma nessa relação.

Podemos observar a maneira como as relações autoritárias se estabelecem em sala de aula, em termos de sua materialidade expressiva. Ira Shor comenta, por exemplo, a respeito de sua representação em termos da expressão vocal :

“[Ira -] O roteiro dramático da sala de aula tem um professor falando muito alto sobre assuntos que interessam de forma marginal aos alunos. O currículo estranho, e as relações autoritárias da sala de aula exigem que o professor fale alto e fale muito, para atrair alguma atenção, em face da resistência dos alunos. Por outro lado, se os professores estão acostumados a falar muito, e muito alto, os alunos estão acostumados a dizer muito pouco, e em voz muito baixa. (...) Se estou aqui recriando o professor como alguém que fala e escuta, também estou induzindo o aluno, a se recriar como alguém que escuta e que fala, dentro de um novo roteiro a ser seguido na sala de aula. Penso que, aqui, a arte é a reinvenção verbal, a recriação vocal através do diálogo” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 75).

Pergunto-me, porém, como discutir a respeito dessa dimensão formal e expressiva das relações autoritárias e dialógicas sem recair em uma espécie de formalismo que, ao dissociar forma e conteúdo, acabe dando margem ao tipo de interpretação “politicamente correta” da defesa do diálogo que queremos, desde o início, evitar. Mais uma vez, não se trata de simplesmente modular a voz “suavemente” como uma “estratégia” para dar a impressão de relações supostamente horizontais. A questão que se coloca é como passar da “representação” (em seu pior sentido) do diálogo à sua realização presente; como passar da simples “audição” à verdadeira “escuta” do outro. Acredito que a maneira como Viola Spolin propõe a noção de *jogos teatrais* pode ajudar-nos nessa busca.

2.4.1 Diálogo como jogo teatral

Como discutimos rapidamente antes – e agora detalharemos – a diretora teatral norte-americana Viola Spolin propõe o desenvolvimento de uma dinâmica de *jogos teatrais*, através da qual se dá o aprendizado prático de diversos elementos da linguagem teatral e se propõe o desenvolvimento da capacidade de *envolver-se totalmente com o ambiente, nos níveis físico, intelectual*

e intuitivo e criar em tempo presente, *em diálogo* com os demais jogadores e com o público, um jogo de improvisação teatral. Ao nos propormos a pensar a dialogicidade *como* jogo teatral, não pretendemos, novamente, supor a identificação dessas atividades, mas sim permitir que a prática e a reflexão a respeito do sistema de jogos teatrais desenvolvido por essa autora possam enriquecer nossa compreensão a respeito do diálogo no contexto educacional.

Ao procurar pelo que me parece mais essencial nesse raciocínio analógico, creio que há três contrastes entre essas atividades a respeito dos quais é necessário refletir. Um primeiro contraste – mais superficial e que, do meu ponto de vista, não resiste a um aprofundamento da análise – refere-se à maneira como o senso comum associa as noções de jogo e de teatro a *fingimento*, *ficção*, em oposição a um diálogo que se pretenda *sério* e *verdadeiro*. Um segundo elemento de contraste refere-se à natureza fundamentalmente verbal do diálogo usual (lembremo-nos que o radical *logos*, que vem do grego, significa originalmente palavra) em contraposição a uma comunicação que se dá, em um jogo teatral, através dos mais diversos meios expressivos, *incluindo* a movimentação, os gestos, a sonoridade e, também, a palavra. Por fim, um terceiro elemento de contraste está associado à relação que se estabelece, em um jogo teatral, com um público. Se em um diálogo usual, trata-se de uma relação que se estabelece entre um “eu” e um ou mais “outros”, no jogo teatral temos uma relação que um ou mais jogadores estabelecem entre si e com o ambiente, *compartilhando* esta experiência com um público. Este *terceiro* agente envolvido na relação que se cria no jogo teatral dá toda uma outra dinâmica a esta atividade e potencializa, do meu ponto de vista, o alcance de certos objetivos a que o diálogo, principalmente no contexto pedagógico, também se propõe. A seguir, procurarei discutir o sistema de jogos teatrais de Viola Spolin pensando principalmente nos possíveis sentidos e repercussões desses três elementos de contraste apontados. Para isso, descreverei também, brevemente, algumas experiências de jogos praticados no contexto da disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*.

Iniciando a discussão pelo segundo contraste apontado, ressalto que o jogo teatral, sendo um jogo de *improvisação*, envolve uma gama de acordos que se estabelecem entre os jogadores de maneira tácita, implícita, não declarada e, por isso, também, não comandada. Um pequeno ritual que desenvolvi em grande parte dos inícios de aula da disciplina *Oficina de Projetos* pode servir para ilustrar isso. Tratava-se de, em roda, de olhos fechados e de mãos dadas, produzir um deslocamento do centro de gravidade do corpo para trás e para frente (conforme a figura 2.8). Se todos fizessem juntos esse deslocamento, não haveria desequilíbrio graças ao apoio mútuo fornecido pela roda. Se houvesse descompasso, entretanto, o desequilíbrio seria inevitável. O acordo que precisa ser estabelecido neste exercício não pode ser explícito ou verbal (“um, dois, três e ... já”), mas silencioso, implícito. A ninguém é dada a prerrogativa de comandar o ritmo

Figura 2.8: Exemplo de atividade de aquecimento. Os participantes, de olhos fechados, devem deslocar o seu centro de gravidade para trás e para frente. O desafio é perceber o movimento conjunto do grupo de forma a que todos desloquem conjuntamente o seu centro, sem que haja desequilíbrios.

do movimento. Ao contrário, este pulso do movimento é criado, em tempo presente, pelo grupo em sua percepção sensível do movimento do próprio grupo.

Diversos exercícios visam desenvolver, em diferentes contextos, esse tipo de diálogo. Outro exercício que frequentemente utilizei como aquecimento consiste em uma ação na qual, a partir de uma situação inicial em que todos estão parados, sem nenhum combinado prévio, uma e somente uma pessoa por vez deve falar o próprio nome e começar a se movimentar. Se duas pessoas tentarem iniciar o movimento ao mesmo tempo, todo o grupo volta a “congelar” e o processo começa novamente. Quando se consegue chegar à situação em que todos estão caminhando, o exercício se inverte e uma e somente uma pessoa por vez deve dizer o nome e parar o movimento. Assim como no exercício anterior, cria-se, neste exercício um ritmo vivo que não é estabelecido de fora, mas construído a partir da própria dinâmica do grupo. O intervalo entre cada movimento ou cada parada não é uniforme e cria-se no ambiente um estado de atenção e escuta para que cada um encontre o momento correspondente à sua vez. O diretor teatral inglês Peter Brook comenta a respeito de um exercício similar (no qual ao invés de dizer o nome e se movimentar, devia-se simplesmente contar até 20, com uma e somente uma pessoa falando cada número):

“É um exemplo simples da relação entre concentração, atenção, capacidade de escutar e liberdade individual. Demonstra também as características do ritmo quando é vivo e natural, pois as pausas nunca são artificiais, nem há duas pausas iguais, e todas são preenchidas pelo pensamento e pela concentração, como pontes que atravessam o silêncio. (...) Pode durar uns vinte minutos ou meia hora; neste caso, a tensão aumenta muito e a capacidade de escutar do grupo se transforma. É um exemplo do que poderíamos chamar de exercícios de preparação” (BROOK, 1999, p. 56).

Um terceiro exemplo que demonstra a potencialidade dessa comunicação implícita e não-impositiva refere-se aos exercícios *Siga o mestre* e *Siga o seguidor*. Enquanto no primeiro

exercício todo o grupo deve realizar a mesma movimentação que uma pessoa escolhida para ser *o mestre*, no segundo exercício não há mestres definidos e a mudança de um padrão de movimentação a outro se dá pelo grupo, sem que ninguém a comande explícita ou deliberadamente. Koudela comenta a respeito deste exercício e apresenta também o depoimento de duas adolescentes, participantes de uma oficina por ela coordenada, do qual transcrevo o trecho a seguir:

“Outro aspecto superimportante, neste processo, foi a descoberta do grupo, do trabalhar junto. De repente, jogando o ‘Siga o seguidor’ que aparentemente era um exercício para um foco comum, foco no grupo, nos fez ‘aprender’ (opa, aprender não), ‘sacar’ nós mesmos e a relação com o outro, permitir a existência do outro e se permitir dentro dela” (KOUDELA, 1991, p. 154).

Vale ressaltar este aspecto: ao impedir os acordos explícitos, estes exercícios desenvolvem o olhar e a escuta do outro. Quantas vezes, a possibilidade de comunicar-se diretamente através da palavra, ao invés de tornar mais fácil, torna mais difícil a comunicação e o acordo? É que ao dificultarmos a emissão de palavras, de proposições, de ordens, desenvolvemos o outro polo envolvido em uma relação dialógica: o polo da recepção, da escuta.

Foco. O desenvolvimento dessa escuta não se dá de forma indefinida, difusa, mas sim direcionada por um *foco*. Assim como o diálogo freireano se dá sempre mediado por e a propósito de um certo *objeto cognitivo*, essa espécie de diálogo que se estabelece nos jogos teatrais de Spolin se dá também sempre em torno a um determinado *foco* ou *Ponto de Concentração*. Nos exercícios simples que descrevi acima, poderíamos dizer que o foco corresponde a “deslocar-se conjuntamente para trás” ou a “iniciar ou parar a movimentação cada um a sua vez”, ou a “seguir o seguidor”. Em jogos mais complexos este foco pode tornar-se mais simbólico, sem deixar entretanto de traduzir-se em ações físicas e em acordos tácitos que se estabelecem em tempo presente, no próprio momento da ação. O foco, dessa forma, não degenera em imaginação ou emoções desconectadas de uma ação. Vejamos alguns exemplos de focos presentes nos jogos propostos por Spolin (1998):

- ver, sentir ou ouvir estímulos imaginários presentes em uma situação hipotética previamente combinada (p. 49-54);
- sentir o que está em contato com cada parte de seu corpo (p. 51);
- refletir exatamente os movimentos do outro jogador, desde os pés à cabeça (p. 55);
- dar realidade a uma corda invisível em um jogo de “cabo de guerra” (p.56);

- envolver-se completamente com uma ação física feita em conjunto com um parceiro e simultaneamente envolver-se totalmente com uma discussão sobre algum tema, realizada com o mesmo parceiro (p. 163);
- estabelecer a comunicação através do silêncio (p. 169).

É importante compreender que não se trata, nestes jogos, de representar ou fingir que se faz uma ação. Trata-se de fazê-la. Por exemplo, quando propomos ouvir um certo estímulo, não se trata de realizar um determinado gesto que represente que se está a ouvir algo. Trata-se de efetivamente ouvir internamente o estímulo; a partir da concentração nesta ação, um estado e uma movimentação do corpo a ela associada manifesta-se espontaneamente. Da mesma forma, não se trata de construir um gesto que conte ao público que se está segurando uma corda; trata-se de sentir essa corda, percebê-la em sua textura, em seu peso, etc. Também não se trata de mimetizar uma comunicação silenciosa com o parceiro, mas de simplesmente comunicar-se, através do silêncio. O foco diz respeito, portanto, a um movimento interno da concentração, da percepção, da sensibilidade. Como já destacamos anteriormente, o movimento criativo não surge de um gesto externo, mas da própria percepção e da sensibilidade.

Ao compreender que sua tarefa é concentrar-se no foco proposto, o jogador pode superar a polaridade timidez – exibicionismo, compreendendo sua exposição não como uma ameaça ou um enfrentamento, mas como uma atividade conjunta em torno de um objetivo, o compartilhar de uma experiência. Dessa forma, o foco libera a ação espontânea, torna possível a percepção ao invés do preconceito e atua como um trampolim para o envolvimento intuitivo com o ambiente. Por fim, o foco possui o efeito de isolar problemas complexos em elementos mais simples, permitindo que o jogador se concentre em um único aspecto de sua ação, se concentre em resolver um problema quando na verdade está resolvendo, ao mesmo tempo, muitos outros.

A relação entre o foco que se estabelece em um jogo teatral e o objeto problematizador a respeito do qual dialogamos em uma aula já foi notada, no contexto do ensino de física, no trabalho de Oliveira (2004, p. 43):

“enquanto o foco instiga a interação entre os jogadores e as relações são estabelecidas em torno dele, o objeto problematizador [freireano] também se torna o centro do diálogo, com isso não é o pensar de um que define os rumos da aprendizagem, mas o resultado do pensar de todos”.

Nesse sentido, qualquer tentativa de imposição durante um jogo teatral torna-se bastante evidente tanto para os jogadores como para o público. Elas ocorrem quando, ao invés de concentrar-se no tipo de sensibilidade envolvido no foco proposto, o jogador pretende impor um certo gesto, uma certa forma que *conte* aquilo que se deveria mostrar em vivência. Dessa

forma, as imposições correspondem a uma forma de *fuga do foco* e podem ser identificadas pelo grupo, com este significado.

Os jogos teatrais de Spolin visam a construção de conhecimento a respeito da linguagem teatral. Essa construção de conhecimento se dá, no sistema por ela desenvolvido, através da proposição de situações-problema frente às quais os alunos aprendem através das soluções que são capazes de criar. As situações são caracterizadas como um jogo: sendo definido por regras, ele deixa, entretanto, sempre implícita a liberdade que cada jogador possui para alcançar seu objetivo da forma que desejar e inventar; aberto, o número de possíveis “soluções” para o problema proposto é potencialmente infinito; de caráter altamente social, as habilidades necessárias à solução do problema proposto pelo jogo são desenvolvidas durante o próprio momento em que a pessoa está jogando, “divertindo-se ao máximo e recebendo toda a estimulação que o jogo tem para oferecer”; dessa forma, a concentração que ele pressupõe permite o envolvimento experiencial a que temos feito referência e provoca a espontaneidade.

“Em palavras simples, isto significa dar problemas para solucionar problemas. A técnica de solução de problemas elimina a necessidade de o professor analisar, intelectualizar, dissecar o trabalho de um aluno com critérios pessoais. Isto elimina a necessidade de o aluno ter que passar pelo professor, e o professor ter que passar pelo aluno para aprender. Ela proporciona a ambos o contato direto com o material, desse modo desenvolvendo o relacionamento ao invés da dependência entre os dois” (SPOLIN, 1998, p. 19).

Neste ponto revela-se a falácia da primeira contraposição apontada entre um diálogo supostamente “comprometido com a verdade” e jogos teatrais supostamente “fingidos”, “simulados”. O aprendizado no sistema de jogos teatrais se dá, como dissemos, através da proposição de problemas que estão sempre associados à concentração em um determinado *foco* ou *Ponto de Concentração*, que está por sua vez, de maneira geral, associado à noção de fisicalização. A fisicalização refere-se ao processo através do qual tornamos real, palpável, físico o universo imaginário. Ela não se confunde com uma atitude de imitação da realidade, mas, ao contrário, de sua (re)criação. Tampouco se confunde com o ato de “contar” o imaginado, mas sim de “mostrá-lo”. E mostrar relaciona-se com a capacidade de se relacionar com aquilo que se criou, que, “real”, tornou-se externo a nós, independente de nossa vontade. Não se trata de simular, mas de perceber, exercitar a sensibilidade e, por esse meio, mostrar, construindo assim conhecimento através da experiência.

A experiência de recriação do real nos é cara, uma vez que também compreendemos a construção do conhecimento justamente como um esforço de recriação do real, de sua expressão em formas simbólicas. Enquanto no sistema de jogos teatrais, que visa a aprendizagem da linguagem teatral, a proposição de grande parte dos jogos relaciona-se com a fisicalização do “onde”,

do “quem” e do “o quê” associados a uma situação ficcional proposta, no caso específico deste trabalho pretendemos principalmente construir coletivamente conhecimentos, reflexões a respeito da ação docente e também do conhecimento físico sobre o mundo, de forma que a escolha dos problemas, dos pontos de concentração associados aos jogos teatrais é orientada por esses objetivos.

Por exemplo, com relação à construção do conhecimento físico, a proposição de jogos em que o foco esteja associado a estar em um ambiente ficcional que se move (conforme figura 2.9) permite-nos construir conhecimento a respeito da equivalência entre repouso e movimento uniforme e a respeito da distinção objetiva entre referenciais inerciais e não-inerciais. Nesse sentido, o procedimento de fisicalização do lugar (o “onde”) remete diretamente ao conhecimento físico sobre o mundo e à maneira como nossa sensibilidade percebe este aspecto da realidade.

Uma maneira de relacionar-se com este problema proposto envolve a mobilização de um conhecimento que remete aos “truques” de filmagem mais simples através dos quais o cinema representou, ao longo de sua história, situações em movimento (figura 2.10). Como todos já vimos filmes em que esses truques são utilizados com maior ou menor sofisticação, trata-se de um conhecimento relativamente *disponível* aos jogadores que se colocam frente a este problema. Essa “facilidade” pode tornar-se, entretanto, um caminho de desvio com relação ao foco proposto se, ao invés de lidarem diretamente com o problema da fisicalização do lugar em movimento, os jogadores planejarem previamente como “contar” que estão em determinado lugar. Dada a intenção de que a solução seja construída no próprio tempo presente do jogo, deve-se evitar o planejamento anterior a respeito de “como” resolver o problema.

Ao invés disso, o que se propõe é que, durante a própria execução do jogo, os participantes se mantenham concentrados no foco proposto e permitam que, a partir daí, o jogo “flua”. A concentração no foco estimula o direcionamento da energia criativa, permitindo que esta exerça uma função construtiva no exercício, e funciona como o ponto comum que mantém unidos, em diálogo, os jogadores e, junto com eles, o público. Nesse sentido, os jogadores (os alunos e o professor!) precisam confiar que a concentração na *fisicalização*, na percepção sensível de um ambiente em movimento irá permitir que o estado e a movimentação do corpo neste ambiente surjam espontaneamente, em tempo presente. Dessa forma, a compreensão mais intelectualizada a respeito, que pode ser associada à representação física do movimento, é desenvolvida na etapa posterior, de discussão em grupo a respeito de cada jogo desenvolvido. Por isso, propõe-se, com a concentração em um determinado foco, uma aventura de imersão em território desconhecido.

Figura 2.9: Jogo de improvisação, realizado em aula, em que se propunha, como foco, “estar em um lugar em movimento, sem que, concretamente, o lugar se movimentasse”.

Figura 2.10: Cenas do filme *Shanghai* (1915) de Charlie Chaplin. Atenção especial, nessa cena que se desenrola no interior de um barco, à mudança na posição relativa dos atores com relação ao chão e também dos objetos pendurados, tais como o serrote e a panela, com relação ao teto.

Evidentemente, porém, no contexto de estudantes com muito pouca experiência a respeito da linguagem teatral e uma experiência relativamente maior a respeito da linguagem da física, essa ordem de processos dificilmente é estritamente obedecida e a criação sensível através da relação em tempo presente entre os jogadores torna-se menos independente da compreensão mais racional e planejada. De qualquer forma, esses dois momentos permitem aprofundar a compreensão da maneira como o simbolismo da física mapeia e representa a realidade sensível, ao mesmo tempo em que apresentam o desafio posto pelo sistema de jogos teatrais.

Embora todos os jogos propostos permitam, devido à relação de troca e de diálogo envolvidas, uma reflexão a respeito da atuação docente, podemos citar, como exemplo de jogos que problematizem mais explicitamente a questão da docência, a constituição de debates em que os grupos devem defender teses associadas à forma plana da Terra ou à sua forma esférica; em que os grupos devem defender a mobilidade da Terra, ou o seu repouso. O “público”, nesse caso, é constituído na forma de um “juri” e intervém mais diretamente no jogo, formulando perguntas e, ao final, emitindo o seu parecer a respeito da disputa.

Embora haja algumas variantes que serão discutidas posteriormente, podemos dizer que, nesses jogos, o foco associa-se a um estado de convicção: tornar “real” a convicção, de acordo com o grupo a que você pertence, na estaticidade da Terra, em seu movimento ou ainda, se você faz parte de um grupo de “jurados”, tornar “real” o estado de dúvida, de suspensão, de convicção não formada. As ações se traduzem principalmente na forma de argumentos e a sensibilidade volta-se principalmente para a estrutura de fatos empíricos, pressupostos teóricos, demonstrações envolvida em uma argumentação científica, seja ela a própria argumentação do jogador, a de seus “aliados” ou a de seus “adversários”. Nem por isso, o jogo deixa, entretanto, de ter uma dimensão física, corpórea bastante ressaltada e o argumento não deixa de se configurar como um gesto e uma ação. A qualidade do jogo torna-se maior conforme os jogadores conseguem escutar o conjunto de jogadores e perceber os rumos inesperados que a argumentação segue, ao invés de permanecerem rigidamente vinculados à argumentação previamente preparada.

O exercício de se colocar em situação de acreditar em e construir argumentos em defesa de uma doutrina na qual não se acredita de fato, assim como de encontrar argumentos contrários a uma doutrina que se crê verdadeira é bastante relevante tanto por estimular uma percepção mais crítica a respeito dos fundamentos de nossas convicções como pelo desenvolvimento da capacidade de observar com um certo distanciamento a articulação de nossas ideias, assim, como as de nossos “oponentes”. Quando há verdadeiro envolvimento com este jogo, a avaliação posterior acaba abarcando o desenvolvimento de uma reflexão epistemológica que, embora não apresente o nível de sofisticação que apenas o exercício da leitura crítica de epistemólogos poderia propiciar, por outro lado dá mostras de uma carga de revisão crítica das próprias convicções e da

história pessoal de relação com o conhecimento bastante interessante.

A atuação do professor nas dinâmicas de jogos teatrais não deve ser a de um indutor de modelos “corretos” ou de julgamento de condutas “erradas”. Ao contrário, ele é mais um jogador em busca de soluções, sempre originais, para o problema proposto. Seu papel é o de propor o problema, associado ao Ponto de Concentração, de maneira sintética e simples, como ocorre tipicamente quando explicamos um jogo, e de, *durante a realização do jogo*, fornecer *instruções* com o objetivo de manter os jogadores concentrados no foco proposto:

“A instrução atinge o organismo total, pois desperta a espontaneidade a partir do que está acontecendo no palco. Ela é dada no momento em que o jogador está em ação. Pelo fato de ser mais um método para manter o aluno e o professor em relacionamento, deve ser objetiva. Deve-se tomar muito cuidado para que não desintegre num envolvimento do tipo aprovação / desaprovação. É um comando a ser obedecido!” (SPOLIN, 1998, p. 26)

Um comando a ser obedecido. Será possível conciliar o pressuposto de construção de uma relação dialógica em sala de aula com esse sentido que a instrução do professor adquire durante a realização de um jogo teatral? Esta parece-me uma questão relevante por permitir diferenciar a concepção de dialogicidade que tenho apelidado de concepção “politicamente correta” ou “bem educada” daquela que defendo aqui e associo à concepção freireana, que fundamenta-se em pressupostos epistemológicos. A instrução pode ser interpretada como um comando e, ainda assim, ser parte de um processo profundamente dialógico porque não se trata de um comando que pretende obter uma resposta padronizada, correta, bem-comportada. Ao contrário, ela procura estabelecer o trampolim a partir do qual os mais diversos saltos são possíveis. A ordem verbal é mais um estímulo, entre tantos outros presentes, que visa estabelecer o ponto de concentração a partir do qual as mais variadas respostas são possíveis, a partir do qual se dá a criação, a construção de conhecimento. A instrução é mais um elemento dessa troca plurifacetada, em múltiplos níveis, que se estabelece em um jogo teatral e que associo aqui à noção de diálogo. Ao fornecê-la, o professor coloca-se também em jogo e precisa agir espontaneamente, de acordo com a lógica imediata da ação, movido pela concentração no foco proposto. Ao procurar estabelecer e re-estabelecer o foco, a instrução lembra-nos que há necessidade de tónus, de direcionamento para que possa de fato existir a criação em liberdade:

“[Paulo -] O diálogo não existe num vácuo político. Não é um “espaço livre” onde se possa fazer o que se quiser. O diálogo se dá dentro de algum tipo de programa e contexto. Esses fatores condicionantes criam uma tensão para alcançar os objetivos que estabelecemos para a educação dialógica. Para alcançar os objetivos da transformação, o diálogo implica responsabilidade, direcionamento, determinação, disciplina, objetivos” (FREIRE; SHOR, 1986, 67-8).

Relação com o público. A descrição que realizamos, até agora, do sistema de jogos teatrais está incompleta por não ter refletido ainda a respeito de uma parcela fundamental dos jogadores envolvidos neste trabalho. Discutimos a respeito dos jogadores que se colocam em uma relação de apresentação, no esforço de lidar com o problema proposto; do professor, que também se coloca como jogador e se estabelece como uma espécie de “guardião” do foco; mas ainda não refletimos a respeito dos jogadores que compõem o público. Qual será o seu papel, a sua função? Evidentemente, o fato de o público associar-se a ações tais como a de ver, de ouvir e de sentir não o torna um agente simplesmente passivo. Como já insistimos bastante, romper a dicotomização entre funções ativas e passivas é fundamental para pensar a criação como uma forma de sensibilidade. Nem os jogadores que estão em cena são apenas ativos, nem aqueles que estão no público são puramente passivos. Tal como os demais jogadores envolvidos, o público também exercita a concentração no foco proposto, percebe o que foi comunicado, vê como os jogadores resolvem o problema que está posto em questão. E como esses papéis são intercambiáveis e os jogadores do público passarão pelo momento da cena e vice-versa, estes papéis tornam-se dois momentos distintos de um mesmo esforço de jogo.

Essa disposição do público, mais ativa e concentrada no foco proposto, é desenvolvida especialmente quando, depois que cada time terminou de trabalhar com um problema, é realizada, pelo conjunto dos jogadores, incluindo o professor, o processo de avaliação da atividade. Não se trata de estabelecer um julgamento, mas, ao contrário, de estabelecer um vocabulário objetivo, uma comunicação direta, numa perspectiva de auxílio e cooperação, visando esclarecer o Ponto de Concentração e compreender as dificuldades envolvidas na realização do jogo. Trata-se de compreender aquilo que se conseguiu e aquilo que não se conseguiu mostrar:

“Para haver ajuda mútua, a Avaliação deve versar sobre o que realmente foi comunicado, não sobre o que foi ‘preenchido’ (tanto pelo jogador como pela plateia), não é uma interpretação pessoal sobre o que deveria ser feito. Isto acelera o processo, pois mantém a plateia ocupada assistindo não a uma peça ou a uma história, mas à solução de um problema. Quando o aluno da plateia compreende seu papel, as linhas de comunicação entre a plateia e o jogador, e entre o jogador e a plateia são intensificadas. Aqueles que estão na plateia passam de observadores passivos a participantes ativos no problema” (SPOLIN, 1998, p. 25).

Essa relação que se estabelece – o fato de o jogo se realizar para e com um público – dá ao jogo um caráter fortemente social. É claro que o fato de a maioria dos jogos envolver mais de um jogador na resolução do problema já define uma criação coletiva. Mas o fato de essa experiência de criação ser compartilhada com um público potencializa o esforço coletivo, social de reconhecimento e superação de limites. Ao sermos vistos e ao termos consciência de sermos vistos, acabamos por desenvolver a capacidade de nos vermos. Por um lado, envolver-

se completamente com o ambiente, por outro, saber-se visto e, por isso mesmo, ver-se neste estado. Lembro-me, nesse contexto, das palavras do diretor polonês Jerzy Grotowski:

“Isto pode ser lido em textos antigos: ‘Nós somos dois. O pássaro que bica e o pássaro que observa. Um vai morrer, um vai viver’. Ocupados com o bicar, bêbados com a vida dentro do tempo, nós esquecemos de manter viva a parte, em nós, que observa. Há então o perigo de existir somente dentro do tempo, e em nenhum momento fora do tempo. Sentir-se visto pela outra parte de si mesmo, a que está como que fora do tempo, dá outra dimensão. Existe um EU-EU” (GROTOWSKI, 1987).

Há uma relação dialética entre o completo envolvimento na ação e a simultânea auto-observação “distanciada”, “admirada”; relação que se desdobra também, no contexto dos jogos teatrais, nos três momentos distintos de ação direta no jogo, da assistência e da avaliação dos jogos. Esse jogo dialético propicia, do meu ponto de vista, uma estrutura para o desenvolvimento da ação e do pensamento críticos. O olhar exterior do público e do professor ajudam a constituir o olhar contemplativo, admirado, estranhado do próprio sujeito *enquanto age*. O “pássaro que observa”, apresentado na citação de Grotowski, não precisa estar necessariamente completamente “fora do tempo”, mas pode ser pensado também como “inserido na história”, ou seja: embora ele transcenda a situação imediata e individual na qual o sujeito se encontra, não precisa ser pensado como imutável e sim como sujeito em uma outra escala espaço-temporal de mudanças.

Abordando a questão mais concreta e específica do trabalho aqui desenvolvido, a experiência dos jogos em torno ao conhecimento físico sobre o mundo e em torno à prática docente ajuda os jogadores a envolverem-se com estes temas e simultaneamente verem-se neste envolvimento, podendo pensar essas práticas sociais inclusive em sua dimensão histórica, dimensão na qual o conhecimento físico sobre o mundo e a forma e sentido da ação docente se transformam contínua e / ou abruptamente. E, nesse contexto, os jogadores são convidados a refletir sobre suas opções, sobre o sentido de suas ações, não apenas enquanto jogadores, mas, fundamentalmente, enquanto docentes. Aproximamo-nos, assim, pelo menos no que diz respeito aos propósitos, da maneira como Brecht concebia o papel do teatro de nossa era científica:

“As nossas reproduções do convívio humano destinam-se aos técnicos fluviais, aos pomicultores, aos construtores de veículos e aos revolucionários, a quem convidamos a virem aos nossos teatros e a quem pedimos que não esqueçam, enquanto estiverem conosco, os seus respectivos interesses (que são uma fonte de alegria); poderemos, assim, entregar o mundo aos seus cérebros e aos seus corações, para que o modifiquem a seu critério” (BRECHT, 1978a, § 22).

2.5 Admiração e Envolvimento

O tema da relação dialética entre o envolvimento efetivo na ação sobre o mundo e o olhar distanciado, admirado sobre essa mesma realidade, constituindo assim a dimensão da *práxis*, é caro à pedagogia freireana. A reflexão, desconectada de uma ação sobre o mundo converte-se em mero verbalismo, blá-blá-blá; a prática, desconectada da reflexão sobre a prática, transforma-se em ativismo ingênuo. É apenas na medida em que a reflexão provoca, elabora uma atuação prática e a prática levanta questões para o pensamento e o condiciona que temos a possibilidade de um pensamento e ação transformadores:

“Ao defendermos um permanente esforço de reflexão dos oprimidos sobre suas condições concretas, não estamos pretendendo um jogo divertido em nível puramente intelectual. Estamos convencidos, pelo contrário, de que a reflexão, se realmente reflexão, conduz à prática. Por outro lado, se o momento já é o da ação, esta se fará autêntica *práxis* se o saber dela resultante se faz objeto da reflexão crítica. Neste sentido, é que a *práxis* constitui a razão nova da consciência oprimida e que a revolução, que inaugura o momento histórico desta razão, não possa encontrar viabilidade fora dos níveis da consciência oprimida. A não ser assim, a ação é puro ativismo. *Desta forma, nem um diletante jogo de palavras vazias – quebra – cabeça intelectual – que, por não ser reflexão verdadeira, não conduz à ação, nem ação pela ação. Mas ambas, ação e reflexão, como unidade que não deve ser dicotomizada*” (FREIRE, 1987, p. 29-30).

De maneira similar, Bertolt Brecht também só concebe o verdadeiro pensamento filosófico se associado à ação política e a verdadeira ação política quando associada à reflexão filosófica. *Por isso*, concebe uma forma teatral voltada à aprendizagem política de atores não-profissionais, as chamadas *peças didáticas* ou *peças de aprendizagem*¹¹, em que não há distinção entre público e plateia, mas a possibilidade de, ao mesmo tempo, atuar e ser espectador em um jogo teatral. Elaborada, por volta das décadas de 1920 e 1930, em um contexto histórico em que havia grandes corais e teatros proletários, grupos de radioamadores e de *agitprop*, assim como algumas escolas que elaboravam uma pedagogia de vanguarda, as peças de aprendizagem foram pensadas para o uso criativo, para a aprendizagem e a atuação política desses grupos sociais

¹¹Koudela (1991), em quem me referencio para a reflexão a respeito do assunto, e que dedica seu livro à reflexão sobre a atualidade desse aspecto da obra de Brecht, prefere traduzir a palavra alemã *Lehrstück* por “peça de aprendizagem” (ao invés de “peça didática”) porque:

“o termo ‘didático’, na acepção tradicional, implica ‘doar’ conteúdos através de uma relação autoritária entre aquele que ‘detém’ o conhecimento e aquele que é ‘ignorante’. A peça didática de Brecht propõe o exercício de uma ‘didática não depositária’, pela qual o aluno aprende por si próprio e verifica até onde caminhou com o conteúdo” (p. 99-100).

No contexto do ensino de física, é importante mencionar o trabalho de Andreis (2009), que refletiu sobre possíveis relações entre a teoria da peça didática, a pedagogia freireana e o ensino de física.

(KOUDELA, 1991, p. 8-9). Essa liberdade para o exercício, em um jogo teatral, por um lado, da observação e da reflexão e, por outro, da atuação e da ação, parece contribuir, como discutimos acima, para a constituição da síntese dialética entre ação e reflexão na *práxis*:

“Os filósofos burgueses estabelecem grande diferença entre o atuante e o observador. Essa diferença não é feita pelo pensador. Se mantivermos essa diferença, então deixaremos a política para o atuante e a filosofia para o observador, quando na realidade os políticos deveriam ser filósofos e os filósofos, políticos. Entre a verdadeira filosofia e a verdadeira política não existe diferença. A partir desse reconhecimento, aparece a proposta do pensador para *educar os jovens através do jogo teatral, isto é, fazer com que sejam ao mesmo tempo atuantes e espectadores, como é sugerido nas prescrições da pedagogia*” (BRECHT, apud KOUDELA, 1991, p. 15).

Encontramos, portanto, nos dois pensadores, o tema do duplo movimento de aproximação e distanciamento da “realidade”, para compreendê-la em seu dinamismo, em sua história, combatendo assim sua percepção mistificada. Sem nenhuma pretensão de desenvolver uma comparação sistemática entre os dois autores, proponho-me aqui a identificar, nesses autores, alguns elementos que permitam aprofundar a reflexão a respeito do diálogo como jogo teatral, preocupando-me agora com o esforço, neste diálogo e nestes jogos, de admiração, de estranhamento com relação ao que é suposto já conhecido, já dado.

2.5.1 A busca freireana de “ser mais”

“O que pretende a ação cultural dialógica, cujas características estamos acabando de analisar, não pode ser o desaparecimento da dialeticidade permanência-mudança (o que seria impossível, pois que tal desaparecimento implicaria no desaparecimento da estrutura social mesma e o desta, no dos homens) mas superar as contradições antagônicas de que resulte a libertação dos homens” (FREIRE, 1987, p. 179).

Ao reconhecer que a *duração* de uma estrutura social se dá através do jogo entre os contrários permanência e mudança, de modo que o que permanece não permanece jamais igual a si mesmo, uma vez que se desenvolve no tempo, Paulo Freire pensa a formação do homem como a constituição do sujeito que, “humanizado”, está em permanente busca de “ser mais” (FREIRE, 1987, p. 84).

Essa valorização da tensão entre permanência e mudança leva-nos, por um lado, a buscar ao máximo um enraizamento no aqui e agora, na situação atual e concreta das relações estabelecidas entre os homens e deles com o mundo. Por outro demanda o rompimento com um fatalismo que mistifique e torne estática esta realidade. Um certo estado de *imersão* acrítica na realidade impede, segundo Paulo Freire, as possibilidades de aprofundamento de sua compreensão, de desvelamento de suas razões de ser, de percepção diferenciada dos múltiplos aspectos do real e

da forma como suas partes compõem relações estruturais que possuem uma história e, portanto, não são eternas. Porém, a constituição de um pensamento puramente abstrato, desconectado de nossa vivência “concreta”, não contribui para a necessária *emersão* e percepção objetiva do mundo, uma vez que tende a criar um hiato entre teoria e realidade e a enxergar a uma e outra não em sua construção histórica, mas como verdades inquestionáveis, imutáveis e alheias ao homem que, impotente e desumanizado, pode apenas esforçar-se ao máximo para adequar-se a elas.

O desafio que se coloca é a possibilidade de transformar o estado de *imersão* acrítica no mundo em uma *inserção* sempre problemática e dinâmica. Na medida em que o homem é capaz de ter não apenas sua atividade, mas a si mesmo como objeto de sua consciência (FREIRE, 1987, p. 104), é capaz de *admirar-se* de sua situação, de ver a si mesmo a certa distância, *em perspectiva*, apreendendo a situação em que se encontra como campo de sua ação e de sua reflexão, podendo assim agir conscientemente sobre ela e transformá-la. Dessa forma, é a *emersão* reflexiva com relação à própria situação em que se encontra que permite ao homem sua *inserção* crítica, seu engajamento:

“Esta reflexão sobre a situacionalidade é um pensar a própria condição de existir. Um pensar crítico através do qual os homens se descobrem ‘em situação’. Só na medida em que esta deixa de parecer-lhes uma realidade espessa que os envolve, algo mais ou menos nublado em que e sob que se acham, um beco sem saída que os angustia e a captam como a situação objetivo-problemática em que estão, é que existe o engajamento. Da imersão em que se achavam, *emergem*, capacitando-se para *inserir-se* na realidade que se vai desvelando” (FREIRE, 1987, p. 119).

O estado de imersão acrítica, de submissão a um estado de coisas percebido como imutável, representa, para Paulo Freire, uma situação de desumanização. A desumanização, entretanto, não é natural, mas sim o resultado de uma construção histórica. A vocação histórica do homem, como ser capaz de refletir sobre si mesmo e sobre sua ação, é a de “ser mais”, de busca permanente pela superação de seus limites e de criação de novas formas de ser no mundo. São as relações de opressão, de exploração do homem pelo homem a origem histórica dessa conduta fatalista. Por isso, a busca e a luta pela humanização é também sempre coletiva, sempre social. Isso não significa, porém, um descomprometimento do indivíduo; ao contrário, somos campo para a atuação transformadora exercida por nós mesmos. Como afirma Paulo Freire:

“Não acredito na auto-libertação. A libertação é um ato social” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 71).

A luta pela humanização, não se faz através de uma “dádiva” daqueles que supostamente possuem “pensamento crítico” e conhecimentos àqueles supostamente desprovidos desses atributos. Isto porque, por um lado, essa conduta apenas reforça a transformação do homem em

objeto inconsciente de si e dependente de uma ação messiânica exterior. Por outro porque, sendo de origem social, a situação de desumanização atinge, de formas diferentes, a todos, inclusive aos opressores, e a hipótese de que existem seres que conhecem as respostas e os caminhos que levam à superação dessa situação e, mais ainda, de que esse ser é o professor, não possui qualquer fundamento.

Um exemplo pessoal. Encontro-me, neste momento, escrevendo uma tese que busca refletir a respeito de novas possibilidades para a formação de professores de física, que atuarão, em princípio, predominantemente em escolas de nível médio, públicas ou privadas. A principal acusação que se faz a estes docentes é justamente a sua “má-formação” e, em particular, o seu desconhecimento a respeito “de física”, o que os torna incompetentes para “ensinar” seus alunos, que ficam, dessa forma, “abandonados”. Refiro-me aqui a um “senso comum”, socialmente difundido. Muitas vezes, licenciandos e licenciados compartilham desse sentimento, assim como as diversas instâncias que lidam com a questão educacional, tanto na esfera governamental quanto nas universidades.

Entretanto, a conquista de uma “melhor formação”, de “mais conhecimento”, e um maior envolvimento com a reflexão, seja a respeito “de física” ou de “ensino de física”, representa também a conquista de novas possibilidades de atuação profissional, longe das salas de ensino médio, algumas vezes continuando a atuar ainda em salas de aula, mas em níveis em que essa atividade é social e economicamente mais valorizada, como no nível superior e, algumas vezes, como é o meu caso, em cursos de licenciatura, formando os professores que atuarão neste nível mais desvalorizado. Há evidentemente exemplos de pessoas que optam por continuar a trabalhar no nível médio de ensino e em escolas públicas. São exceções que confirmam a regra de que o conhecimento e a formação adquirida representam, ao invés de novas e mais potentes formas de compreensão e transformação da realidade social e profissional em que o indivíduo se encontra, novas e mais potentes formas de ascensão social e abandono da antiga profissão. A tese de doutorado que estou escrevendo neste momento me “capacitará”, talvez, a trabalhar nos mais valorizados cursos de pós-graduação, onde poderei ajudar a formar aqueles que atuarão na formação dos professores que atuarão no nível médio de ensino. E, nessa espécie de “fuga para o alto”, discuto a formação de pessoas que farão aquilo que já não desejo mais para mim.

Ainda que a partir de uma perspectiva diferente, sinto-me tão desumanizado quanto meus alunos por essa situação de opressão, em que alunos de diversos níveis são compreendidos como vítimas passivas e incapazes da auto-consciência, em que o conhecimento é visto como arma de ascensão social individual, de “ter mais” ao invés de “ser mais”, e em que a profissão que tem como objetivo justamente a socialização do conhecimento é estigmatizada. E, apesar do esforço de reflexão que venho desenvolvendo, continuo sentindo-me frequentemente mais *imerso* que

inserido nessa realidade.

Ao procurar, entretanto, observar mais distanciadamente as contradições internas à própria situação em que me encontro, noto que o maior desafio envolvido nessa ação cultural em que me insiro é a superação da compreensão do conhecimento como algo que se *adquire*, algo de que alguém *se apropria*. Compreendido nessa dimensão individual e reificada, em nossa suposta “sociedade do conhecimento”, o conhecimento, esvaziado de sentido, torna-se o instrumento ideológico através do qual justificamos o maior valor social daqueles que o têm sobre aqueles que não o têm e a escola, através do massacre de conhecimentos a respeito dos quais alunos e professores são supostos, respectivamente, desconhecedores e mal-conhecedores, torna-se local privilegiado para a reprodução dessa ideologia. Evidentemente, a superação desta “compreensão” do conhecimento não pode se realizar simplesmente no universo das ideias, desvinculada da superação de uma estrutura social, econômica, política e cultural maior na qual ela se insere. Mesmo assim, procuro agir e refletir, dentro do pequeno universo no qual consigo atuar, procurando colocar em tensão essa estrutura. Por isso, *ao invés* do conhecimento como aquisição, opto pelo conhecimento como leitura e a leitura como tradução, como transporte, como relação entre diferenças, como multiplicação de sentidos, como diálogo. Por isso, o esforço de leitura poética a propósito do conhecimento sobre o mundo.

O esforço de reflexão que procuro desenvolver nessa tese e em minha relação com o grupo de licenciandos com que trabalho não visa desenvolver formas mais eficientes de “introjeção” de conhecimento ou mesmo de “pensamento crítico” nestes estudantes. Ao contrário, trata-se de um esforço de construção de situações que potencializem as nossas possibilidades de estranhamento com relação a essa realidade espessa que nos envolve e de criação de novas formas de leitura e inserção nessa mesma realidade que, entretanto, torna-se outra frente a nossos novos olhos e mãos. Neste singelo encontro entre seres que se reconhecem na interminável busca em comum pela humanização, sou capaz de dar sentido ao meu trabalho. Como afirma Shor:

“O estudo situado apresenta os objetos sociais como desafios aos dados de nossas vidas. Esses limites, ou dados, são re-percebidos, finalmente, como membranas em torno de nós, limites históricos, grandes muros construídos politicamente, que contactamos para descobrir pontos vulneráveis, por onde atravessar. Mesmo o reconhecimento de que estamos rodeados de membranas políticas já é um progresso. Então, encontrar os meios para ir além desses limites é uma tarefa do diálogo” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 68).

2.5.2 O estranhamento brechtiano

“Estranhar um processo ou caráter significa inicialmente retirar desse processo ou caráter aquilo que é evidente, conhecido, manifesto, e provocar espanto e

curiosidade diante dele. (...) Estranhar significa, pois, historicizar, representar processos e pessoas como históricos, portanto transitórios” (BRECHT, apud KOUDELA, 1991, p. 106-107).

A peça “Mãe Coragem e seus filhos” (escrita em 1939) de Bertolt Brecht se passa no contexto histórico da Guerra dos Trinta anos, de 1618 a 1648. A personagem Mãe Coragem é uma vivandeira, uma comerciante que perambula, com sua carroça, pelas cidades, encontrando suas oportunidades de comércio devido à situação de guerra:

“Sargento – Mãe Coragem? Eu nunca ouvi falar. Por que esse nome?

Mãe Coragem – Me chamam de Coragem, Sargento, porque uma vez, para escapar da falência, eu atravessei o fogo da artilharia de Rica, com cinquenta pães na carroça; eles já estavam dando bolor, não havia tempo a perder, e eu não tinha outro jeito.

(...)

Sargento – Você é de Bamberg, e está na Baviera: como foi que chegou até aqui?

Mãe Coragem – Eu não podia ficar esperando a guerra ter a gentileza de ir até Bamberg. (...) E agora, meus senhores oficiais, não precisam de uma pistola ou de uma fivela nova? Sargento, a sua já está pedindo reforma!” (BRECHT, 1991b, p. 177-180).

Mãe Coragem perde, ao longo da história, todos seus filhos, um a um. Na cena 3, Mãe Coragem é aprisionada com parte de um regimento finlandês. Rapidamente “convertida” ao catolicismo, ela consegue manter seus negócios junto à tropa inimiga:

“Mãe Coragem – (...) Agora eu vou ali, com o Capelão, comprar uma bandeira dos católicos e carne: ninguém escolhe uma carne melhor que ele com todo aquele jeito de sonâmbulo. Acho que ele escolhe os pedaços bons, conforme a boca vai ficando cheia d’água. Ainda bem que me dão licença para continuar o meu negócio: a um comerciante não se pergunta a crença religiosa, só se pergunta o preço. E as calças protestantes vestem tão bem como qualquer outra” (BRECHT, 1991b, p. 205).

Seu filho, *Queijinho*, entretanto é pego com o cofre do regimento finlandês, por cuja guarda ele havia ficado responsável. Mãe Coragem, por um lado finge não conhecê-lo, para evitar ser incriminada também, e, por outro, procura negociar um suborno para “provar” a inocência de seu filho:

“Mãe Coragem – (...) Acho que vão soltar o meu Queijinho: graças a Deus que eles são tão venais! Não são lobos da estepe: são homens que dão valor ao dinheiro! A corrupção dos homens é como a misericórdia de Deus: a única coisa com que podemos contar. Enquanto ela existir, as sentenças serão benevolentes e uma pessoa inocente ainda poderá ter esperança de se livrar de uma condenação” (BRECHT, 1991b, p. 214).

Figura 2.11: A atriz Helene Weigel, na peça Mãe Coragem, em um grito mudo.

Para conseguir o dinheiro do suborno Mãe Coragem precisa empenhar sua carroça. Preocupada com sua sobrevivência posterior, procura ao menos guardar parte do dinheiro do empenho para si, negociando o valor do suborno. Esse tempo de negociação, entretanto, é fatal e, quando Mãe Coragem aceita por fim dar todo o dinheiro que possuía para o suborno, já é tarde e o filho é morto com onze tiros. Na montagem desta peça, realizada em 1949 por Brecht, a atriz Helene Weigel, que representa o papel de Mãe Coragem, ao saber da morte do filho, solta um grito terrível, visceral, mas ... *sem som, mudo* (TYNAN, 2004, p. 132). A situação terrível retratada seria, talvez, o ápice de envolvimento do público com a dor da personagem, provocando a manifestação de intensas emoções, não fosse pela ausência de som no grito da personagem. Essa ausência de som provoca um “estranhamento”, torna não-natural a natural reação de uma mãe ao saber da morte do filho, lembrando ao público que se tratava ali de uma *representação* e não *da realidade*.

Desconfiados da versão de que Mãe Coragem não conhecia Queijinho, os soldados levam o corpo do filho para mostrá-lo à mãe e ver sua reação:

“Sargento – É um elemento de quem nem o nome sabemos. Mas é preciso ficar registrado, para que tudo continue em ordem. Ele uma vez fez uma refeição aqui, com a senhora. Dê uma olhada, para ver se o reconhece! *Retira o lençol.* Sabe quem é? *Mãe Coragem nega com sinal de cabeça.* Nunca o viu, antes de ele vir comer aqui? *Mãe Coragem abana a cabeça, negativamente.* Podem levá-lo. Joguem na vala comum: não há ninguém que saiba quem ele é” (BRECHT, 1991b, p. 217).

A atuação da atriz mostra, ao mesmo tempo, e de forma contraditória, a atitude da personagem de auto-controle e a expressão de seu sofrimento, sem, entretanto, identificar-se com suas emoções:

“Ela caminha até a maca com um sorriso fingido e congelado que não sai de seu rosto até examinar o cadáver, sacudir a cabeça e retornar a seu assento, do outro lado do palco. Então volta-se para a plateia e vemos por um instante a face de pedra de dor absoluta” (TYNAN, 2004, p. 132).

A imagem do grito de dor da mãe, visceral, mas sem som torna inverossímil a situação e induz, por isso, a constituição de um juízo crítico. Talvez o silêncio da atriz que representa a personagem esteja a mostrar, nesse momento, a sua observação silenciosa e reflexiva sobre a personagem que representa. Não há fusão nem entre as emoções da artista e da personagem, nem entre as emoções do público e da personagem. É possível observar a situação, mesmo sendo ela tão extrema, a uma certa distância. Da mesma forma, as associações, no texto, entre a guerra e a prosperidade no comércio, entre a coragem e a venda de 50 pães que já estavam dando bolor, entre guerra e gentileza, entre a bandeira católica e a compra de carne e entre a corrupção, a misericórdia de Deus e a possibilidade de justiça, provocam surpresa, invertendo as expectativas “naturais” e nos fazendo pensar mais sobre as razões de ser e as motivações envolvidas em cada ação. Desnaturalizando o que parece natural, a cena faz com que ao mesmo tempo entendamos e não entendamos o que está acontecendo e, por isso, nos interroguemos.

Outra característica relevante dessa operação de *estranhamento* é a explicitação de que há um ponto de vista a partir do qual se representa qualquer situação. É evidente, em cada diálogo do texto teatral, que há o ponto de vista do autor a motivar sua construção. O autor não procura disfarçar ou encobrir a existência desse ponto de vista, mas o explicita. Da mesma forma, é evidente que a atriz, ao contrapor a expressão de um riso congelado a outra de dor absoluta, não pretende ser realista, mas demarcar os gestos que tornam significativa a situação, expondo assim o seu ponto de vista sobre a ação. Há uma escolha entre gestos significativos, que são realçados, e gestos não-significativos, que podem ser eliminados da representação.

Brecht argumenta que esse tipo de escolha, através da qual se expressa um ponto de vista, está presente nas mais diversas reproduções que fazemos daquilo que observamos, como, por exemplo, quando alguém vê um acidente na rua. A testemunha do acidente quer mostrar como se deu o acidente e, para isso, ela pode mostrar as atitudes e os gestos do acidentado, mas não pretende, por isso fundir sua personalidade à do acidentado, nem tampouco reproduz “todas” as suas atitudes, mas apenas aquelas que considera relevantes para compreender o incidente. Se se torna relevante, para a compreensão, saber se a vítima pôs na rua primeiro o pé direito ou o esquerdo, então a testemunha representará este aspecto da situação com maior ênfase, em câmera lenta, e esta atitude produz um efeito de *distanciamento*:

“Uma disputa como esta, sobre se o pé que o narrador assentou efetivamente primeiro na rua, ao fazer sua descrição, foi o direito ou o esquerdo, e, sobretudo, sobre qual foi o procedimento do acidentado, pode modificar a descrição

de tal forma que surja o efeito de distanciamento. Desde o momento que o narrador passe a reparar escrupulosamente na sua movimentação e a efetuar a cuidadosa e verossimilmente retardada, obterá o efeito de distanciamento, ou seja, distanciará esse pequeno acontecimento parcial, realçando-lhe a importância, tornando-o notório” (BRECHT, 1978b, p. 74).

Em analogia com o pensamento de Paulo Freire que comentamos há pouco, podemos afirmar que o distanciamento provoca um estranhamento com relação à realidade espessa de acontecimentos que envolve o sujeito na ação. Permite um olhar admirado sobre esses acontecimentos, uma emersão que permite a inserção crítica do sujeito em uma realidade cuja estrutura ele passa a reconhecer em seu processo histórico e que, por isso, deixa de ser considerada natural. A representação de uma ação associa-se, dessa forma, a um esforço de compreensão de suas razões de ser.

Brecht propõe uma série de procedimentos que podem ser utilizados para produzir *efeitos de estranhamento*. Koudela (1991, p. 113-5) discute alguns deles:

- o desenvolvimento de uma relação direta e livre do ator com o público, quebrando a *quarta-parede* que isolaria a cena fictícia da plateia;
- a apresentação das falas e ações da personagem como se fossem uma *citação*, de forma que o ator se coloca como que ao lado da personagem (como ocorre com o grito mudo de Mãe Coragem); para isso, pode-se por exemplo realizar a transposição do discurso para a terceira pessoa, para o tempo passado ou pode-se verbalizar as rubricas e comentários do texto;
- a *fixação do não/porém*, através da qual se mostra, contido em cada ação, aquilo que não se fez, enfatizando assim cada gesto e cada frase como uma decisão e não como uma atitude natural;
- a realização de cenas de julgamento, explicitando assim a contradição entre as razões envolvidas;
- a utilização de canções não para repercutir a ação, mas como um discurso independente, que pode contradizer ou comentar a ação;
- a *troca de papéis*, através da qual distintos atores, inclusive de sexos diferentes, realizam o mesmo papel, desenvolvendo assim “a capacidade de estar ao mesmo tempo dentro e fora do papel e ser, portanto, capaz de ‘apontar’ para o papel representado”.

Não se trata, neste trabalho, de procurar aplicar de maneira sistemática um ou outro procedimento de estranhamento, mas de reconhecer como e em que medida certas proposições dialógicas, certos jogos teatrais acabam produzindo efeitos que podem ser associados à noção de estranhamento. Afinal, o estranhamento não deve ser “estranho” nem ao desenvolvimento histórico da ciência nem ao trabalho pedagógico. Ao propor um momento de pausa, para ver melhor o que parece óbvio, identificando suas contradições internas, o estranhamento é um elemento fundamental para o desenvolvimento do pensamento crítico. É significativo que o personagem Galileu Galilei de Brecht proponha-se a ensinar Andrea, o filho de sua empregada, a simplesmente ver:

“**Andrea** – Mas eu vejo que o Sol de noite não está onde estava de manhã. Quer dizer que ele não pode estar parado! Nunca e jamais.

Galileu – Você vê! O que é que você vê? Você não vê nada! Você arregala os olhos, e arregalar os olhos não é ver” (BRECHT, 1991a, p. 59).

A relação com um texto teatral ou o esforço de construção de personagens não foram focos de preocupação deste trabalho. Dessa forma, as *peças de aprendizagem*¹² de Brecht não representaram um modelo que nos orientou. O sistema de jogos teatrais de Viola Spolin, que orientou muitas de minhas proposições, compartilha, entretanto, com as *peças de aprendizagem*, a metodologia de permitir que todos joguem, observem e avaliem o processo, não dissociando portanto a ação e a observação, e de pretender transformar essa experiência vivida em uma aprendizagem. Além disso, creio que a noção brechtiana de estranhamento está de alguma forma presente, em três momentos distintos, nas atividades e jogos que propus. O primeiro momento refere-se ao estranhamento do próprio espaço escolar e das relações que nele se estabelecem; o segundo refere-se ao estranhamento da relação entre proposições científicas, seu fundamento empírico e o contexto histórico-social de sua produção; o terceiro, por fim, refere-se ao estranhamento que a ciência estabelece com relação à linguagem e à percepção comum, cotidiana.

O estranhamento do espaço escolar se deu através do esforço de sua observação, associada às atividades de estágio vinculadas à disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*. Como tornar a observação de um espaço tão conhecido uma experiência de descoberta? São tantos os preconceitos que envolvem a escola, que uma observação não orientada por um foco redundaria em relatos muito uniformes que reconhecem, na escola, apenas o espaço da sala de aula e vêm, neste espaço, apenas alunos (quase sempre) “mal” comportados ou (muito raramente) “bem”

¹²Cabe esclarecer também que as duas peças de Brecht a que fiz referência acima – *Mãe Coragem e Vida de Galileu* – não correspondem à sua fase de trabalho com as *peças de aprendizagem*, mas sim à produção das chamadas “*peças épicas de espetáculo*”, que não são elaboradas objetivando a fruição, a reflexão e a aprendizagem dos próprios grupos que a representam, mas são pensadas para o tipo de relação mais comum de apresentação em que público e artistas são claramente distinguidos.

comportados (quer dizer, silenciosos) e um professor (quase sempre) “desmotivado” ou (muito raramente) “dedicado” (quer dizer, que “dá” muito conteúdo na lousa).

Na busca de *estranhar* essa percepção enrijecida do espaço escolar, demandeí que a observação tivesse como *foco* o *cruzamento entre a estruturação física do espaço e sua ocupação humana*. Era necessário observar e registrar todas as observações em um relatório minucioso que abordasse o que se percebeu em diversos níveis: desde a inserção da escola no entorno imediato do bairro, as regiões de fronteira entre a escola e o entorno tais como as portas que permitem e / ou impedem a entrada e saída, até os diversos ambientes escolares, que incluem, mas não se restringem à sala de aula. O foco de observação associado ao cruzamento entre espaço físico e relações humanas torna-se particularmente relevante com relação à observação da sala de aula: toda observação precisava ser traduzida em sua dimensão física, espacial e gestual; não se trata de afirmar se os alunos são interessados ou não, mas em observar a forma de sua presença física no espaço. Deter a observação nesse nível mais “*externo*”, impedindo a inferência automática a respeito do estado de espírito “*interior*” de professores e alunos observados associa-se ao combate a uma *psicologização* da observação e à possibilidade de construção daquilo que Brecht chama de *gestus social*:

“Um *gestus* designa as relações dos homens entre si. A esfera das atitudes que as figuras (personagem) assumem uma diante das outras, denominamos esfera gestual. Atitude corporal, tom de voz e expressão facial são determinados por um *gestus social*: as figuras insultam-se umas as outras, fazem elogios, ensinam umas às outras e assim por diante” (BRECHT, apud KOUDELA, 1991, p. 102).

A resistência ao *foco* proposto (ou a sua incompreensão) se manifestou de múltiplas formas. A maior dificuldade foi aceitar que se tratava de realizar observações individuais e específicas e não de chegar a conclusões gerais e abstratas. Mesmo após o esclarecimento deste foco, a existência de diversos relatos que indicavam, por exemplo, “que todas as aulas observadas foram iguais”, diferindo eventualmente apenas no que diz respeito ao “conteúdo apresentado”, mostra a dificuldade de aceitação da proposição realizada. Da mesma forma, também foi bastante frequente a dificuldade em aceitar o foco de observar outros espaços da escola, além da sala de aula.

Com o intuito de enfatizar o caráter sensível da observação solicitada, propus uma série de exercícios tais como: aquele descrito na seção 2.3 na página 62, em que se propunha caminhar pela escola de olhos vendados (ver também quadro 2 na página 178); outros jogos de aquecimento em que há alternância entre deslocamentos pelo espaço de olhos abertos e de olhos fechados e em que se deve descrever, de olhos fechados, detalhes do espaço que se observou no momento em que se estava de olhos abertos; ou ainda, exercícios de auto-observação, em

que se deve descrever a própria organização espacial da sala de aula em que estamos (pensando no cruzamento entre espaço físico e relações humanas), no exato momento em que estamos discutindo o assunto.

Para problematizar a dimensão do *gestus social* e dos múltiplos pontos de vista que são possíveis sobre uma mesma situação, propus um exercício similar ao trabalho com Teatro-Imagem, concebido por Augusto Boal (1975). Neste exercício, um grupo de jogadores deve representar, com o próprio corpo, uma imagem congelada que represente alguma situação observada no trabalho de estágio e que envolva algum tipo de conflito social. Os jogadores que construíram a imagem permanecem como estátuas, congelados na imagem proposta; aos jogadores que estão observando a imagem, propõe-se que identifiquem qual o *ponto de vista* sobre a situação que está sendo representado e que procurem modificar esse ponto de vista, passando a representar um outro *ponto de vista social* para a *mesma* situação (ver quadro 6 na página 184). Para isso, os jogadores não devem falar o que deve ser feito, mas, com as próprias mãos, modificar os gestos dos jogadores que estão congelados na imagem, como quem molda uma estátua. De maneira similar ao que ocorre na discussão que Brecht realiza a respeito da representação de um acidente na rua, há uma escolha daqueles gestos que são significativos, de acordo com um determinado ponto de vista. A modificação de pequenos detalhes gestuais pode modificar drasticamente o sentido da situação, modificando assim o ponto de vista da representação.

O segundo momento em que identifico efeitos de estranhamento nas atividades desenvolvidas refere-se à realização de debates a respeito dos sistemas geocêntrico e heliocêntrico e a respeito da esfericidade da Terra. Já fizemos referência a esses debates na seção 2.4.1 na página 75 (ver também os quadros 8 na página 196 e 18 na página 272). Essas cenas de julgamento que criamos são capazes de produzir estranhamento porque, frente à necessidade de expor suas razões, os jogadores estranham suas próprias convicções, percebem eventualmente que não sabem expor porque pensam como pensam. Podemos identificar essa percepção por exemplo neste relato de um estudante:

“É interessante essas discussões, (...) como ‘O Sol está no centro do sistema’ ou ‘A Terra é redonda’, pois no meu caso essas ideias simplesmente e sem nenhum esforço, foram colocadas por outros em meu cotidiano e aceitei tranquilamente. Dando aula para as turmas do ensino médio pude perceber que é muito mais fácil eles aceitarem que o tempo sofre alteração e que um gêmeo fica mais velho que o outro, do que nós que estudamos e não que seja difícil mas temos que analisar de uma outra forma, sendo que eles estão prontos para receber o conhecimento transmitido pelo professor”.

(Relato de estudante, publicado no blog da disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*).

A atitude de apego a falsas razões também é frequentemente exposta nestes jogos. Por exemplo, frente à necessidade de compreender o fenômeno das estações do ano de acordo com o sistema geocêntrico, os jogadores se dão conta de que também não o compreendem no contexto do sistema heliocêntrico. A fragilidade dos argumentos apresentados (como por exemplo aqueles que associam o verão ao momento em que a Terra está mais próxima do Sol, ou os que afirmam que o “eixo da Terra” é “torto” e, por isso, ora o hemisfério norte, ora o hemisfério sul estão mais próximos do Sol) revela-se no debate, mas os jogadores resistem a reconhecer os problemas que não conseguem explicar. O estranhamento com relação a esse tipo de apego é testemunhado no seguinte relato:

“Depois que aprendemos alguma coisa, se torna complicado aceitar uma nova ideia. Pudemos sentir isso na aula em que fizemos a discussão da Terra parada ou em movimento, onde falamos sobre as estações do ano. Estamos tão adaptados a achar que sabemos algo que, quando paramos para analisar efetivamente algum assunto, muitas vezes ficamos confusos, ou não conseguimos aceitar uma ideia simples proposta, pois não conseguimos nos desprender da ideia original”.

(*Relato de estudante, publicado no blog da disciplina Oficina de Projetos de Ensino*).

Essas cenas de julgamento invariavelmente suscitam o debate a respeito de tipos de argumentos que são ou não válidos de utilizar. É válido invocar uma foto da Terra feita por satélite para defender seu caráter esférico? Ou a referir-se ao modelo do *big bang* para defender que ela se mova? Muitas vezes, a utilização de argumentação baseada em fatos ou modelos anacrônicos acaba tendo um impacto no debate muito menor do que se imaginava, uma vez que os jogadores também não sabem construir argumentos que garantam a credibilidade desses fatos e modelos, revelando-se assim, novamente, a dificuldade em fundamentar as próprias convicções. Por outro lado, construções racionais “antigas”, “superadas” adquirem às vezes uma força insuspeita e os jogadores apresentam grande dificuldade em se contrapor, por exemplo, à compreensão do movimento retrógrado dos planetas através da utilização de epiciclos. O ataque a este modelo invocando argumentos de *simplicidade* esbarra na dificuldade em explicar porque e em que sentido o modelo Copernicano, muito menos “intuitivo”, seria mais simples. O ataque à *gratuidade* de um modelo que supõe a composição de dois movimentos circulares é respondido questionando se o movimento da Lua em torno à Terra e ao Sol, no modelo Copernicano, não seria também uma composição de dois movimentos circulares. Frente a pergunta a respeito do que haveria no centro da circunferência em torno da qual o planeta, segundo o modelo baseado em epiciclos, gira, pode-se perguntar também o que há no segundo foco da elipse em torno da qual, segundo Kepler, o planeta gira¹³. De qualquer forma, a percepção de que há um contexto

¹³Exceto por este último argumento, referente ao questionamento sobre o que há no segundo foco das elipses

histórico associado a fatos, argumentos e modelos permite estranhar também a relação entre os paradigmas científicos e o contexto histórico a eles associado.

O terceiro momento associado a efeitos de estranhamento relaciona-se com o estranhamento que o pensamento científico institui com relação à percepção sensível cotidiana. Assim como o *grito mudo* de Mãe Coragem provoca estranhamento na medida em que explicita a distinção entre representação e realidade, revelando o caráter construído, convencionado, simbólico da representação, procurei imaginar situações em que a exploração desse caráter convencional da representação permitisse abordar a crítica que a ciência realiza de uma determinada forma desproblematizada de percepção. Essa intenção adquiriu forma, no contexto dos jogos teatrais, através da proposição de *subversões* de certos conceitos. A palavra é, talvez, um pouco exagerada para descrever o que se propõe, mas parece ter ressoado bem junto aos estudantes, que compreenderam o sentido da proposta. Propus jogos teatrais em que o foco era a *subversão da verticalidade* ou a *subversão do movimento*. Houve também proposições, minhas ou dos próprios estudantes, associadas à *subversão da perspectiva* e à *subversão da simultaneidade*. Procurarei descrever aqui o que entendo por *subversão da verticalidade* e *subversão do movimento* e deixarei as demais proposições para discutir no capítulo 4, que tratará em mais detalhes as produções discentes (ver quadros 7 na página 191, 9 na página 232 e 14 na página 260).

Subverter a verticalidade associa-se a desenvolver um jogo em que a direção vertical do jogo não corresponda à direção vertical do público. O estranhamento produzido, ao constituir uma convenção através da qual acreditamos e não acreditamos na existência de uma outra direção vertical, procura revelar o caráter relativo que atribuímos a essa direção se consideramos a Terra como esférica; visa, em outras palavras, dar uma resposta a Andrea, personagem da peça *A vida de Galileu* de Brecht, a que já fizemos referência:

“**Andrea** – Mas esta noite eu descobri que toda noite eu ficaria pendurado de cabeça para baixo, se a Terra virasse como o senhor diz. E isso é um fato.

Galileu pega uma maçã na mesa – Bom. Isto é a Terra.

Andrea – Ah, não, seu Galileu, não venha com esses exemplos. Assim o senhor sempre se sai bem” (BRECHT, 1991a, p. 61).

Da mesma forma, *subverter o movimento* associa-se a construir uma convenção no jogo, através da qual o estado de movimento da cena não corresponda ao estado de movimento do público, de forma que o público simultaneamente acredite e não acredite que os jogadores estão em movimento. O estranhamento produzido procura revelar o caráter relativo que a física, desde

de Kepler, o restante dos argumentos aqui apresentados corresponde a reproduções de proposições realizadas por estudantes em experiências de realização de julgamentos a respeito da mobilidade ou não da Terra. Este último argumento é uma extrapolação dos precedentes.

Galileu, atribui ao movimento e repouso e submeter à crítica a máxima Aristotélica segundo a qual “tudo o que se move é movido por alguma coisa” (ARISTÓTELES, 1962, p. 256^a), razão pela qual o movimento pressuporia um ponto fixo.

Diversos jogos pretenderam desenvolver essa *subversão do movimento*. Já fizemos referência a alguns deles como aqueles descritos na seção 2.3 na página 63 e na seção 2.4.1 na página 73, em que se tratava de *tornar real* um ambiente que se move. Em outros jogos, propus a constituição de uma relação entre um grupo de jogadores (um *coro*) e um *corifeu* (o chefe do coro), de forma que, a cada movimentação do *corifeu*, o *coro* realizasse a movimentação *inversa*, ou seja aquela que seria capaz de restituir a mesma posição relativa entre o *coro* e o *corifeu* (ver quadro 16 na página 265). Movimentações relativamente simples do *corifeu*, como por exemplo um giro de 90° em torno do próprio eixo, já se tornam bastante difíceis para o *coro*, demonstrando assim como o pressuposto de relatividade do movimento envolve complexidades insuspeitas.

Ao mesmo tempo em que realizavam estes jogos associados à *subversão do movimento*, os jogadores frequentemente tiveram que lidar verbalmente com problemas teóricos associados à descrição física de movimentos segundo distintos referenciais. Havia assim a possibilidade de desenvolver um diálogo entre o jogo de movimentação e o jogo com as palavras, diálogo que algumas vezes demonstrava consonâncias e outras dissonâncias de sentido (ver quadros 15 na página 264 e 17 na página 267). A minha expectativa, com essas proposições, era de que a relação dialética entre o plano da movimentação física e o plano das representações verbais pudesse produzir efeitos de estranhamento que contribuíssem para um novo patamar de compreensão a respeito da ruptura científica representada pelo princípio de relatividade Galileana.

3 *Ciência como arte*

“Toda beleza fundamenta-se na verdade e a ela remete-se, mas, por outro lado, o sentido pleno, o sentido concreto da verdade não poderia manifestar-se em nenhum domínio senão o da beleza” (CASSIRER, 1994, p. 414, a propósito do pensamento de Shaftesbury).

“O sábio não estuda a natureza pelo fato dela ser útil; ele a estuda porque isso lhe dá prazer, e isso lhe dá prazer porque a natureza é bela. Se a natureza não fosse bela, não valeria a pena que ela fosse conhecida; (...) simplesmente as coisas que nos parecem belas são aquelas que se adaptam melhor à nossa inteligência” (POINCARÉ, apud VECCHIO JR., 2009, p. 23-4).

Pensar a ciência como arte não significa igualar essas atividades, negando suas diferenças. O valor de se pensar a atividade científica como uma expressão artística deve-se justamente ao fato de se tratarem de funções evidentemente diferentes, frutos de tradições históricas distintas. Se estivéssemos diante de ações equivalentes, o título desse capítulo teria o valor de uma tautologia. Pensar a ciência como arte, dessa forma, significa introduzir em nosso centro de interesse (a ciência) um vetor que possa provocar deslocamentos de significado, que nos permita dar novos sentidos a nossas ações. Não se trata especificamente aqui, entretanto, de repensar a atividade científica “em si”, mas a forma como com ela nos relacionamos e a imagem que dela construímos, principalmente por meio da educação.

A ressalva expressa na última frase do parágrafo acima já nos indica a possibilidade de uma interessante contraposição entre arte e ciência. De fato, somos levados muito frequentemente a estabelecer uma distinção rígida entre a educação científica e a prática científica “propriamente dita”. É como se o professor ao dar aulas de uma disciplina científica e os estudantes ao participarem dessas aulas não estivessem praticando ciência, mas apenas instruindo e sendo instruídos *a respeito da ciência*, ou, pior, a respeito de uma vulgarização dela. Apesar de a imensa maioria dos cientistas passarem parte significativa de sua vida aprendendo e ensinando a ciência estabelecida, a prática pedagógica dificilmente é reconhecida como parte integrante da atividade científica.

Em contrapartida, é mais fácil de reconhecer que um estudante, quando participa de uma aula de alguma arte, está de alguma forma praticando aquela arte. É evidente que sua atividade

não é de nenhuma forma *equivalente* ao trabalho de um artista profissional, mas o seu exercício criativo com os elementos de uma dada *linguagem* artística não pode ser dicotomizado do ser daquela arte. Embora o artista amador e o profissional realizem criações a partir de pressupostos e com objetivos bastante distintos, é difícil negar que ambos *realizam* atividades artísticas. Com relação ao docente, é frequente atualmente referir-se a ele através da denominação “arte-educador” ou “artista-educador”, ao invés de “professor de artes”. Enfatiza-se assim que o educador é também um artista e que sua prática, mais do que de *ensinar a respeito da arte*, é tanto uma prática artística quanto uma prática educativa, em que ele educa *por meio* da arte que realiza *enquanto* ensina. Não nos indicaria essa contraposição a possibilidade de pensar as relações pedagógicas em torno às ciências, não como um *ensino de ciências*, mas como uma *educação por meio da ciência que se pratica enquanto se ensina*?

Mesmo o momento de recepção, por parte de um público, de um trabalho artístico é considerado parte fundamental do trabalho artístico em si, em alguns casos é até o momento mais fundamental, que dá sentido a todo o resto. Em contrapartida, a recepção de um trabalho científico pelo público é uma parte marginal desse trabalho, um momento de *divulgação científica*, desconectada do processo de produção da ciência. Como compreender essas diferenças?

Tanto um trabalho artístico como um científico se dão materializados e / ou codificados em uma determinada linguagem simbólica. Entretanto, a relação que cada trabalho estabelece com a forma em que se expressa é bastante distinta. A obra de um pintor, por exemplo, está materializada em sua forma expressiva original e qualquer reprodução dela será apenas uma cópia imperfeita do original. Já uma obra literária está codificada em uma forma que poderá, em geral, ser reproduzida quantas vezes se queira sem que nenhuma cópia seja concebida como pior ou diferente do livro escrito originalmente pelo autor (a caligrafia do autor é considerada, geralmente, irrelevante para o sentido da obra). Entretanto, as palavras exatas que compõem a obra não podem ser modificadas e a tradução do livro para um outro idioma é possível em princípio, mas sempre problemática. Uma composição musical, por seu lado, é escrita em uma linguagem tal que é possível não apenas reproduzi-la sem alterar seu valor original como inclusive reescrevê-la em formas distintas, com distintas notações e simbolismos, sem que essa modificação altere o valor ou o sentido da obra. Desse ponto de vista, a composição musical é a que mais se aproxima de um trabalho científico: também ele pode se expressar em distintas notações, com distintos simbolismos, sem que isso seja, em geral, considerado uma mudança no sentido ou no valor do *trabalho em si*.

Porém, a composição musical não adquirirá sentido enquanto não for *interpretada* por músicos e enquanto não puder ser *escutada* por uma audiência. Longe de ser um processo mecânico, cada interpretação de uma composição original é sempre única, não equivale a nenhuma

outra que se realize a propósito da mesma obra (nem mesmo se ela for realizada pelos mesmos intérpretes, no dia seguinte), e qualquer forma de gravação e reprodução posterior não terá o mesmo valor e sentido da *apresentação original*. O mesmo ocorre, por exemplo, na representação de um texto teatral. Além do mais, até mesmo a escuta da música, a assistência ao espetáculo teatral, a leitura da obra literária e a contemplação da pintura não são gestos apenas passivos, mas também (e ao mesmo tempo) ativos e interpretativos, únicos, de forma que a percepção de um sujeito não é equivalente a nenhuma outra (nem mesmo à percepção que ele terá da mesma obra em uma segunda oportunidade de contato). Por isso, a obra só se completa, só adquire sentido, no momento em que é percebida e se re-completa a cada vez que é re-percebida.

Ao longo do século XX, tornou-se cada vez mais comum a criação de trabalhos artísticos em que o público possui um papel ainda mais ativo, participando explicitamente da composição da obra. Dessa forma, as diferentes formas como um trabalho é recebido pelo público torna-se explícita pelas repercussões que causam na expressão da própria obra. Umberto Eco (1971) discute tanto o grau de abertura inerente à interpretação de qualquer obra de arte, como também esses graus mais radicais de abertura em que o artista conscientemente constitui a obra de forma a que ela só se complete no momento da fruição, ampliando intencionalmente a liberdade do fruidor de participar de sua composição.

Em contraposição, o “conteúdo” de um trabalho científico é, em geral, considerado independente da forma específica em que ele se expressa e dos sujeitos que o percebem e interpretam. É como se o sentido do trabalho já existisse *a priori*, antes que alguém o interpretasse. Àquele que percebe, interpreta, aprende um certo discurso científico, cabe apenas descobrir um sentido e um significado já dados, mas ocultos. Ou, de forma mais radical, concebe-se que o discurso científico não possui qualquer sentido oculto, que a codificação do discurso científico permite apenas estabelecer relações entre fatos experimentais, mas não expressa nenhum sentido, ou ao menos que a interpretação do discurso científico não possui importância real, não faz parte da atividade científica: basta saber *operar* com o formalismo científico e contrastar previsões e medidas experimentais. Em qualquer caso, a percepção e a interpretação aparentemente não adicionam nada ao trabalho constituído.

Pensar a ciência como arte, nessa linha de comparação e contraposição, implica incluir a percepção, a interpretação, a compreensão da ciência como atividades construtivas e não apenas passivas e como partes integrantes da atividade científica. Não será verdade também para a ciência que, enquanto não é percebida e interpretada, a obra científica não se completa? O físico e educador Martin Eger defende uma tese dessa natureza, utilizando exemplos da história da ciência em que a “*simples*” interpretação e re-interpretação da ciência estabelecida não foi

inócua, mas renovou as formas de fazer ciência. Nesse sentido, ele defende a relevância, para a reflexão sobre a ciência e sobre seu ensino, de uma abordagem *hermenêutica*, que coloque a interpretação não como elemento existente a priori, mas como uma construção sempre problemática, condição necessária para a leitura de qualquer construção simbólica humana. Por essa abordagem ele reconhece a educação como construção de conhecimento e como parte da atividade científica e se coloca em contraposição ao modelo de educação, que, com Paulo Freire, chamaríamos de educação bancária. Por não reconhecer uma distinção rígida e prévia entre sujeito e objeto, mas associá-la à fluida e problemática fronteira na qual se realizam as interpretações, a abordagem hermenêutica:

“desafia uma concepção bastante enraizada, associada ao modelo de conhecimento como produto: o conhecimento científico, nesse modelo, pensado como um produto passível de ser transferido, é produzido pelos pesquisadores, armazenado em artigos e monografias técnicas, distribuído por professores que utilizam livros-texto e de divulgação, sendo finalmente recebido – para alguma forma de uso – pelos estudantes e pelo público em geral. Portanto, o professor é retratado como o varejista e o estudante como o consumidor dos produtos cognitivos da ciência; e assim eles se vem como externos à ciência ‘em si’, identificada com o processo de produção. A distinção sujeito/objeto não apenas é tida como dada nessa concepção, como também reifica tudo que está à vista. Em contraste, a hermenêutica promove uma visão da ciência de alguma forma mais próxima daquela associada à arte (embora, evidentemente, não idêntica a ela), na qual o pesquisador, o professor e o estudante participam todos do ser de uma ciência, interpretando em cada estágio os objetos desta ciência” (EGER, 1993, p. 323).

E, pensando dessa forma, não constituiriam, por exemplo, as leis de Newton ou as equações de Maxwell verdadeiras “obras abertas”, que permitem ao “fruidor” atribuir a elas, a cada nova leitura, interpretação e aplicação que faz, novas possibilidades significativas? Afinal, justamente pelo caráter abstrato e geral que possuem, jamais serão esgotadas as possibilidades de interpretação e aplicação dessas teorias a contextos e situações particulares. A falta de uma compreensão mais aprofundada delas, as dificuldades matemáticas envolvidas na realização de qualquer aplicação teórica mais refinada, as dificuldades operacionais envolvidas na realização de experimentos e, talvez principalmente, o predomínio de um espírito conservador, temeroso do encontro com novas possibilidades de abordagem, reduziram frequentemente a “apreciação” dessas “obras” em contextos educacionais a uma mera repetição dos mesmos problemas. Entretanto, quantas possibilidades diferentes de aplicação, na reflexão sobre o mundo, não são possíveis dessas leis? O apoio atual fornecido pela tecnologia, com a possibilidade por exemplo de filmar e analisar movimentos a partir de uma câmera de celular, de resolver equações diferenciais de forma quase imediata, permitem, sem dúvida, uma grande ampliação de horizontes. Porém, sem um aprofundamento da compreensão teórica e sem poder contar com um

espírito de abertura para o risco do novo, o que continua frequentemente ocorrendo é a mesma compreensão fechada e sem significados das obras científicas. Pensar a ciência como arte implica reconhecer a possibilidade e o valor de formas mais abertas e criativas de recepção e interpretação dos trabalhos científicos.

Uma vez que aceitemos incluir a recepção do discurso científico e a sua interpretação como parte integrante da ciência, novos elementos de contraste aparecem na comparação entre arte e ciência. É marcante o caráter *sensível* da recepção de qualquer trabalho artístico. A maneira concreta como o trabalho atua sobre os órgãos de nossa percepção e, de forma indissociável, a sua ação simbólica, imaginativa, sobre nós estimulam nossa sensibilidade e são essenciais à *fruição* da obra. Por outro lado, para a recepção da ciência, costuma-se enfatizar muito mais o caráter *racional* do que o sensível e o sujeito que busca *compreender* um *pensamento* científico deve realizar um esforço de *abstração* com relação à forma concreta como ele lhe é apresentado: os desenhos esquemáticos, os exemplos de aplicação são apenas formas imperfeitas de representação de *ideias* muito mais gerais, quase platônicas. A relação com o universo sensível evidentemente se dá, mas mediada pelo *experimento*. Nele, a sensibilidade do sujeito deve ser submetida a um controle racional, que estabelece procedimentos de medida e decide quais as conclusões a que é possível chegar a partir dos *dados* da experiência.

Talvez esse seja o aspecto mais polar que encontramos ao comparar arte e ciência. Enquanto a experiência artística demanda um aprofundamento cada vez maior das relações sensíveis entre o sujeito e a obra, a experiência científica, ao contrário, demanda um distanciamento do sujeito, um exercício de impessoalidade, a busca por percepções de natureza tal que qualquer sujeito “*racional*”, submetido às mesmas condições, chegasse às mesmas conclusões. Como pensar a ciência como arte nesse contexto?

Aprofundaremos essa pergunta ao longo do presente capítulo. Parece-me, entretanto, importante já sinalizar que tanto o aprofundamento da percepção sensível e subjetiva quanto a constituição da percepção objetiva e racional representam não uma faculdade já dada a priori, já pronta e acabada, mas uma construção difícil, um movimento contínuo, um esforço constante de distanciamento com relação a uma forma de percepção cotidiana, socialmente consolidada em um certo senso comum, que não realiza nem uma coisa nem outra. Nessa oposição que ciência e arte estabelecem com relação a uma forma desproblematizada de percepção e pensamento, podemos, acredito, encontrar o elo comum através do qual seja possível notar como o aprofundamento da percepção subjetiva, sensível, que estabelecemos na fruição de uma obra de arte, pode alavancar a capacidade de abstração e de estabelecimento da compreensão não centrada no sujeito, mas em busca de objetivação, característica do pensamento científico. Que desenvolvimento da sensibilidade é necessário para, com Einstein, imaginar a luz parada em um

trem que viaja à mesma velocidade que ela? Ou para, com Newton, imaginar a possibilidade de duas esferas ligadas uma à outra, em um espaço completamente vazio, girarem em torno de um eixo comum, tensionando o fio que as conecta? Pensar a ciência como arte, nesse contexto, implica demonstrar a sensibilidade que é necessário desenvolver para apreciar e compreender o pensamento científico, uma sensibilidade associada ao intelecto¹.

Provavelmente por promover experiências aparentemente tão distintas do mundo, a proposição de pensar a ciência através do vetor que a aproxima da arte pode parecer, acredito, “herética” e “ofensiva” para algumas pessoas. Não é à toa. As aproximações entre esses dois domínios frequentemente foi percebida como um desvirtuamento, uma deslegitimação da ciência ou da arte, uma tentativa de *reduzir* um domínio a outro. Por um lado, não faltam autores, de Descartes a Bachelard, que enfatizem a importância de submeter a percepção sensível a uma intensa crítica racional para alcançar um conhecimento verdadeiro ou científico. Por outro, a denúncia dos perigos de invasão de uma atitude racionalista sobre todos os aspectos da vida, destruindo assim as possibilidades de uma experiência estética do mundo, é igualmente frequente e pode ser notada, por exemplo, no poema de Goethe e no trecho do manifesto neoconcreto, citados a seguir:

“Volteia em torno da fonte
A cambiante libélula,
Por longo tempo alegre o meu olhar;
Ora escura, ora clara,
Tal qual o camaleão;
Ora vermelho, ora azul,
Ora azul, ora verde;
Oh, que de bem perto
Percebo agora as tuas cores!
Ela adeja e plana, nunca pousa!
Sim, ei-la pousada agora no prado.
Agarrei-a! Agarrei-a!
Desta vez observo-a de bem perto
E tudo o que vejo é um azul funéreo -

¹ Abordamos a palavra “sensibilidade” aqui em consonância com a maneira como a artista plástica Fayga Ostrower a compreende (como discutimos na seção 2.1.1), associando-a ao ato de abertura e troca com o mundo que todo ser vivo realiza e, ao mesmo tempo, à maneira como atribuímos uma forma a esse mundo percebido, estabelecendo um limite entre o percebido e o não percebido, articulando “o mundo que nos atinge, o mundo que chegamos a conhecer e dentro do qual nos conhecemos”. A maneira ampliada como essa autora entende esse termo lhe permite estabelecer diversas conexões entre arte e ciência, destacando a dimensão de criatividade presente nessas atividades e demonstrando a possibilidade de uma “sensibilidade do intelecto”, título de livro que dedica especialmente à identificação de “visões paralelas de espaço e tempo na arte e na ciência” (OSTROWER, 1998).

Eis o que te espera, tu, que dissecas o prazer!” (GOETHE, apud CASSIRER, 1994, p. 449).

“O racionalismo rouba à arte toda a autonomia e substitui as qualidades intransferíveis da obra de arte por noções da objetividade científica: assim os conceitos de forma, espaço, tempo, estrutura – que na linguagem das artes estão ligados a uma significação existencial, emotiva, afetiva – são confundidos com a aplicação teórica que deles faz a ciência” (CASTRO et al., 1959).

Apesar das ressalvas de parte a parte, esses dois adjetivos, “*verdadeiro*” e “*belo*”, estiveram, historicamente, quase sempre associados e as citações em epígrafe demonstram sua colaboração mútua, através da qual um termo justifica, permite reconhecer e confere sentido ao outro. Os dois termos parecem também compartilhar uma história associada à sua compreensão, que remete ao confronto entre uma concepção mais absoluta, ideal e até mesmo divina desses termos e outra concepção mais relativa, em que eles são referidos a contextos sociais, culturais e até mesmo individuais.

Evidentemente, porém, no jogo entre esses dois termos, a carga semântica associada ao caráter absoluto e universal parece pesar muito mais do lado da palavra “verdade”, enquanto que aquela associada ao caráter relativo coloca-se ao lado da palavra “beleza”. É por isso que ouvimos a máxima: “gosto não se discute”, e não a máxima: “razão não se discute”. É provavelmente por isso também que a proposição de *pensar a ciência como arte* pode parecer ofensiva: por afirmar, de forma sub-reptícia, o caráter relativo daquilo que se quer crer absoluto. De fato, é com esse objetivo explícito, e de forma provocativa, que o epistemólogo Paul Feyerabend, por exemplo, pensa o valor de se afirmar que a ciência é como a arte:

“Se vivêssemos em um tempo em que se acreditasse ingenuamente no poder curativo e na objetividade das artes, se não se separasse arte e Estado, se as artes fossem sustentadas com meios fiscais, se fossem aprendidas nas escolas como disciplinas obrigatórias, enquanto que as ciências fossem consideradas como coleções de jogos, das quais os jogadores ora elegeriam um jogo ora outro, então, como é natural, seria igualmente indicado recordar que as artes são ciências. Mas, desgraçadamente, não vivemos em um tempo assim” (FEYERABEND, 1996, p. 190).

A pretensão deste trabalho não é, entretanto, essa. Por um lado coloco-me sim em contraposição a uma concepção excessivamente polar, bastante comum, que localiza o caráter absoluto e racional inteiramente ao lado da ciência e o caráter relativo e irracional inteiramente ao lado da arte, em que a ciência é compreendida como uma atividade dura, séria, importante e impessoal enquanto a arte é concebida como fácil, gratuita, vã e subjetiva. Por outro, não pretendo entrincheirar-me em uma batalha *contra* as verdades científicas², mas, ao contrário, pretendo pensar como essas verdades podem ser enriquecidas por percepções estéticas de sua estrutura.

²Essas ressalvas com relação às intenções do trabalho são importantes para, de certa forma, “limpar o terreno”

O pressuposto fundamental do qual irei partir é o de que, assim como a arte ou qualquer outro empreendimento humano, o pensamento e a atividade científica – e também seu aprendizado – possuem muitas dimensões: empíricas, lógico-rationais, estéticas, políticas, econômicas, associadas a valores sócio-culturais, etc. Refiro-me a estes múltiplos aspectos do empreendimento científico com a palavra *dimensões* porque a imagem que me ocorre não é a de que esses aspectos se compõem somando-se uns aos outros, de forma que pudéssemos encontrar regiões “lógico-rationais”, regiões “empíricas”, regiões “histórico-sociais”, etc, assim como regiões de fronteira, em que essas categorias aparecessem de forma mais “mesclada”, menos demarcada. Sinto-me melhor contemplado pela imagem de um empreendimento multifacetado, em que qualquer momento real de sua construção e de seu aprendizado associa-se a um “volume” neste espaço multi-dimensional, com alguma “espessura”, ainda que muito pequena, em *todas* as possíveis direções do pensamento. Nesse sentido, não há como estabelecer fronteiras demarcatórias entre essas múltiplas dimensões.

Dessa forma, entendo a associação de ciência e arte respectivamente aos “códigos” da razão e do gosto e às “leis” da verdade e da beleza (tabela 3.1) como uma espécie de “projeção” de atividades multifacetadas em um certo “plano” de compreensão. Será possível experimentar permutações entre essas associações, ou seja, projeções em distintos planos de compreensão sem por isso violar uma ou outra atividade? Defendo que sim.

E quais as possíveis consequências? Quais os deslocamentos de significado, os novos sentidos ou as distintas ênfases na leitura da atividade científica que podem ser alcançadas por meio

com relação a expectativas que podem ser criadas, devido a um contexto cultural muito polarizado entre doutrinas relativistas e anti-relativistas. Neste contexto, as tentativas de aproximação entre arte e ciência acabam sendo frequentemente lidas como formas de banalização, de pasteurização do trabalho científico. Ferreira (2004) evidencia e problematiza esse tipo de leitura em um trabalho interessante, também a propósito do diálogo entre arte e ciência no contexto educacional, que apresenta a reflexão em uma estrutura de diálogos, em que diversos personagens revelam diferentes facetas do pensamento do autor. Entre estes personagens, há uma mulher, “de quase dois metros de altura”, “sedutora e autoritária”, que representa a imagem de uma ciência auto-suficiente, que despreza qualquer possibilidade de diálogo com domínios extra-científicos e que lhe surge repentinamente, como uma aparição:

— Deixe de tolices, sabe muito bem que nós, ou melhor, que eu não preciso disso que você vem escrevendo. Tenho escutado cada vez mais sobre a arte isso, a arte aquilo, arte e ciência... é sempre o mesmo discurso fácil, a mesma história, mas ninguém diz que são superficialidades e que, de fato, isso não acontece quando se dá duro no laboratório, nos artigos ou nos exames. Agora... você... você foi a gota d’água que entornou o balde.

Recobrei-me do susto e falei:

— Não tem nada de fácil aqui... .

— Basta! Estou perdendo meu tempo com você. Só te dou um aviso, cuidado quando tentar “aproximações”. Palavra descabida, pois pode estar correndo atrás de miragens” (FERREIRA, 2004, p. 39-40).

	Ética	Lógica	Estética
regras da ...	ação	ciência	arte
leis	bem	verdadeiro	belo
códigos	conduta	raciocínio	gosto

Tabela 3.1: Leis e códigos associados às três “ciências normativas” – a ética, a lógica e a estética – através das quais elas estabelecem respectivamente as regras da ação, da ciência e da arte. De acordo com Huisman (2008, p. 9).

da permutação entre esses planos de projeção? Quais os atributos, originalmente associados às artes, que seriam interessantes de pensar associados à ciência? Pretendo discutir a seguir três possibilidades: a de pensar o papel da beleza e de seu oposto (a estranheza? a monstruosidade?) na atividade científica; a de pensar a ciência como uma criação simbólica, que opera em distintos níveis: significativos, representativos e expressivos; e, por fim, a possibilidade de encontrar, na atividade científica, na expressão artística e no diálogo que elas estabelecem uma com a outra, o impulso de refinamento, de ruptura com relação a formas convencionais de percepção e reflexão, impulso de criação de possibilidades imprevistas, não antevistas, para a expressão e a compreensão do mundo.

3.1 Ciência e beleza

A figura 3.1 foi enviada por um estudante ao *blog* da disciplina *Oficina de Projetos de Ensino*, em uma contribuição intitulada “Os olhos da ciência”, que vinha acompanhada por um texto que refletia a respeito da distinção entre um olhar associado ao senso comum e um olhar científico. Embora o autor da contribuição atribua grande valor ao olhar científico, critica a associação que a figura estabelece entre o olhar científico e, exclusivamente, uma série de “formulações matemáticas”:

“No primeiro quadro, vemos a natureza pelos olhos do senso comum, e no segundo vemos a natureza pelos olhos da ciência. Acontece que a ciência aqui demonstrada é, basicamente, uma série de formulações matemáticas com objetivo de explicar e conservar determinados acontecimentos. (...) De fato, a ciência nunca conseguiu (e talvez nunca conseguirá) realmente explicar os fenômenos, mas abdicar-se totalmente da filosofia e entrar apenas no ramo da matemática também é um erro. (...) A questão é: o que levaremos para nossa sala de aula? O cientista que só sabe calcular, o cientista que só sabe filosofar ou o cientista que calcula em cima da filosofia? A reformulação do ensino de física se inicia com a reformulação do nosso conceito de física” (*extrato de contribuição de um estudante ao blog da disciplina*).

A publicação do estudante estimulou a reflexão de outros colegas, que estabeleceram distintas leituras a respeito das duas imagens. Reproduzo a seguir dois fragmentos:

Figura 3.1: Imagem incluída por estudante em postagem de título: “Os olhos da ciência”.

“vejo na primeira imagem um coelho comendo sua cenoura, que é a única coisa colorida na imagem, em uma floresta linda e aparentemente tranquila. No entanto, na imagem ao lado já não consigo focar os olhos naquela floresta tranquila e vejo um bombardeio de contas e fórmulas que regem nosso universo. Como um simples coelho e uma simples floresta podem significar tanto?”

“(…) analisando a imagem, você pode ver as questões não apenas dos cálculos, mas a biologia que envolve as plantas, as árvores, os animais, os pássaros, a alimentação, a questão geográfica e histórica do local” (*extratos de contribuições de estudantes ao blog da disciplina*).

Comparando a maneira como estes estudantes referem-se às duas figuras (conforme a tabela 3.2), podemos notar, na imagem que retrata o olhar científico, uma sensação de excesso: seja pelo excesso de significados (“como pode significar tanto?”), seja pelo “bombardeio de contas e fórmulas”. Há também presente a contradição entre a percepção do objetivo de “explicar e conservar” e a sentença sobre a impossibilidade de “*realmente* explicar”. Por fim, é interessante notar também, no “olhar da ciência”, a percepção sintética de uma multiplicidade de conhecimentos, integrados em uma “simples” e particular imagem. O contraste entre o olhar do senso comum, que vê uma floresta “linda”, “tranquila” e uma cenoura “colorida”, e o olhar científico e sua “série de formulações matemáticas” é retratado pela expressão de dificuldade, neste último caso, em “focar os olhos”.

Ao olhar para a figura 3.1, considero a imagem que retrata o olhar da ciência uma imagem bela. Não se trata evidentemente da imagem em si, em sua composição intencionalmente esquemática, mas do sentido que percebo em cada elemento presente nesta imagem e da maneira como eles configuram uma totalidade significativa. A beleza dessa imagem se assemelha, para mim, à beleza de um poema: os significados das distintas “palavras” e “orações” e a maneira concreta de sua expressão, a forma como elas são dispostas umas em relação às outras e em relação com a imagem compõem uma unidade que estimula o meu olhar, me faz percorrer a imagem e perceber o seu dinamismo. A surpresa do contraste entre as imagens me agrada.

“olhos do senso comum”	“olhos da ciência”
“coelho comendo sua cenoura, que é a única coisa colorida na imagem”	“série de formulações matemáticas”
“floresta linda e aparentemente tranquila”	“objetivo de explicar e conservar determinados acontecimentos”
	“nunca conseguiu (e talvez nunca conseguirá) realmente explicar os fenômenos”
	“já não consigo focar os olhos”
	“bombardeio de contas e fórmulas que regem nosso universo”
	“como podem significar tanto?”
	“a biologia que envolve as plantas, as árvores, os animais, os pássaros, a alimentação, a questão geográfica e histórica do local”

Tabela 3.2

E os estudantes? Considerariam estes estudantes, que escreveram a respeito das imagens, o olhar da ciência, conforme retratado na figura, um olhar *belo*? A análise de suas descrições das imagens (ao menos nas duas primeiras citações) parece evidenciar que não: a sensação predominante parece ser a de *estranheza*. Em particular as percepções de excesso, sobrecarga, bombardeio e de impossibilidade de se alcançar uma real compreensão evidenciam essa sensação. Mas a sensação de estranheza – não de indiferença – que elas demonstram não impossibilita necessariamente a constituição de um olhar que perceba, após “reenfocar” a visão, a beleza da composição. É possível que ocorra algo similar à descrição que a poetisa Gertrude Stein faz da percepção da arte moderna:

“Parece estranho e parece estranho e parece muito estranho; e então, repentinamente, não parece mais nem um pouco estranho e você não consegue entender o que fez aquilo parecer estranho no começo” (STEIN, apud MCALLISTER, 1996, p. 132).

A análise dessa imagem e dos comentários propostos a seu respeito leva-me a uma série de indagações. A maneira como percebemos ou deixamos de perceber a beleza das construções científicas e de suas representações terá alguma relevância para o aprendizado da ciência? Terá importância para o desenvolvimento da pesquisa científica? Influenciará de alguma forma os seus rumos? O que significa a percepção da beleza de uma construção científica? O que essa percepção revela a respeito da ciência e a respeito do sujeito que a percebe? Para discutir essas

questões, precisaremos ampliar o horizonte de nosso olhar, abordando algumas reflexões que cientistas e epistemólogos realizaram a respeito da relevância e sentido da beleza na ciência.

3.1.1 Verdade como beleza

Cientistas célebres frequentemente referem-se à importância da noção de beleza no trabalho científico. De maneira geral, suas definições de beleza associam-na a uma sensação de harmonia entre as partes de uma construção teórica:

“Beleza é a conformidade própria entre as partes e das partes com relação ao todo” (HEISENBERG, 2008 apud KOSSO, 2002, p. 41).

“quando você vê duas leis que estão conectadas de tal forma que o raciocínio sozinho levará de uma a outra, você aprecia a beleza da relação entre os enunciados” (FEYNMAN, apud KOSSO, 2002, p. 41).

Poincaré, como vimos na epígrafe deste capítulo, associa a sensação de beleza à adequação das coisas percebidas à nossa inteligência. Dessa forma, a beleza, ao revelar uma sensação de harmonia entre as partes de um determinado todo, revela também um forte vínculo entre a estruturação do mundo exterior, objetivo, e a do mundo interior, subjetivo. É nesse sentido que Kosso (2002) defende a importância de se utilizar critérios estéticos a fim de estabelecer a distinção entre simplesmente *saber* e realmente *compreender*. Dessa forma, para este autor, a rejeição por exemplo do excesso de hipóteses *ad-hoc* pode ser justificada por uma avaliação estética de seu efeito na estrutura de uma teoria. O fato de essas hipóteses constituírem um vínculo mais accidental com o conjunto da teoria acaba por romper com a sensação de harmonia e beleza propiciadas pela teoria.

Nesse sentido, o estudante que sente-se insatisfeito pelo fato de a ciência, para ele, não conseguir “realmente explicar os fenômenos” revela a insatisfação de *saber*, mas não *compreender*. E essa *verdadeira* compreensão é alcançada também por um desenvolvimento da percepção da dimensão estética da ciência, da harmonia de sua construção e da relação existente entre essa organização e a própria estruturação de nossa subjetividade. Perceber na construção científica, ao invés dessa harmonia, apenas um amontoado monstruoso de equações não diz respeito necessariamente ao caráter do próprio objeto de apreciação (a construção científica) ou do sujeito que a aprecia, mas à relação que se estabelece entre os dois. Eventualmente, a sensação de incompreensão, de desgosto com a formulação da teoria, se suficientemente intensificados, podem evoluir até finalmente transformarem-se em compreensão e satisfação: a desarmonia aparente torna-se repentinamente harmônica. Outras vezes, evidentemente, não: e o que parecia monstruoso pode continuar parecendo igualmente monstruoso.

Cientistas tais como Einstein, Fermi e Dirac parecem ter atribuído importância fundamental à avaliação estética de modelos e teorias. Root-Bernstein (2002, p. 69) cita exemplos biográficos de situações em que Einstein e Fermi chegam a recusar proposições científicas sem utilizar nenhum argumento racional, mas aludindo simplesmente ao desconforto intuitivo que sentiam frente a elas. Mesmo quando não podia negar a validade de uma proposição, Einstein, segundo esse autor, demandava sempre razões adicionais que pudessem convencê-lo de que ela fazia sentido, que lhe permitissem compreendê-la, para só então declarar-se “convencido”. O autor sintetiza o sentido das posturas desses cientistas ao afirmar que “apenas quando sentimos que sabemos e sabemos o que sentimos nós realmente compreendemos” (ROOT-BERNSTEIN, 2002, p. 70). Por reconhecer a dimensão intuitiva, emocional, sensível e intelectual dessa compreensão verdadeira, o autor atribui a essa forma de conhecimento o termo *sinosia*: uma combinação das palavras sinestesia (uma fusão de sentidos, de formas de percepção) e *gnosis* (do grego, conhecimento, em seu sentido mais amplo). Através deste termo, ele enfatiza particularmente a conexão entre o pensamento científico e a percepção sensorial do mundo, “anterior” ao uso de palavras e da linguagem matemática. Root-Bernstein fornece exemplos que mostram a relevância de formas táteis e visuais de percepção e imaginação. Em especial, a referência à importância da imaginação visual no pensamento científico já foi destacada também por outros autores, tais como Gerald Holton, e encontramos evidência dela, por exemplo, na citação a seguir de Einstein:

“As palavras ou a linguagem, escritas ou faladas, não parecem desempenhar nenhum papel no mecanismo de meu pensamento. As entidades físicas que parecem servir como elementos de pensamento são alguns signos ou imagens mais ou menos claras que podem ser ‘voluntariamente’ reproduzidas e combinadas” (EINSTEIN, apud HOLTON, 1996, p. 189).

Já o posicionamento de Dirac a respeito da importância da beleza da expressão matemática de uma teoria é invocado por McAllister (1990) para contrapor-se à dicotomização que diversas doutrinas epistemológicas, associadas por exemplo ao positivismo lógico ou ao pensamento de Karl Popper, estabelecem entre o *contexto da descoberta* e o *contexto da justificação*. Dentro do *contexto da descoberta*, quando o cientista cria uma determinada teoria, não haveria, segundo essas doutrinas, nenhuma regra ou norma que devesse necessariamente ser cumprida e motivações “irracionais”, “subjetivas” poderiam jogar um importante papel na proposição da teoria. Porém, no *contexto da justificação*, deveria predominar apenas o confronto entre as previsões da teoria e os resultados de medições experimentais, não cabendo outras formas mais subjetivas de avaliação. Em contraste com essa concepção, Dirac, por diversas vezes, declarou sua convicção de que, se a expressão matemática de uma teoria manifestasse o que ele chamou de uma “beleza essencial”, mesmo que houvesse uma contraposição entre suas previsões e resul-

tados experimentais, isso não seria motivo para descartá-la, indicando mais provavelmente um problema menor associado à modelagem do fenômeno experimental ou à sua medida. Dessa forma, mesmo no *contexto da justificação*, a avaliação estética de uma teoria pode ser algumas vezes até mesmo mais relevante que a sua base empírica:

“É a beleza essencial da teoria [da relatividade geral] que eu *sinto* ser a verdadeira razão para acreditar nela (...) Suponha que uma discrepância tenha aparecido, *bem confirmada e substancial*, entre a teoria e observações. Deveríamos considerar por isso a teoria errada? Eu diria que a resposta à última questão é um enfático não. (...) Qualquer pessoa que aprecie a *harmonia fundamental* que conecta a maneira como a natureza funciona e os princípios matemáticos deve sentir que uma teoria com *a beleza e a elegância* da teoria de Einstein *precisa* ser substancialmente correta. Se uma discrepância pode aparecer em alguma aplicação da teoria, ela deve ser causada por algum elemento secundário, associado a esta aplicação, que não foi adequadamente levado em conta e não por um defeito dos princípios gerais da teoria” (DIRAC, apud MCALLISTER, 1990, p. 95, destaques meus).

Estes exemplos parecem sugerir que, em alguns momentos, os cientistas se deixam guiar, em seus julgamentos, não apenas pelas “leis” da *verdade*, como também pelas “leis” da *beleza*. Utilizando as relações analógicas presentes na tabela 3.1, isso quereria dizer que eles se valeriam, para isso, não apenas dos “códigos” do *raciocínio*, como também daqueles associados ao *gosto*. Analisando a maneira como eles compreendem a beleza, porém, vemos que, longe de se opor ao raciocínio, o seu gosto estético é profundamente racional e chega mesmo a sobrepor-se à dimensão lógica do raciocínio, como uma segunda camada desse raciocínio, permitindo distinguir, entre diversos raciocínios igualmente válidos do ponto de vista estrito da lógica, aqueles que, devido à “beleza”, à “elegância” e à “harmonia” que revelam, parecem revelar uma verdade mais fundamental.

Não se trata, portanto, de opor um aspecto irracional a um racional, mas de identificar uma dimensão mais intuitiva da racionalidade, que não deriva da aplicação explícita de uma regra, mas advém do intenso e integral envolvimento do sujeito com o objeto de conhecimento. Uma dimensão da racionalidade que não é, também, tão rígida como os atributos verdadeiro e falso sugeririam, mas se mostra mais fluida e dinâmica, como sugere a percepção de beleza e harmonia. Enquanto uma sentença verdadeira pode ser pensada, em uma compreensão mais tradicional da palavra, como verdadeira mesmo na ausência de um sujeito que a verifique como verdadeira, um raciocínio dificilmente poderá ser imaginado como belo e harmônico, a não ser levando em consideração um sujeito que o perceba dessa forma.

3.1.2 A beleza das criações simbólicas da ciência

A percepção de beleza é o resultado, portanto, de um intenso envolvimento do sujeito com a “coisa bela”. Mas o que é essa “coisa bela”? No nosso caso, é alguma “obra” científica, seja ela uma teoria, uma demonstração, um argumento, uma hipótese, um experimento. É, portanto, alguma produção humana, que carrega uma intencionalidade, que se expressa através de alguma forma de linguagem.

Quando nos referimos à beleza na ciência, estamos tratando da beleza dessa construção simbólica, da beleza desse olhar sobre o mundo. Isso não significa que a percepção da beleza dessas construções simbólicas não implique em algum tipo de percepção do próprio mundo: afinal trata-se de um olhar *sobre o mundo*, que percebemos como belo. Um olhar científico belo sobre o mundo nos diz algo sobre o mundo, mas não se identifica estritamente com ele.

Procuró estabelecer aqui uma distinção entre a representação simbólica e o mundo – distinção que deriva, em alguma medida, da leitura da obra do filósofo alemão Ernst Cassirer, cuja “filosofia das formas simbólicas” discutiremos a seguir. Parece-me que essa distinção é fundamental para a possibilidade de refletir sobre a beleza na ciência de forma análoga à percepção de beleza nas artes. Assim, temos um ponto de partida em comum: a percepção de beleza refere-se às obras humanas, artísticas ou científicas, obras que dialogam de forma simbólica com o mundo, mas não *equivalem* ao mundo. Ela é, portanto, uma forma de contato, mediado pela obra, entre seres humanos e destes com o mundo.

Mas “onde” exatamente se encontra a beleza da ciência? Na obra científica? Naquele que vê, aprende, contempla essa obra? No mundo que aquela obra pretende representar? Se podemos dizer, de forma bastante esquemática, que a verdade de uma proposição científica “encontra-se” na *correspondência* entre previsões teóricas e resultados experimentais, de forma que é possível excluir da relação o sujeito que realiza a comparação entre uma coisa e outra, ao tratarmos da beleza, ao contrário, qualquer exclusão de um dos três termos envolvidos na relação parece deformar essa noção. Por isso, a noção de correspondência, que envolve apenas dois termos, é simples demais para pensar a beleza. Precisamos de relações mais complexas, que envolvam, no mínimo, esses três termos: homem(ns), ciência e mundo.

Os pressupostos defendidos acima não são, evidentemente, consensuais. Alguns cientistas e epistemólogos que refletem a respeito da beleza da ciência parecem frequentemente pensá-la ou (i) como uma característica intrínseca da própria realidade (com a qual a ciência se identificaria de forma *imediata*) ou (ii) como uma característica que é projetada nas teorias científicas pelos cientistas, devido ao seu pertencimento a uma determinada comunidade científica, a um certo contexto histórico-científico que define um certo “gosto científico”. Se no primeiro caso,

ciência e realidade são identificadas, excluindo o sujeito da relação, no segundo, são os valores estéticos do sujeito que são identificados a características de um enunciado científico, excluindo a “realidade” da relação. Vejamos exemplos de cada um dos posicionamentos a que me refiro.

Como exemplo da primeira posição, tomo o posicionamento do físico Anthony Zee, que dedica um livro de divulgação científica ao tema. Para ele, a beleza da ciência é uma beleza universal, “revelada” pela “Natureza”:

“O termo beleza é carregado de conotações. Na experiência diária, nossa percepção da beleza atrela-se à dimensão psicológica, cultural, social, e, frequentemente até mesmo biológica. Evidentemente, esse tipo de beleza não se liga ao coração da física. A beleza que a Natureza revelou aos físicos em Suas leis é a beleza do projeto, uma beleza que lembra, de certa forma, a beleza da arquitetura clássica, com sua ênfase na geometria e na simetria. O sistema estético utilizado pelos físicos no julgamento da natureza também recebe sua inspiração da finalidade austera da geometria” (ZEE, 2007, p. 9).

Vemos que Zee associa a beleza a uma intencionalidade, a um projeto. Porém, ao identificar ciência e natureza, ele remete esse projeto, essa intenção, esses valores não aos seres humanos e ao olhar sobre a natureza construído por eles, mas diretamente ao “gosto estético” de quem ele chama o “Projeto Supremo” (“Ultimate Designer”) da Natureza:

“Certamente, o Projeto Supremo [Ultimate Designer] usaria apenas belas equações no desenho do universo! Quando vemos duas equações alternativas que pretendem descrever a Natureza, nós sempre escolhemos aquela que aguça a nossa percepção estética. ‘Vamos nos preocupar com a beleza primeiro, e a verdade virá por si!’ Este é o grito de guerra da física fundamental” (ZEE, 2007, p. 3).

Associei esse tipo de concepção de beleza na ciência a um modelo de estética racionalista, devido à sua semelhança com a descrição que Ernst Cassirer realiza, em seu livro *Filosofia do Iluminismo* (CASSIRER, 1994), da estética racionalista dos séculos XVII e XVIII, de tradição Cartesiana. Para essa escola, as regras que definem como deve ser uma obra de arte verdadeiramente bela existem a priori, são universais e podem ser “descobertas” pelo esteta, devido ao caráter racional que exibem. Assim como o matemático e o físico descobrem as leis da natureza, o esteta também pode encontrar as leis que regem a arte. Ele não as cria, portanto, apenas as descobre. Se para Zee, a beleza das equações é garantia de sua verdade, de forma recíproca, para esta escola estética, são a verdade e a racionalidade de uma forma a garantia de sua beleza. Como afirma em verso o poeta Boileau:

“Só o belo é verdadeiro, só o verdadeiro é agradável.
Ele deve reinar em toda parte, e mesmo na fábula;
De toda ficção a hábil falsidade

Só tende a fazer brilhar aos olhos a verdade.
 Sabes porque meus versos são lidos nas províncias?
 São procurados pelo povo e recebidos pelos príncipes?
 Não é porque seus sons, agradáveis, numerosos,
 Sejam sempre igualmente favoráveis ao ouvido;
 Que em mais de um lugar o sentido não estorve a medida
 E uma palavra qualquer não afronte a censura;
 Mas é que neles a verdade, triunfando da mentira,
 Por toda parte salta aos olhos e vai conquistar o coração” (BOILEAU, apud CASSIRER, 1994, p. 381)

Por outro lado, o epistemólogo James McAllister (1996) parece seguir um caminho associado à segunda das possibilidades referida acima. Este autor faz referência à existência de um *cânone* de critérios que permitem o julgamento estético de uma teoria científica. O maior ou menor grau de beleza de uma teoria científica se associaria a uma maior ou menor correspondência entre a obra e o cânone. Ao invés de atribuir um valor universal e objetivo a estes critérios (como faz Zee), ele os associa aos valores de uma determinada comunidade científica em um determinado momento histórico e supõe que a beleza não esteja nos objetos científicos em si, mas seja “projetada” nela pelos observadores:

“Eu suponho que o valor a que se refere a apreciação estética de teorias científicas não reside nas teorias em si, mas que é, ao invés disso, projetado nas teorias pelos cientistas individuais, comunidades científicas e observadores da ciência” (MCALLISTER, 1996, p. 31).

Esse pressuposto é, de certa forma, análogo à maneira como Hume, no século XVIII, concebia a beleza:

“a beleza não é uma qualidade das coisas em si mesmas: ela existe meramente na mente que as contempla” (HUME, apud CASSIRER, 1994, p. 406).

Mas como compreender a origem e as transformações por que passam os critérios estéticos ao longo do tempo? Para McAllister, exibindo certa consonância com o pensamento de Thomas Kuhn, o predomínio de um paradigma científico induz a formação desse *cânone* de critérios estéticos que definem como deve ser uma boa (e bela) teoria. É o próprio sucesso empírico de desenvolvimentos científicos em acordo com certas regras que induz a comunidade científica a formar este *cânone*³. Uma vez formado o cânone, entretanto, mesmo a verificação da inadequação empírica de uma teoria em acordo com ele não resulta em um simples abandono dessa

³O acordo com Kuhn é apenas parcial, uma vez que McAllister pressupõe que é *apenas* o sucesso ou fracasso empírico de teorias que determinam o cânone associado ao paradigma. Dessa forma, ele afirma que as revoluções científicas são caracterizadas por uma ruptura de parâmetros estéticos, mas garantindo uma continuidade de resultados empíricos: é o fracasso empírico de teorias em acordo com um determinado cânone estabelecido o princípio motor das revoluções científicas. O autor procura garantir, dessa forma, o que ele chama de uma “imagem racionalista” da ciência.

teoria ou na imediata desvalorização estética de certas características suas, antes valorizadas: o valor estético associado às propriedades de uma teoria possui uma certa inércia. Dessa forma, a relação homem-ciência-mundo é segmentada em duas etapas: a formação do cânone estético é governada por formas racionais de comparação entre teoria e mundo (que não precisam levar em consideração o sujeito); já o julgamento estético de teorias é governado pela comparação que o sujeito faz entre a teoria e o cânone (sem precisar considerar o mundo). Por isso, para o autor, o julgamento estético de teorias possui um efeito “conservador” no desenvolvimento da ciência, uma vez que promove o julgamento de novas proposições de acordo com critérios que revelaram-se meritórios de acordo com a experiência passada.

Reconhecer e demonstrar, através de inúmeros exemplos, o papel da percepção estética na ciência e, além disso, a mutabilidade de seus parâmetros ao longo da história, são avanços importantes propiciados pelo trabalho de McAllister. Entretanto, a autonomia relativa dessa dimensão do trabalho científico acaba sendo prejudicada pela pretensão de definir a dinâmica de formação do cânone estético, de maneira quase algorítmica, exclusivamente pela medida do sucesso empírico de teorias. Sua compreensão da beleza de uma teoria através de uma relação de *correspondência* com um cânone parece-me falha, uma vez que, como já enfatizamos, qualquer relação de correspondência necessariamente excluirá um dos entes envolvidos nesse fenômeno que é a percepção estética da ciência. Ao segmentar em dois tempos um fenômeno que se dá em tempo único, o autor atribui um caráter estático e conservador a uma forma de percepção que é, em sua essência, dinâmica.

Uma definição menos precisa, nesse caso, seria, do meu ponto de vista, mais interessante para dar conta do caráter *intuitivo* e *criativo* da percepção estética, das múltiplas influências sócio-culturais que se fazem perceber na definição de um determinado *gosto*, da possibilidade de que gestos contraditórios possam ser reconhecidos, igualmente, como belos e da existência de uma certa ambiguidade existente na relação entre o feio e o belo, através da qual proposições percebidas inicialmente como feias, estranhas e até mesmo monstruosas podem, repentinamente, revelar-se extremamente belas (a relatividade da simultaneidade e a quantização da energia são, para mim, exemplos desse tipo de situação). Com relação a este último aspecto, podemos notar como a capacidade de nos surpreender ao revelar facetas antes desconhecidas da realidade, ordens não suspeitadas, é também um elemento que provoca e aguça a dimensão estética de nossa percepção ao permitir a expansão e a transformação consciente da forma como percebemos o mundo.

Uma obra bela, seja ela científica ou artística, produz impacto. Não permanecemos iguais

após o seu aparecimento. Assim como a língua não permanece a mesma após o advento de um grande poeta, a ciência, pensada como linguagem, não permanece a mesma após o advento de um grande cientista. Não apenas surgem novos “conteúdos” científicos, como também novas possibilidades de construção do próprio pensamento. A capacidade que as revoluções científicas têm, como afirma Thomas Kuhn, de fazer com que “vejamos”, em velhos fenômenos, novos entes (KUHN, 1998, p. 145,6), demonstra a capacidade de uma “obra” científica de transformar a relação dos homens com o mundo, construindo, poeticamente, novas formas simbólicas através das quais é possível percebê-lo e expressá-lo. Como afirma Gaston Bachelard:

“Por consequência, parece-nos que no intervalo que separa o desvanecimento dum objeto científico e a constituição duma nova realidade, há lugar para um pensamento não-realista, para um pensamento que se apoia em seu movimento. Instante efêmero, dir-se-á, que não pode contar quando se compara com os períodos de ciência adquirida, assentada, explicada, ensinada. É todavia aí, nesse breve instante de descoberta que se deve apreender a inflexão decisiva no pensamento científico. Restituindo esses instantes no ensino, constitui-se o espírito científico no seu dinamismo e na sua dialética. Então produzem-se as bruscas contradições experimentais, as dúvidas sobre a evidência dos axiomas, estas sínteses a priori que, como a síntese genial de Louis de Broglie, vêm duplicar o real, essas súbitas inversões de pensamento cujo princípio Einsteiniano de equivalência é um dos exemplos mais caros.” (BACHELARD, 1974c, p. 314-5)

E também como afirma Mário Schenberg:

“O grande matemático não é um tipo de calculadora, de computador. É antes uma espécie de poeta. Ele cria teorias matemáticas como se fosse uma criação poética” (SCHENBERG, 2001, p. 132).

Se a beleza que percebemos na ciência se devesse unicamente à adequação com relação a um certo cânone, então seríamos incapazes de perceber a beleza de construções científicas “ultrapassadas” tais como o sistema planetário Ptolomaico, o sistema Copernicano, a harmonia das esferas celestes de Kepler, a dinâmica Newtoniana, a sua lei da gravitação universal, as equações de Maxwell, etc, etc. Evidentemente, ao contemplar, por exemplo, o sistema Ptolomaico, nossa percepção deve ser muito diferente daquela que devem ter tido aqueles que lhe foram contemporâneos. Entretanto, isso não impede a admiração com o vigor de pensamento envolvido na sofisticada construção matemática capaz de, apenas com movimentos circulares, descrever as observações dos movimentos astronômicos. A relação que a obra estabelece com o mundo é plenamente capaz de mobilizar nossa sensibilidade, apesar de não compartilharmos ou sequer compreendermos plenamente a visão de mundo que a criou. Mesmo assim, nos damos conta de sua “verdade interior”, da força de sua consistência interna. No contexto da arte, a artista plástica Fayga Ostrower dá a esse vigor que percebemos nas verdadeiras criações artísticas o nome de “beleza essencial”:

“A beleza essencial. Nunca se trata do meramente bonito ou agradável (sendo o conceito do ‘bonito ou feio’ um dado do gosto subjetivo da pessoa, ou então, uma convenção social e, portanto, cambiável ao longo dos tempos). Trata-se da beleza como verdade interior da forma, como uma ordenação, onde todos os componentes e todos os relacionamentos formais entre eles se apresentam necessários e plenamente significativos. Nela também se integram as tensões – nunca anuladas e sim contrabalançadas e compensadas – resguardando a complexidade e o vigor da forma. Assim, nesta sua intensidade e autenticidade, as formas se tornam belas, de uma beleza imanente e vibrante, comovendo-nos com a verdade que elas incorporam” (OSTROWER, 1998, p. 286).

Quando reflito a respeito do que é belo na ciência, procuro por aquelas construções que me impressionam vivamente. E o que me impressiona não é exatamente a construção científica em si, mas o *movimento* que ela representa e provoca, as conexões inesperadas que ela estabelece, a nova realidade que ela cria. Embora inesperadas, essas *conexões* devem ser *adequadas*, termo que remete à sensação de *compreensão*, a que fizemos referência ao refletir a respeito da harmonia que deve existir entre a construção científica e a estruturação de nossa própria inteligência. No jogo entre adequação e surpresa, a criação científica revela uma beleza dinâmica, não redutível a um cânone, mas plena de intuição.

Ao associarmos a sensação de beleza à de compreensão, admitimos implicitamente o caráter *significativo* da beleza e o caráter *sensível* da compreensão. Ao valorarmos a capacidade que uma construção científica tem de estabelecer novas e inesperadas *conexões* e ao relacionarmos essas conexões à criação de novas *realidades*, afirmamos tacitamente o caráter *simbólico* dessa criação, na medida em que as conexões inesperadas *apontam* para uma realidade que torna-se nova devido à renovação de nosso olhar. É o caráter ao mesmo tempo sensível, material e significativo da construção simbólica que nos permite, acredito, abordar o papel da percepção estética na ciência de uma forma que ao mesmo tempo não seja redutora ao pensar a noção de beleza e tampouco violenta a racionalidade do trabalho científico. A construção conceitual, simbólica, ao servir como um método de prospecção do real, na medida em que desvela novas facetas dessa realidade, nos revela a sua beleza.

Alguns trabalhos na área de ensino de física que se interessaram pela dimensão estética da construção científica procuraram fundamentar sua análise na apreensão da ciência como construção simbólica. Ivã Gurgel (2010), por exemplo, ao defender o projeto de uma “poética da ciência”, pensa a imaginação, na ciência e nas artes, como uma criação simbólica. Dessa forma, valendo-se de algumas proposições do filósofo e historiador da ciência Michel Paty, ele afirma ao mesmo tempo o caráter subjetivo, intuitivo e racional da imaginação científica e compreende assim a racionalidade em um sentido mais amplo do que aquele associado unicamente à afirmação de seu caráter lógico:

“A imaginação como criação simbólica é geralmente vinculada à imaginação nas artes. (...) No caso das ciências, estes elementos simbólicos criam representações que são fundamentais para a descrição do mundo e servem como apoio ao pensamento. É a partir deste campo simbólico que damos sentido à realidade e este é a base para a construção de ideias conceituais mais elaboradas” (GURGEL, 2010, p. 89).

“Nossa criação é, como buscamos mostrar, impregnada de elementos subjetivos. No entanto, tudo isso não significa dizer que o conhecimento não seja válido frente à mesma [a realidade]. Em uma analogia, podemos afirmar que o conhecimento é um mapa simbólico que nos permite “caminhar” pela realidade exterior, que permanece obscura para nós. Contudo, se nosso mapa nos leva ao lugar previamente esperado, isto é, às conclusões que, por exemplo, um experimento indica, isso mostra-nos que em alguma medida o mundo simbólico é uma forma legítima de lidarmos com a mesma” (GURGEL, 2010, p. 96).

Já Ivan Lúcio da Silva (2010), que lida especificamente com o “ideal do belo” no ensino-aprendizagem de física, defende o caráter cognitivo da percepção estética, esteja ela associada às ciências ou às artes, e fundamenta essa defesa nas concepções do filósofo norte-americano Nelson Goodman, que não reconhece nas artes, na ciência e na percepção cotidiana atividades radicalmente dicotômicas, mas apenas distintas formas de simbolização que esclarecem distintas partes da realidade, sem que seja possível unificá-las em uma visão única de realidade. Nesse sentido, mais do que o julgamento da verdade ou falsidade de uma proposição, o que se torna relevante é a percepção de sua *correção*, ou de sua *adequação*, levando-se em consideração o sistema simbólico no qual a proposição em questão se insere. Nesse contexto, a valoração estética torna-se relevante em todas essas atividades. O valor estético mais fundamental, para Ivan Lúcio,

“advém da intensa auto-realização alcançada quando, em uma atitude de atenção investigativa dirigida a um objeto apropriado, nota-se a presença de qualidades aptas a despertar e prolongar um modo sinóptico de atividade mental que até então se achava latente no indivíduo. Deste valor básico se originam todos os demais valores estéticos específicos que podem vir a ser encontrados” (SILVA, 2010, p. 85).

Inserida no contexto de um sistema simbólico, a percepção de beleza ou de *adequação* não se refere a uma qualidade estática, mas ao dinamismo que ela provoca no próprio sistema. Silva distingue três formas de *adequação* que podem ser apreciadas ou experimentadas com relação a uma proposição científica (SILVA, 2010, p. 89):

- “Adequação de superfície” – “a capacidade do símbolo chamar atenção para si mesmo, sua ênfase sobre a excelência de suas propriedades, de seus modos específicos de organização e de seu funcionamento simbólico”. Podemos associar esse tipo de adequação ao que chamaremos de dimensão *expressiva* do simbolismo.

- “Adequação de transparência” – associada à capacidade da proposição de abrir uma janela para o mundo, “a revelação que ela promove de uma cascata de similaridades e distinções delicadas e anteriormente ignoradas entre itens do mundo”. Por sua vez, associamos essa adequação à dimensão *representativa* do simbolismo.
- “Adequação da interação do símbolo com outros símbolos antecedentes” – revela-se aqui a tensão entre estabilização e mudança, entre a relação harmônica que a proposição estabelece com o sistema simbólico constituído e as possibilidades de ruptura e inovação que ela propicia. “Sendo assim, a adequação pode ser percebida *no modo pelo qual* a tensão é resolvida em um novo e mais profundo patamar de conhecimento: na percepção de uma alternância de papéis em que, ora a formação do novo é influenciada pelo que já estava estruturado previamente – ou seja, pelo habitual – ora o novo opera uma reconfiguração do antigo”. A essa última forma de adequação apresentada por Ivan Lúcio, nós associamos a dimensão *significativa* do simbolismo. Desenvolveremos, na próxima sessão, essas três distintas fases da expressão simbólica, fundamentando-nos para tanto no pensamento de Ernst Cassirer.

Ao referir-se a construções simbólicas, beleza e criatividade tornam-se diretamente correlacionadas. E, como já tivemos oportunidade de enfatizar ao discutir a criatividade docente (seção 2.1), a criação não é concebida aqui como um gesto gratuito ou mágico, mas como o resultado do exercício da sensibilidade com relação à materialidade com a qual se cria (neste caso, a ciência enquanto sistema simbólico) e com relação ao mundo. Compartilho, portanto, da abordagem dos dois autores supra-citados e acredito que seja fundamental pensar a ciência como criação simbólica para dar conta de sua dimensão estética. O aprofundamento dessa reflexão demanda uma compreensão mais precisa e detalhada sobre o que entendemos por criação simbólica e sobre seus sentidos específicos no contexto científico. Para isso, buscaremos fundamentação no filósofo alemão Ernst Cassirer, considerado um pioneiro da filosofia do simbolismo e também uma referência ímpar no século XX pelo grande interesse e erudição que demonstra tanto ao discutir as ciências naturais quanto as disciplinas humanistas. Cassirer reconhecerá a simbolização como o elemento que dá unidade a todas as formas humanas de expressão, percepção e conhecimento, afirmando, por um lado, a distinção e autonomia de cada uma dessas formas, mas buscando, por outro, refletir sobre a unidade que caracteriza uma cultura.

3.2 Ciência como criação simbólica

“O conceito é um livre traço de linhas que é necessário tentar uma e outra vez a fim de fazer ressaltar com clareza a organização interna do reino da intuição empírica e também a dos objetos lógico-ideais” (CASSIRER, 1976, p. 359).

A proposição da atividade científica como um gesto de criação simbólica contrapõe-se a ou, ao menos, provoca uma relativização da imagem de “descoberta científica”. Uma descoberta supõe a revelação de algo que já existia, mas apenas estava oculto. Já uma criação pressupõe a fabricação daquilo que não existia antes, que apenas adquire forma no momento em que é criado. Evidentemente, os dois atributos podem estabelecer uma relação complementar entre si, desde que esclareçamos a distinção entre *o que é descoberto* e *o que é criado*.

A imagem de descoberta remete a algum elemento ou regra “do mundo”, ou “da realidade”, palavras que, para a física ou qualquer outra ciência natural, referem-se ao que é anterior a e independente da vontade humana. Já a imagem de criação remete aos mecanismos de expressão constituídos historicamente pelas culturas humanas e dos quais fazemos uso para nos relacionarmos uns com os outros, com o mundo e até conosco mesmo. Quando afirmamos que a ciência realiza uma criação simbólica, portanto, ressaltamos que não há acesso direto ao mundo, mas apenas uma relação mediada. O reconhecimento do caráter universalmente mediado por símbolos de nossa relação com o mundo permite a Cassirer enxergar na atividade simbólica o elemento capaz de conferir unidade às diversas produções humanas. O mito e a religião, a linguagem, a arte, a história e a ciência são os fios que tecem a urdidura complexa da experiência humana, o seu universo simbólico:

“O homem não pode mais lidar com a realidade de modo imediato; não pode vê-la, por assim dizer, cara a cara. A realidade física parece retroceder na mesma proporção em que avança a sua atividade simbólica. Em lugar de tratar com as coisas em si, em certo sentido, ele conversa constantemente consigo mesmo” (CASSIRER, 1953a, p. 46).

Nessa unidade que a ciência compõe com as demais atividades simbólicas, cabe, portanto, refletir sobre os elementos comuns a todas elas, que definem genericamente o que seja uma forma simbólica, assim como sobre os elementos que lhe conferem sua especificidade, reconhecendo assim a articulação que o conceito de símbolo adquire em cada contexto.

3.2.1 O símbolo e a função de objetivação da experiência

Em seu caráter mais geral, precisamos a noção de símbolo através da contraposição com a noção de signo. Enquanto o signo já pressupõe a existência de objetos particulares e bem definidos para os quais aponta diretamente, o símbolo visa criar para então reconhecer a distinção,

a particularidade a que se refere. Sua realidade, nesse sentido, é funcional. Através do signo, se estabelece, para um determinado sujeito, uma relação direta entre duas *presenças*: a do signo e a do objeto, pessoa ou fenômeno que ele anuncia. É assim por exemplo que a fumaça é um signo de fogo ou que um apito é um signo de partida de um trem⁴. Nesse sentido, a “compreensão” de um signo pode ser “ensinada” não só ao homem como também a diversos animais, através dos conhecidos mecanismos de condicionamento. Já os símbolos não anunciam presenças imediatas, mas, ao contrário, permitem construir, através de sofisticadas relações que estabelecem uns com os outros, referência a experiências e a aspectos particulares de uma experiência que não precisam estar presentes para serem evocados por esta construção.

Esse caráter funcional do simbolismo é bastante evidente no trabalho pedagógico: o professor que quer, por exemplo, ensinar que corpos em queda livre caem a partir do repouso e incrementam progressiva e uniformemente sua velocidade, solta um corpo do alto e “vê” seu movimento uniformemente variado; já o aluno vê apenas a mesma queda rápida e imediata à qual se acostumara. É apenas na medida em que adquire a linguagem simbólica que permite descrever o movimento, reproduzi-lo mentalmente como que em câmera lenta, *imaginando* a variação da *posição* do corpo a *intervalos de tempo* iguais que o aluno conseguirá, também, “ver” a variação contínua de sua velocidade. Todo um sistema simbólico de conceitos é construído para permitir a transformação não apenas da compreensão como também da própria experiência de ver do sujeito.

Em sua função de objetivação da experiência, o símbolo é marcado, em seu desdobramento temporal, pela polaridade entre estabilização e mudança e, em sua abrangência, pela correlação entre universalidade e variabilidade. Com relação ao desdobramento temporal, Cassirer enfatiza ao mesmo tempo a determinação social da identidade humana e a capacidade ativa do homem de criação e transformação das formas de vida social. Como “animal simbólico”, o ser humano é capaz de estabilizar aspectos de sua experiência do mundo, na medida em que os “materializa” em formas simbólicas, e, ao mesmo tempo, é capaz de transformar essa experiência, na medida em que suas construções simbólicas modificam os próprios sistemas simbólicos constituídos historicamente. A função simbólica ao mesmo tempo permite a estabilização e reprodução das experiências humanas e a transformação dessas experiências:

“O homem descobriu um novo caminho para estabilizar e propagar seus trabalhos. Não pode viver sua vida sem expressá-la. Os vários modos de expressão constituem uma nova esfera, possuem uma vida própria, uma espécie de eternidade através da qual sobrevivem à existência individual e efêmera do homem. Em todas as atividades humanas encontramos uma polaridade fundamental que pode ser descrita de diversas maneiras. Podemos falar de uma

⁴Estes dois exemplos foram extraídos do livro de Suzanne Langer (1971, p. 67-8), que dialoga bastante com a obra de Cassirer.

tensão entre estabilização e evolução, entre uma tendência que conduz a formas fixas e estáveis de vida e outra que tende a romper este esquema rígido. O homem oscila entre estas duas tendências, uma das quais trata de preservar as velhas formas enquanto a outra tenta produzir novas. Se dá uma incessante luta entre tradição e inovação, entre forças reprodutoras e criadoras” (CASSIRER, 1953a, p. 308).

Dessa forma, o universo simbólico é um universo ao mesmo tempo estável e instável: estável porque permite a constituição de uma relação com o universo de nossas percepções, de nossas experiências, estabilizando-as; instável porque está em permanente reconstrução, sujeito a permanentes tensões e transformações.

Com relação à abrangência da construção simbólica, o seu caráter universal associa-se à capacidade que temos, ou pretendemos ter, de representar simbolicamente qualquer faceta de nossa experiência. Todas as coisas possuem um nome ou, se não tiverem, não nos avexamos com isso: frente a um “peixe-boi”, uma “onda-partícula”, um “quark charmoso” ou à “entropia”, somos capazes de lhes construir, com o vocabulário de que dispomos, o nome adequado. Dessa forma, a universalidade é alcançada justamente através da versatilidade, da maleabilidade que os símbolos possuem. A variabilidade é a contrapartida necessária à universalidade. Por isso, não apenas todas as coisas possuem um nome, mas também cada coisa pode ter muitos nomes, cada nome pode representar muitas coisas e é possível expressar a mesma ideia de muitas formas distintas. Como a realidade do símbolo não é substancial, mas funcional, ele não se identifica com um objeto, mas com a função de objetivação da experiência:

“Uma das maiores prerrogativas do simbolismo humano é a aplicação universal devida ao fato de que cada coisa possui um nome. Mas não é a única. Existe outra característica dos símbolos que acompanha e completa esta, formando seu necessário correlato. Um símbolo não apenas é universal como extremamente variável. Posso expressar o mesmo sentido em idiomas diversos e, ainda dentro dos limites de um só idioma, uma mesma ideia ou pensamento pode ser expressada com termos diferentes. (...) Um símbolo humano genuíno não se caracteriza por sua uniformidade, mas por sua variabilidade. Não é rígido, mas móvel” (CASSIRER, 1953a, p. 61-2).

Universalidade, variabilidade, estabilização e evolução em exemplos científicos

Para tornar mais aplicada a reflexão sobre essas características mais gerais da atividade simbólica, vamos procurar por alguns exemplos científicos em que podemos reconhecê-las de forma particularmente nítida. Veremos, nestes exemplos, como a dinâmica de criação simbólica na ciência, ao exercitar tanto a variabilidade de construções simbólicas para descrever uma

“mesma” situação quanto a pretensão de universalidade de sua aplicação, funciona por um lado assegurando a estabilidade do mundo de nossas experiências, e por outro preparando a transformação dessa própria experiência e desse próprio mundo. Começemos citando alguns exemplos científicos do tema da variabilidade das construções simbólicas⁵.

Distintos Formalismos. Os distintos formalismos, por exemplo, com que somos capazes de descrever os fenômenos compreendidos pela mecânica clássica. Podemos utilizar o formalismo Lagrangeano ou Newtoniano para descrever um mesmo fenômeno, o que faz com que essas construções simbólicas sejam, em certo sentido equivalentes, mas, em outro, não o sejam. Em um caso o movimento de um projétil em um campo de forças terá sido este e não aquele porque as forças *causaram*, em cada ponto, uma aceleração tal que, dada a sua velocidade inicial, produziu novas velocidades que geraram, como *consequência*, a trajetória correta. Já na linguagem Lagrangeana, em cada ponto do percurso, o corpo recebe um acréscimo no valor de sua ação; sua trajetória é aquela correspondente ao menor valor total de sua ação e ele se movimenta nessa trajetória não por um princípio causal atuante em cada ponto, mas de forma a (e a fim de) produzir globalmente o menor valor de uma grandeza física. A trajetória determinada é a mesma, o fenômeno descrito é o mesmo, mas a imagem que construímos a respeito é muito diferente.

Se essa flexibilidade de descrição pode ser interpretada, no contexto da mecânica clássica, como um simples e inócuo exercício poético de erudição ou, por outro lado, como uma questão de conveniência operacional na resolução de problemas, a situação se modificará radicalmente no contexto histórico associado à construção da mecânica quântica, quando a utilização da linguagem Lagrangeana e Hamiltoniana será fundamental para o sucesso em sua formulação. Neste contexto, os distintos formalismos não serão mais equivalentes, uma vez que não será mais possível referir-se à trajetória que uma partícula de fato realiza (o que enfraquece a descrição causal em termos de forças), mas apenas às distintas probabilidades associadas a cada trajetória.

Distintos referenciais. Se nos atemos ao tema científico em que nos concentraremos ao longo do presente trabalho, a relatividade, o tema da variabilidade das construções simbólicas também dá o que pensar. O próprio princípio fundamental da relatividade, seja ela Galileana ou Einsteiniana, de que seja possível descrever uma mesma situação do ponto de vista de diversos referenciais distintos e equivalentes, dá ao formalismo uma possibilidade infinita de variação:

⁵Os exemplos aqui citados, dada a sua complexidade e amplitude, não poderão evidentemente ser adequadamente detalhados e aprofundados. Faço referência a cada um deles com a intenção de demonstrar o valor que pode ter a reflexão a respeito da ciência utilizando a noção de formas simbólicas. No capítulo 4, teremos oportunidade de realizar uma investigação mais aprofundada que se beneficie de alguns dos elementos aqui discutidos.

um mesmo movimento pode ser descrito ora como um corpo em estado de repouso que acelera até uma certa velocidade $\vec{v}$, ora como um corpo com uma velocidade $-\vec{v}$ que freia até o repouso ou ainda como um corpo com velocidade $-\vec{v}/2$ que freia até o repouso e a seguir acelera até a velocidade $\vec{v}/2$ ⁶. Distintas descrições que simultaneamente expressam, na medida em que se referem a um mesmo fenômeno “real”, e não expressam, na medida que remetem a distintas imagens do fenômeno, a mesma coisa.

Essa operação de mudança de referencial, embora seja aparentemente inócua, pôde alavancar grandes rupturas na estrutura do pensamento científico. Talvez uns dos exemplos mais relevantes a esse respeito sejam os dois artigos de Einstein de 1905 associados à criação da teoria da relatividade: “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” (EINSTEIN, 2005a) e “A inércia de um corpo depende do seu conteúdo de energia?” (EINSTEIN, 2005b). Em particular, no segundo desses artigos, Einstein “demonstra” a relação $E = mc^2$ justamente através da comparação entre o ponto de vista de dois referenciais distintos a respeito de um mesmo fenômeno (uma síntese da demonstração está reproduzida no quadro 1). Ele explora a descrição de uma partícula que irradia uma certa energia L a partir de seu referencial de repouso, comparando-a com a descrição do mesmo fenômeno a partir de um segundo referencial, com relação ao qual a partícula possui velocidade v e irradia uma energia L' . Já a maneira como Einstein calcula a energia cinética da partícula, através da comparação entre sua energia total em cada um dos referenciais, é extremamente interessante (e bela!) por explicitar o caráter relativo de uma grandeza que a primeira intuição crê absoluta: a energia. Por esse caminho, ele é capaz de concluir com argumentos simples, e em apenas quatro páginas, que a diferença $L' - L$ entre a energia irradiada segundo cada um dos referenciais representa a diferença entre a energia cinética do corpo antes e depois de irradiar e, como o corpo não muda de velocidade ao irradiar, a diferença só pode se dever a uma mudança na massa da partícula. O cálculo dessa diferença mostra que a partícula deve sofrer, ao irradiar uma energia L , uma diminuição de massa $\delta m = L/c^2$. E como a energia é uma grandeza que permite conectar, por meio de sua conversão em distintas formas, *todos* os fenômenos físicos, Einstein conclui:

“Aqui, obviamente, não é essencial que a energia retirada do corpo se transforme em energia radiante; logo, somos levados à conclusão mais geral: a massa de um corpo é uma medida do seu conteúdo de energia” (EINSTEIN, 2005b, p. 186).

Vemos neste exemplo o potencial transformador que têm tanto a variabilidade de construções simbólicas (associada ao uso de distintos referenciais), como também a exploração de seu caráter universal (associada à aplicação universal da noção de energia). Outro aspecto intrigante

⁶Utilizamos, por facilidade, neste último caso, a regra Galileana para a composição de velocidades.

Quadro 1 Síntese da dedução da expressão $E = mc^2$ realizada por Einstein em seu artigo de 1905 (EINSTEIN, 2005b).

- Uma partícula, segundo o referencial J , está em repouso e irradia uma energia $L/2$ na direção definida pela ângulo θ e uma energia $L/2$ no sentido oposto.
- Com relação ao referencial M , a partícula se move com velocidade v e irradia os valores de energia explicitados na figura acima (onde $\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$).
- A diferença entre a energia da partícula no referencial M e no referencial J corresponde à sua energia cinética (de acordo com o referencial M):

$$\begin{cases} E_1^M - E_1^J = K_1 \\ E_2^M - E_2^J = K_2 \end{cases}$$

- A diferença entre sua energia nas situações 1 e 2 corresponde à energia total irradiada:

$$\left. \begin{array}{l} E_2^J - E_1^J = L \\ E_2^M - E_1^M = \gamma L \end{array} \right\} \Rightarrow \overbrace{(E_2^M - E_2^J)}^{=K_2} - \overbrace{(E_1^M - E_1^J)}^{=K_1} = L(\gamma - 1)$$

- Como a velocidade da partícula não varia entre as situações 1 e 2, a variação de energia cinética só pode se dever a uma variação de sua massa. Supondo velocidades pequenas em comparação com a velocidade da luz, podemos calcular sua energia cinética através da expressão clássica $K = mv^2/2$, chegando ao seguinte resultado:

$$\begin{aligned} \overbrace{K_2 - K_1}^{\approx \delta m \cdot v^2 / 2} &= L \overbrace{(\gamma - 1)}^{\approx v^2 / 2c^2} \\ \therefore \delta m &= \frac{L}{c^2} \end{aligned}$$

(e belo!) da demonstração de Einstein é o fato de ele considerar uma situação em que a velocidade da partícula é muito menor que a da luz para, a partir daí, utilizar a expressão clássica para a energia cinética de uma partícula como uma aproximação válida. Por que ele não utilizou a expressão relativística para a energia cinética, deduzida por ele no artigo anterior do mesmo ano (EINSTEIN, 2005a, p. 179), e que permitiria chegar a um resultado cujo significado seria muito mais transparente? Talvez para, ao ater-se à concepção clássica de massa e energia, explicitar justamente a ambiguidade que lhe é inerente e que limita sua aplicabilidade. Seja qual for a motivação envolvida nessa opção do autor, é digna de destaque e admiração a dedução de um resultado através de expressões cuja validade seria questionada pelo próprio resultado almejado. Esse tipo de opção demonstra o caráter funcional do simbolismo que procuramos explicitar, a sua capacidade de introduzir tensões que permitem transformar a experiência de mundo do sujeito.

Distintos espaços simbólicos. Consideremos, como um segundo exemplo associado à teoria da relatividade, a descrição cinemática de um movimento qualquer, em que uma partícula percorre uma distância $\vec{d}$, durante um determinado tempo t , e possui certa energia E e certo momento $\vec{p}$. Façamos agora referência a essa mesma situação, pensando no espaço de Minkowski, como um intervalo espaço-temporal $(\vec{d}; t)$ da linha de universo de uma partícula de energia-momento $(\vec{p}; E)$. Novamente, estamos e não estamos dizendo o mesmo com essas descrições simbólicas. No caso da primeira descrição, em que espaço e tempo são concebidos separadamente, a ênfase recairá sobre o caráter variável, de acordo com o referencial, de cada uma das grandezas citadas. Merecerão destaque temas associados à contração de comprimentos, à dilatação de intervalos temporais, etc. Aquilo que nomeamos, que objetivamos em um símbolo, não é independente do referencial através do qual observamos.

No caso da segunda descrição, ao contrário, ressaltamos aquilo que permanecerá inalterado em qualquer referencial, de forma que aquilo que merece ser objetivado em um nome é uma construção muito mais abstrata, porém independente do referencial. Merecerá destaque, nesse caso, a invariância do intervalo espaço-temporal associado à linha de universo da partícula e a invariância de sua energia-momento. Além do mais, enquanto na primeira descrição o tempo “passa” e o movimento “acontece”, na segunda, essa passagem soa como uma espécie de ilusão e contemplamos o movimento de um ponto material como se fosse uma linha estática.

Novamente, o que pôde parecer inicialmente, no contexto da teoria da relatividade especial, uma simples mudança de linguagem sem maiores repercussões, uma mera demonstração de erudição, serviu depois como um importante motor da transformação operada com a criação da teoria da relatividade geral. Neste último contexto, a associação da gravitação à curvatura do

espaço-tempo só pôde ser formulada utilizando o espaço simbólico criado por Minkowski.

Diferentes significações de um vocábulo. Se, nos exemplos anteriores, tratamos de diferentes formas de referir-se a uma mesma situação e das consequências dessas variações, pensamos aqui, ao contrário, nos diferentes significados que um mesmo símbolo pode adquirir. O termo massa, nesse sentido, é exemplar, uma vez que a reflexão a respeito de seus distintos sentidos atravessa de certa forma a história da física desde Newton até a física contemporânea. Restringindo-nos à teoria da relatividade restrita, já é possível demonstrar a ambiguidade que marca este conceito. São tantos os sentidos que foram atribuídos, no contexto dessa teoria, ao termo massa, que precisamos especificar, quando dizemos massa em uma situação em que não está claro o que queremos dizer, se estamos pensando nela como massa de repouso, como massa relativística, como quociente entre força e aceleração, etc. Se a pensamos como quociente entre força e aceleração, então passa a existir uma massa longitudinal e uma massa ortogonal à velocidade do corpo (e dependentes da magnitude desta grandeza): $m_{\parallel} \equiv F_{\parallel}/a_{\parallel}$; $m_{\perp} \equiv F_{\perp}/a_{\perp}$. Se a pensamos como quociente entre o momento e a velocidade, temos então uma grandeza única, porém dependente também da velocidade do corpo. Por fim, se demandamos que a massa seja uma característica de um determinado corpo, independente de sua velocidade, a definimos como sua massa de repouso. Uma simples questão de vocabulário? Sim, mas é inevitável que a modificação de vocabulário acarrete em diferentes compreensões, em diferentes imagens associadas a uma mesma situação que se busca descrever. Dessa forma, podemos perguntar: se um corpo desacelera lentamente até o repouso, sem irradiar, ele perde ou não massa? Se nos referimos à massa relativística, sim, mas se nos referimos à massa de repouso, não⁷. Por outro lado, se um corpo irradia, ele perde massa, quer nos refiramos à massa de repouso ou à massa relativística.

Recobrimento completo da experiência. Vamos discutir agora a questão da aplicabilidade universal do simbolismo. Já na linguagem comum notamos que não é permitida a existência de coisas ou fenômenos que não possuam nome. A primeira reação do homem simbólico frente a algo que nunca viu é utilizar seu vocabulário antigo para nominar o novo objeto. É assim que os primeiros colonos na Austrália denominaram “pato-toupeira” ao animal que ficou conhecido depois como ornitorrinco e os físicos denominaram “onda-partícula” aos quanta encontrados na exploração do mundo microscópico⁸. Notamos porém como, por um lado, na atividade científica, essa ânsia por completude, pela capacidade de objetivação em símbolos, de compreensão

⁷Nesse sentido, é questionável pretender demonstrar a equivalência entre massa e energia, $E = mc^2$, considerando apenas uma situação em que há mudança de velocidade, mas sem emissão de radiação. Discuto um pouco mais essa questão na seção 4.9 na página 277.

⁸Esses dois exemplos foram extraídos de Lévy-Leblond (2004, p. 38), que utiliza essa analogia para questionar o sentido do paradoxo científico associado à chamada *dualidade onda-partícula*.

completa de todos os domínios de nossa experiência do mundo, torna-se um projeto consciente. Bachelard comenta a respeito dessa característica do “novo espírito científico”:

“Mas esses exemplos diferentes de organização devem sugerir uma organização bem geral do pensamento ávido de totalidade. O caráter de ‘completude’ deve passar duma questão de fato a uma questão de direito. E é aqui que a consciência da totalidade é obtida por processos inteiramente outros que os meios mnemotécnicos de enumeração completa. Para a ciência contemporânea, não é a memória que se exerce na enumeração das ideias, é a razão. Não se trata de recensear riquezas, mas de atualizar um método de enriquecimento. É preciso constantemente tomar consciência do caráter completo do conhecimento, aguardar as ocasiões de extensão, prosseguir todas as dialéticas. A propósito dum fenômeno particular, deseja-se estar seguro de ter enumerado todas as variáveis. Quando desejamos salientar assim todos os graus de liberdade dum sistema, é evidentemente à razão que nos dirigimos, e não à experiência adquirida, para saber se nada foi esquecido. Aprendem-se falhas de perspicácia na intuição primeira” (BACHELARD, 1974c, p. 320).

Em particular, a linguagem de grupo, com sua exigência de fechamento, de que permaneçamos sempre dentro do grupo, quaisquer que sejam as transformações e as composições de transformações que realizemos, que seja sempre possível ir de um elemento a outro e voltar pela transformação inversa, realiza, de forma particularmente consciente, esse ideal de completude (ou está permanentemente em busca dessa realização):

“Assim o pensamento que anima a Física matemática, como o que anima os matemáticos puros, é uma consciência de totalidade. Donde a importância da noção de grupo numa e noutra doutrina. Nenhum repouso para o pensamento enquanto uma razão de conjunto não colocou a chancela sintética sobre a construção” (BACHELARD, 1974c, p. 330).

Pensamento generalizante. Por outro lado, notamos que esse inconformismo com a possibilidade de existência de regiões de nossa experiência que permaneçam inatingíveis à ação de nossa atividade simbólica representa um verdadeiro motor da pesquisa científica e, ao mesmo tempo, de todo tipo de generalizações equivocadas. O esforço de compreender novas situações em função de teorias e símbolos desenvolvidos a propósito de outra gama de fenômenos dificilmente pode ser desconsiderado quando refletimos sobre o avanço da ciência. Thomas Kuhn comenta a respeito, ao criticar aqueles que pretendem que os paradigmas científicos devam ficar restritos apenas ao domínio da experiência conhecida:

“Sem o compromisso com um paradigma não poderia haver ciência normal. Além disso, esse compromisso deve estender-se a áreas e graus de precisão para os quais não existe nenhum precedente satisfatório. (...) Se as teorias

existentes obrigam o cientista somente com relação às aplicações existentes, então não pode haver surpresas, anomalias ou crises. (...) Será realmente surpreendente que o preço de um avanço científico significativo seja um compromisso que corre o risco de estar errado?” (KUHN, 1998, p. 135)

Procuro em minha estante exemplos extremos dessa atitude generalizante, dessa pressuposição de extensão universal de determinada forma de representação simbólica, no discurso científico. Não é difícil encontrar. Parece, ao contrário, que é a delimitação do domínio de validade de certa forma de representação e compreensão que só se adquire a muito custo. Podemos citar o célebre exemplo de Laplace e sua presunção de determinismo universal:

“Uma inteligência que, para um instante dado, conhecesse todas as forças das quais está animada a natureza e a situação respectiva dos seres que a compõem, se de outro modo ela fosse suficientemente vasta para submeter esses dados à análise, abraçaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e aqueles do mais leve átomo: nada seria incerto para ela, e o futuro, tal como o passado, estaria presente a seus olhos” (LAPLACE, apud PATY, 2004, p.472).

ou, quase dois séculos depois, ainda em consonância com a mesma visão de mundo reducionista, porém não mais inserido no contexto do triunfo da mecânica Newtoniana, mas sim no da defesa da teoria das super-cordas:

“Do outro lado do espectro estão os oponentes do reducionismo, aterrorizados pelo que percebem como a aridez da ciência moderna. Admitir a hipótese de que eles próprios e seu mundo possam ser reduzidos a uma questão de partículas ou campos de força e suas interações faz com que se sintam diminuídos. (...) Não vou tentar convencê-los com um sermão sobre as belezas da ciência moderna. A visão de mundo dos reducionistas é mesmo fria e impessoal. Ela tem de ser aceita como é, não porque seja do nosso agrado, mas sim porque essa é a maneira como funciona o mundo” (WEINBERG, 1992 apud GRE-ENE, 2001, p. 31)

Mas podemos também encontrar essa vocação universalista em concepções anti-reducionistas, como por exemplo:

“Em princípio, o campo da teoria dos sistemas é muito mais amplo, quase universal, já que num certo sentido toda realidade conhecida, desde o átomo até a galáxia, passando pela molécula, a célula, o organismo, a sociedade pode ser concebida como sistema, isto é, associação combinatória de elementos diferentes” (MORIN, 2007, p. 19).

Evidentemente, deve-se reconhecer que, nesse caso, a consciência da diferença entre o mundo e a leitura e representação que dele se faz estão presentes, enquanto que nas concepções reducionistas citadas, não. O uso do advérbio “quase” é bastante significativo nesse sentido.

De qualquer forma, o ponto relevante para mim é reconhecer aqui a vocação universalista das representações simbólicas. De certa forma, as proposições citadas dizem muito mais a respeito das visões de mundo dos sujeitos que a emitem do que propriamente do objeto de seu discurso, ou, no mínimo, elas dizem respeito a uma mescla de ambos. Em outras palavras, elas referem-se não a um suposto “mundo em si”, mas a um mundo objetivado através de determinada linguagem, de determinadas formas simbólicas. E no seu movimento de generalização, de universalização, podemos reconhecer uma determinada visão de mundo.

A despreocupação metodológica do presente trabalho com o valor de verdade das sentenças visa justamente permitir que possamos observar teses dessa natureza como belas e potentes imagens (porque a visão de mundo reducionista também possui sua beleza e, seguramente, sua potência), sem precisar decidir entre elas, podendo, inclusive, considerá-las de forma complementar.

A concepção de Cassirer parece especialmente feliz por permitir esse tipo de relativização do discurso científico, que permite, ao mesmo tempo, considerar os avanços cognitivos de uma teoria e não se deixar levar por uma compreensão dogmática de seus resultados. Por exemplo, ao discutir, já em 1923, o significado das teses da relatividade geral, em particular a dissolução da dimensão temporal em um espaço quadridimensional, em que esta dimensão já não pode ser distinguida de maneira objetiva, ele pode, ao mesmo tempo, reconhecer o valor dessa construção e relativizá-la como um determinado olhar sobre a experiência do mundo:

“O princípio de relatividade tem ao mesmo tempo um significado objetivo e um significado subjetivo, ou metodológico. O ‘postulado de mundo absoluto’, tal como compreendido em uma expressão de Minkowski, é em última instância um postulado de método absoluto. A relatividade geral de todos os lugares, tempos e barras de medição deve ser a última palavra da física porque a ‘relativização’, a transformação do objeto natural em puras relações de medida constitui o núcleo do procedimento físico, a função cognitiva fundamental da física. Se compreendemos, entretanto, como, nesse sentido, a afirmação de relatividade se desenvolve como consequência intrínseca e necessária a partir da própria estrutura formal da física, uma certa limitação crítica dessa afirmação também se faz notar” (CASSIRER, 1953b, p. 445-6).

3.2.2 Distintas fases do pensamento simbólico

Até aqui, procuramos encontrar no discurso científico características típicas que justifiquem sua compreensão através da noção de formas simbólicas. Porém, como podemos discutir sua especificidade? Se podemos, através dessa noção, encontrar características comuns a atividades

tão diversas como o mito e a religião, a linguagem, a arte, a história e a ciência, é evidente que precisaremos também discutir os diferentes sentidos que ela adquire em cada contexto.

Cassirer propõe um processo evolutivo de formas simbólicas que se sobrepõem até alcançar o estágio associado ao pensamento científico. A sucessão dessas fases não se dá por um processo de *substituição*, mas de *sobreposição*. A uma *função expressiva* inicial, sobrepõe-se a *função representativa* e por fim a *função significativa*. Assim, é sempre possível encontrar, nas formas mais desenvolvidas, elementos provenientes de etapas mais “primitivas” do desenvolvimento da percepção, da expressão e do pensamento humanos. Essa progressão a estruturas formais cada vez mais complexas permite um crescente aprofundamento da experiência. Entretanto, as possibilidades de construção simbólica são múltiplas, garantindo que haja também distintas direções de profundidade de forma que, apesar da concepção evolucionista subjacente, não pode existir uma construção simbólica que possa esgotar a complexidade do real, havendo uma relação de complementaridade entre as distintas formas simbólicas:

“Enquanto não ultrapassamos o mundo das impressões sensíveis, não fazemos mais que tocar a superfície da realidade; a percepção da profundidade das coisas exige sempre um esforço de nossas energias ativas e construtivas. Como estas energias não se movem em uma única direção e não tendem a um mesmo fim, tampouco podem nos proporcionar o mesmo aspecto da realidade” (CASSIRER, 1953a, p. 236-7).

Ademais, essa evolução não é compreendida por ele como uma transformação de distintas fases da “interpretação” de uma suposta base empírica sempre estável. Ao contrário, na medida em que as formas simbólicas são responsáveis pelo processo de objetivação da experiência, é a constituição de uma certa estrutura simbólica que permite uma certa forma de apreensão e percepção do mundo. Em contraposição às doutrinas “sensacionistas” da percepção que, em consonância com o pensamento de filósofos como Hume e Berkeley, compreendem a percepção como um processo de reprodução fotográfica de estímulos “atômicos” dados, Cassirer se alinha a concepções da escola da psicologia da forma (Gestalt), que ressaltam o atrelamento da percepção ao reconhecimento de uma certa estrutura formal⁹.

Função expressiva. O mundo objetivo não nos é dado direta e mecanicamente pelos sentidos, mas é produto de uma construção. Muito antes de percebermos (separadamente) uma multiplicidade de cores, de corpos quentes e frios, de odores, de sons graves e agudos, percebíamos um mundo fluido e inconstante, algumas vezes ameaçador, outras protetor, amigável.

⁹Thomas Kuhn, também inspirado por analogias com experimentos associados à psicologia da Gestalt (figura 3.2), chega a afirmar que: “durante as revoluções, os cientistas veem coisas novas e diferentes quando, empregando instrumentos familiares, olham para os mesmos pontos já examinados anteriormente. É como se a comunidade profissional tivesse sido subitamente transportada para um novo planeta, onde objetos familiares são vistos sob uma luz diferente e a eles se agregam objetos desconhecidos” (KUHN, 1998, p. 145-6).

A palavra “antes” refere-se aqui tanto ao contexto de nossa história cultural, como pessoal. A criança, aponta Cassirer, não se interessa por cores simples, mas por rostos humanos. Apesar da enorme complexidade de processamento de estímulos que demanda, ela reconhece o rosto da mãe com poucos meses de vida e é capaz de perceber estados de ânimo diversos nesse rosto com pouco mais de um ano. Nesse sentido, o “*fenômeno expressivo*”, como Cassirer denomina essa primeira fase de apreensão e expressão do mundo, é caracterizado pela apreensão de um mundo vivo, ativo e não um mundo de objetos: é marcado pela experiência do “tu”, e não pela experiência do “isto”, que lhe é posterior (CASSIRER, 1976, p. 81). O pensamento mitológico e mágico é um exemplar típico, para o autor, dessa fase. Não há ainda a distinção entre o “real” e o “ideal”, nem tampouco entre a “realidade” e a “aparência”. Não há uma essência por trás das aparências, mas, ao contrário, a aparência é a própria essência. Não existe a representação: qualquer fenômeno é sempre uma presença:

“Quando, em uma cerimônia mágica, por exemplo, para fazer chover se espalha água, esta água de modo algum serve só como símbolo ou ‘análogo’ da verdadeira ‘chuva’, mas está unida a esta pelo vínculo de uma ‘simpatia’ originária. O próprio demônio da chuva está vivo, patente e encarnado em cada gota de água” (CASSIRER, 1976, p. 87).

É um engano, segundo o autor, supor no *fenômeno expressivo* um ato de *personificação*, um mecanismo pelo qual se transformaria a realidade empírica das coisas e suas propriedades (como por exemplo as gotas d’água) em uma realidade de sujeitos ativos e anímicos (o deus da chuva). Essa interpretação pressuporia como já dadas as *representações* de “sujeitos” e “objetos”, elementos simbólicos ausentes nesta relação expressiva com o mundo. Ao contrário, o mito “cria” uma espécie de luta entre o eu e o mundo, *através da qual* esses dois polos alcançam sua forma e configuração fixas (CASSIRER, 1976, p. 90).

Função representativa. É especialmente o desenvolvimento da linguagem o motor para o surgimento de uma nova função, que Cassirer denomina a *função representativa*. A imagem de uma deidade ou o seu nome, embora não se pretenda que deixem de *ser* a própria divindade *presente*, se convertem em mecanismos através dos quais fenômenos espacial e temporalmente separados uns dos outros podem ser reconhecidos como manifestações de um *mesmo* sujeito (CASSIRER, 1976, p. 132). Da mesma forma, na medida em que a linguagem passa a envolver, além dos sons e gestos que expressam o estado de ânimo e as sensações atuais do sujeito, elementos capazes de representar o mundo externo, como por exemplo os gestos indicativos que permitem “alcançar à distância” um determinado objeto, temos a possibilidade de uma estabilização do mundo de nossas percepções e da constituição intuitiva de objetos. O aparecimento da função representativa, marcada pela utilização e reconhecimento de um conteúdo intuitivo

sensível como *representante* de outro, pela compreensão de uma impressão sensível como um *elemento simbólico*, inaugura, para o autor, uma nova era, em que a atitude interna frente à realidade se transforma e surge um novo tipo de *relação* sujeito-objeto. O testemunho do processo educativo da cega-surda-muda Helen Keller permite-nos perceber, de maneira particularmente emocionante, as implicações dessa transição. Eis o registro de sua professora do exato momento em que ela “descobre” o sentido e a função da linguagem humana:

“Preciso escrever algumas linhas esta manhã porque ocorreu algo realmente importante. Helen deu o segundo grande passo em sua educação. Aprendeu que cada coisa tem um nome e que o alfabeto manual é a chave para tudo o que deseja conhecer. . . Esta manhã, enquanto estava se lavando, desejou conhecer o nome da ‘água’. Quando quer conhecer o nome de alguma coisa, aponta em sua direção e acaricia minha mão. Eu soletrei ‘a-g-u-a’ e já não pensei mais no assunto até depois do café da manhã. . . Mais tarde, fomos à fonte e fiz com que Helen segurasse a jarra sob a torneira enquanto eu acionava a bomba. Enquanto saía a água fria e enchia a jarra, soletrei ‘a-g-u-a’ sobre a mão aberta de Helen. A palavra, que se juntava à sensação da água fria que caía sobre sua mão, pareceu instigá-la. Ela soltou a jarra e ficou como que em êxtase. Seu rosto parecia resplandecer. Soletrou ‘a-g-u-a’ várias vezes. Inclinou-se em direção ao chão e perguntou pelo seu nome e apontou para a fonte e, girando rapidamente, perguntou pelo meu nome. Soletrei ‘professora’. Ao voltar à casa, estava muito excitada e aprendeu o nome de todos os objetos em que tocava. (. . .) Voava de objeto em objeto, perguntando pelo nome de cada coisa e me beijando de pura alegria” (CASSIRER, 1953a, p. 58-9).

O fato de a linguagem adquirir uma nova função representativa não elimina completamente seus elementos expressivos. O uso de onomatopeias e, de forma geral, a sonoridade da fala, sua musicalidade, são exemplos de recursos associados à função expressiva, que buscam antes captar e tornar presente o próprio “rosto” dos fenômenos que realizar sua representação objetiva. Vemos, dessa forma, como vai se dando a sobreposição das diversas funções simbólicas. Em particular, a poesia faz amplo uso dessa dimensão expressiva da linguagem e nela submerge como se ela fosse “uma fonte originária de eterna juventude” (CASSIRER, 1976, p. 135).

Nossa percepção de *objetos* mais ou menos fixos dotados de *atributos* variáveis, localizados *espacial e temporalmente* é, para Cassirer, já derivada da função representativa. Não se trata de um produto mecânico de sensações imediatas, mas de um processo de construção, de uma *representação intuitiva*. Dificilmente nos damos conta desse processo uma vez que ele está permanentemente em ação, impedindo-nos um olhar distanciado sobre sua atuação. Não temos acesso a uma suposta percepção prévia em que pudéssemos contemplar um permanente fluxo de tons cromáticos em infinita e infinitesimal variação: o “conteúdo” de nossa percepção já é, desde o início, dotado de uma “forma”. Se a função expressiva se exercia na configuração da experiência do “tu”, a função representativa se dá na experiência do “isto”. Nos dois casos,

Figura 3.2: Exemplos de figuras que propiciam distintas percepções visuais, dependendo da “forma” como as vemos.

porém, não derivamos o “tu” e o “isto”, mas os temos imediatamente, em uma modalidade específica e originária de visão (CASSIRER, 1976, p. 149).

O caráter funcional, ativo e construtivo da percepção espaço-temporal de coisas e seus atributos se revela por nossa capacidade de perceber visualmente situações diversas de iluminação, de cor e de forma (como aquelas devidas à mudança de ponto de vista) e identificá-las como correspondendo a variações acidentais de um mesmo objeto, de forma que chegamos inclusive a operar uma “correção” de nossa percepção, minimizando as “distorções” percebidas. Além do mais, como demonstram as experiências de reconhecimento visual associadas à psicologia da gestalt, dependendo de uma certa “escolha”, a percepção de certas figuras especiais (como as exemplificadas na figura 3.2) pode variar radicalmente. Cassirer compara essas características da percepção intuitiva ao papel que a teoria de grupo possui nas diversas geometrias. Ao estabelecer as transformações que preservam a identidade de um objeto geométrico, decorrentes das simetrias que são atribuídas ao espaço, define-se quais figuras são equivalentes a quais para *cada* geometria. Por exemplo, elipses e circunferências são figuras distintas para a geometria euclidiana, que reconhece apenas as simetrias por deslocamento, rotação, reflexão e mudança de escala. Já para a geometria projetiva, que considera também como iguais figuras que correspondam a uma transformação projetiva uma da outra, elipses e circunferências são a mesma figura. Da mesma forma, dependendo do “critério” intuitivo utilizado, uma mesma percepção pode adquirir significados e valores muito diferentes com relação à estrutura total da realidade espacial (CASSIRER, 1976, p. 193). Dessa forma, mesmo a percepção “individual” já depende de uma certa estrutura, de um certo contexto e não pode ser reduzida a um “dado” independente e imutável. Muito embora pertençam a níveis de abstração muito distintos, por terem em comum a função de construção do conhecimento objetivo, a percepção do espaço intuitivo e as diversas geometrias possuem traços que podem ser identificados como semelhantes, ainda que

não possam ser estritamente identificados:

“Nesse sentido, o sistema de conceitos fundamentais com os quais a geometria euclidiana lida tem, por assim dizer, um análogo superior e um inferior. Se nos dirigimos ‘para cima’, atingimos a sistematização abrangente alcançada pela teoria de grupo; se nos dirigimos ‘para baixo’, atingimos aqueles ‘esquemas’ que já estão presentes na percepção e na intuição imediata” (CASSIRER, 1944, p. 31).

Função significativa. A passagem da *função representativa* para a *função significativa* está associada, para Cassirer, justamente à busca por uma explicitação consciente das formas que permitem *apontar* para um determinado “objeto”, reunir uma diversidade intuitiva na unidade analítica de um *conceito*. O que, na função representativa, se dá de forma implícita e inconsciente, na função significativa será o foco principal. A preocupação com a questão da *verdade* é, para o autor, o motor que move esse desenvolvimento. Todos os postulados e todas as estruturas conceituais devem inserir-se em um complexo intelectual que a tudo abarque. É por esse motivo que o pensamento não pode mais contentar-se com as configurações já terminadas oferecidas pelo mundo da intuição, mas deve passar a construir *com inteira liberdade* e por meio de sua própria atividade um reino de símbolos (CASSIRER, 1976, p. 335). É interessante ressaltar que o compromisso com a busca “da verdade” é diretamente correlacionado à “inteira liberdade” na construção simbólica.

O autor não entende um conceito como uma *enumeração* dos objetos que compõem uma determinada classe, mas como a explicitação de uma *regra*, de uma relação que permite decidir quais objetos devem ou não pertencer àquela classe. Conceber e relacionar são atos correlatos, recíprocos (CASSIRER, 1976, p. 350). Os conceitos não se estruturam por uma espécie de média que recolhe os elementos comuns a uma multiplicidade, eliminando os não comuns. Ao contrário, a reunião de uma multiplicidade em um conceito se dá pelo reconhecimento de uma estrutura em que os distintos elementos correspondem, cada um em seu lugar e em relação com os demais, aos diversos momentos da totalidade de sentido e função do conceito (CASSIRER, 1976, p. 356). A conceituação permite, dessa forma, ao mesmo tempo, a síntese de uma multiplicidade e o esclarecimento analítico da função exercida por cada elemento em relação aos demais. Uma curva matemática, por exemplo, pode ser definida pela regra associada à equação que é verdadeira para os pontos pertencentes à curva e falsa para os demais, de forma que os diversos pontos que a compõem não são reunidos pelo que têm em comum, mas pela relação que guardam uns com os outros. Da mesma forma, o conceito de símbolo, que aqui abordamos, é definido não apenas pelas características comuns de todos aqueles elementos que

são considerados membros dessa categoria, mas principalmente pelas diferentes articulações que este conceito adquire nos diferentes contextos e nos diferentes estágios aos quais se aplica:

“Toda função de ‘representação’ implica um ato de identificação e um ato de diferenciação e, além disso, ambos precisam ser concebidos não como uma mera justaposição, mas como uma autêntica inter-relação, quer dizer, a identificação deve ser levada a cabo na diferenciação e a diferenciação na identificação” (CASSIRER, 1976, 367).

Pensem, como exemplo, a respeito dos distintos sentidos que a operação de *negação* adquire se pensada no contexto das funções expressiva, representativa ou significativa. Em sua dimensão expressiva, a negação representa uma contra-vontade, a negação de um desejo que temos ou aquela que exercemos contra alguma imposição a que somos submetidos, mas não desejamos. No contexto da função representativa, entendida em sentido substancial, a negação é envolvida em toda sorte de paradoxos, como aqueles elencados pela escola eleática, que mostram o absurdo de afirmar a existência do não-ser. Já no universo conceitual, associado à função significativa, a negação passa a ser um tipo específico de relação entre símbolos ou entre sentenças simbólicas. Cassirer defenderá a fundamental importância da capacidade de conceber o não-acontecido, o meramente possível, assim como o impossível. Em consonância com o pensamento de Platão, afirma que todo “é” em um enunciado predicativo só pode ser inteiramente compreendido se correlaciona-se a um “não-ser”. O conceito não chegará a determinar idealmente o “real” enquanto permanecer dentro dos limites dessa realidade (CASSIRER, 1976, p. 357). Esse “distanciamento” que o simbolismo estabelece com relação ao real, esse “descolamento” do universo simplesmente factual, possui relevância em diversas dimensões do pensamento humano, tanto éticas (pense-se no valor das “utopias”), como científicas, expressando claramente a contraposição entre o pensamento do autor e aquele de tradição positivista:

“Os empiristas e os positivistas sempre sustentaram que a tarefa superior do conhecimento humano consiste em nos proporcionar os fatos e nada mais que os fatos: uma teoria que não seja baseada em fatos seria um castelo no ar. (...) Mas o que quer dizer, qual o sentido de um fato científico? É patente que nenhum fato desse tipo nos aparece na observação fortuita ou na mera acumulação de dados provenientes da experiência sensível. Os fatos da ciência implicam sempre um elemento teórico, o que quer dizer um elemento simbólico. Muitos, senão a maioria, dos fatos científicos que modificaram o curso da história das ciências foram hipotéticos antes de chegarem a ser observáveis. (...) Se enfatizou com razão que as concepções que conduziram ao descobrimento do princípio da inércia não eram de modo algum evidentes ou naturais para os gregos, e, da mesma forma, para as pessoas da Idade Média, estas concepções teriam parecido como evidentemente falsas e até absurdas. No entanto, sem a ajuda dessas concepções totalmente irreais, Galileu não teria

conseguido propor sua teoria do movimento; tampouco ele poderia ter desenvolvido ‘uma ciência nova que trata de um tema muito antigo’” (CASSIRER, 1953a, p. 90-1).

Penso na expressão “desmaterialização da matéria”. Concebida de forma estática e em sentido substancial, trata-se de um paradoxo sem sentido. Entretanto, se relacionada a um movimento do pensamento conceitual, associado à mudança de sentido dessa palavra, à passagem de uma estrutura conceitual em que “matéria” referia-se a uma imagem intuitiva, uma característica “em-si”, para outra em que se torna um conceito derivado, a expressão adquire fertilidade de sentido. Ela representa o movimento de pensamento através do qual as antigas propriedades dessa “matéria” desproblematizada e irracional passam a ser consequências de outras relações conceituais: sua impenetrabilidade associa-se a forças repulsivas ou a barreiras de energia, sua inércia deve-se à energia associada à configuração em que se encontra, etc. E o uso da palavra energia aqui é muito diferente do uso anterior da palavra matéria: ela não se refere a uma imagem intuitiva, mas a um conceito que permite atribuir a cada relação, a cada configuração, um valor definido de sua magnitude.

Este exemplo ilustra a função que Cassirer atribui aos conceitos: “o conceito não é tanto um caminho aberto pelo qual avança o pensamento, como um método, um procedimento de abertura criado por ele” (CASSIRER, 1976, p. 358). É por essa sua função de abertura que faz-se fundamental a maior liberdade conceitual, inclusive frente ao mundo de nossas intuições sensíveis. Torna-se evidente o caráter criativo da função conceitual. Repito aqui a citação que abriu a presente sessão e me pergunto: ela não poderia aplicar-se também ao trabalho artístico?

“O conceito é um livre traço de linhas que é necessário tentar uma e outra vez a fim de fazer ressaltar com clareza a organização interna do reino da intuição empírica e também a dos objetos lógico-ideais” (CASSIRER, 1976, p. 359).

3.2.3 As dimensões expressiva, representativa e significativa do pensamento científico

Apesar do risco de ser demasiadamente esquemático, procurarei ilustrar com um exemplo uma das teses fundamentais deste capítulo, a saber: a de que o pensamento científico possui muitas dimensões, as quais classificamos aqui nas categorias associadas às dimensões expressiva, representativa e significativa.

Para isso, faremos uma rápida exploração dessas distintas dimensões da lei da inércia. Tomemos o enunciado dessa lei, tal como formulada por Newton:

Figura 3.3: Imagens propostas por estudantes para representar a lei da inércia.

"Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele" (NEWTON, 1974, p. 13).

Como refletir sobre as distintas dimensões de um enunciado aparentemente tão objetivo? Acredito que, para realizar essa intenção, não é para as palavras que compõem esse enunciado que devemos mirar. Valendo-nos da comparação que já estabelecemos entre um enunciado científico e uma partitura musical, afirmamos que, assim como, se queremos perceber a dimensão expressiva de uma composição musical, não é para o desenho das notas na partitura que devemos olhar, da mesma forma, não é com o desenho das palavras de Newton traduzidas para o português que devemos nos preocupar. Assim como ocorre com a música, são as possíveis interpretações desse enunciado que podem nos revelar suas múltiplas dimensões.

Por esse motivo, meu ponto de partida para a exploração dessa lei serão algumas das leituras não verbais que os estudantes da disciplina *Oficina de Projetos* dela realizaram. Essas leituras dos alunos foram realizadas a propósito de um exercício de tradução para formas não verbais de representação, que já foi discutido na seção 2.2 e cujo enunciado repetimos aqui:

"Suponha um mundo em que não existem letras, nem palavras, nem números. Traduza para este mundo a lei da inércia, utilizando os recursos que quiser. Você não precisa se preocupar, nessa questão, em ser exato, preciso ou fiel".

Dimensão expressiva As duas imagens presentes na figura 3.3 causaram tanto em mim como nos estudantes que a discutiram posteriormente uma sensação inicial de estranheza. A primeira reação frente a elas talvez seja a de descartá-las como "sem sentido". Por serem imagens que estão disponíveis na internet, a nossa tendência de não levá-las em consideração intensifica-se. Entretanto, a escolha dessas imagens, entre tantas outras possíveis, não é óbvia e revela um certo caminho de interpretação seguido pelos estudantes. Dado o nosso interesse de pesquisa, torna-se relevante refletir: por que os estudantes escolheram essas imagens em particular? Que tipo de interpretação da lei da inércia podemos inferir de sua escolha?

Podemos ser remetidos, talvez, pela observação dessas imagens, à origem etimológica da palavra inércia, associada a inação, preguiça, repugnância ao trabalho, etc. Pouco comum entre os estudantes que realizaram este exercício, podemos, no entanto, supor que esse tipo de associação deve ser tanto mais frequente quanto mais distantes estivermos do contexto científico. Se aplicada de forma imediata a algum problema científico, seria seguramente uma interpretação equivocada, que revelaria uma concepção animista, ansiosa por ver nos corpos materiais uma certa preguiça em mudar de estado de movimento.

Porém, não temos motivo para realizar transferências tão diretas e obtusas entre distintos contextos de interpretação. Ao invés disso, podemos nos perguntar: que aspecto da lei da inércia poderia ser associado a esse sentido que a palavra *inércia*, em sua origem, carrega? Por estar mais colado à própria expressão da lei, ao “rosto” que ela exhibe, esse aspecto da lei nos revelaria elementos de sua dimensão expressiva.

E que aspecto é esse? Ora, é justamente o caráter “inerte” da matéria, quer dizer, desprovido de “vitalidade”, de forma que ela está submetida inteiramente às forças externas que determinam a sua dinâmica e apenas “resiste”, em alguma medida, a estas forças. Como afirma Newton:

“Essa força é sempre proporcional ao corpo e não difere em nada da inatividade da matéria, a não ser pela forma como a concebemos. Um corpo, devido à natureza inerte da matéria, não é retirado sem dificuldade de seu estado de repouso ou movimento. Levando isso em conta, essa *vis insita* pode receber a designação mais significativa de inércia [*vis inertia*] ou força de inatividade” (NEWTON, 1974, p. 2).

Esse aspecto remete à imagem do Universo como mecanismo de relógio, metáfora que fez tanto sucesso entre os pioneiros da ciência moderna, passando por Kepler, Descartes e Leibniz. Imagem que, por outro lado, tanto repugnou ao movimento romântico no século XIX – talvez justamente por representar um universo “sem vida”, “inerte” – como podemos notar por exemplo na gravura “Newton”, de William Blake (figura 3.4), poeta e pintor que escreveu, em uma de suas obras, que “a arte é a árvore da vida; a ciência é a árvore da morte”. Vemos nesta gravura uma figura de Newton, com o rosto e as mãos bastante vivos e iluminados, mas o resto do corpo inerte, curvado; preso a suas construções geométricas, ele recusa-se a ver a beleza viva da natureza atrás de si. Como escreve José Cláudio Reis (2002, p. 81):

“O ‘Newton’ de Blake, não olha para o céu ou para as pedras cheias de variações, encontra-se fechado, formando um quadrado, pois traça figuras geométricas e não contempla a natureza. Para Blake, a arte era a anticiência, era síntese e não análise, era inspiração e não pesquisa, era subjetividade e não objetividade. Já a Ciência estaria fadada ao fracasso por querer conhecer e possuir o real”.

Figura 3.4: William Blake, Newton (1805).

Podemos compreender melhor este aspecto da lei da inércia (e da visão de mundo mecanicista) se a compararmos com visões de mundo que influenciaram outros desenvolvimentos científicos. Observando, por exemplo, a demonstração da relação $E = mc^2$ realizada por Einstein em 1905 (quadro 1 na página 122), podemos notar uma diferença fundamental com relação à visão de mundo mecanicista: a matéria irradia “espontaneamente”. De fato, a possibilidade de a matéria emitir e absorver radiação, que transporta energia e momento, dá à matéria novas possibilidades não inerciais de atuação (como por exemplo acelerar não por uma ação externa mas devido à emissão de radiação) e é um ingrediente fundamental para a formulação da equivalência entre massa e energia. Equivalência que, por sua vez, contribuiu para a constituição de uma imagem muito mais dinâmica e ativa do que seja a matéria. A influência de uma *visão eletromagnética da natureza* (associada a cientistas tais como Lorentz, Larmor e Poincaré), que atribuía ao eletromagnetismo prioridade com relação a descrições mecânicas foi, como demonstra Giannetto (2009), fundamental para a formulação da teoria da relatividade e carregava consigo uma concepção mais ativa da matéria:

“O eletromagnetismo de Maxwell mostrou que a realidade física não era apenas a matéria inerte e passiva, mas também o dinâmico e ativo campo eletromagnético, irredutível a um modelo mecânico-material. Além disso, as equações de Maxwell apresentam soluções de vácuo, ou seja, na ausência de matéria carregada: o campo eletromagnético pode existir mesmo se não há matéria.

Portanto, a possibilidade de uma nova visão não dualista da realidade física foi considerada: se a matéria não pode existir sem o campo eletromagnético e o campo eletromagnético pode existir sem a matéria, o campo eletromagnético poderia ser a única realidade física e a matéria seria derivada do campo” (GIANNETTO, 2009, p. 768).

Destacamos acima um possível aspecto da lei da inércia associado à sua dimensão expressiva. Evidentemente, poderiam ser destacados muitos outros. Poderíamos, por exemplo, explorar o caráter expressivo do movimento retilíneo e uniforme. A imagem de um espaço infinito e vazio, ocupado por corpos inertes – necessária para que se possa conceber o movimento retilíneo e uniforme – mobiliza também a dimensão expressiva de nossa percepção, na medida em que *nos* percebemos neste espaço¹⁰. Notamos que os aspectos expressivos de uma construção científica, por vincularem-se a uma percepção mais emotiva e sensorial, parecem revelar bastante a respeito das visões de mundo seja daqueles que criaram essas obras, seja dos diversos sujeitos que a aprendem, a apreciam e sobre ela refletem nas mais diversas épocas posteriores.

Dimensão representativa Se aspectos associados à dimensão expressiva da lei da inércia foram relativamente raros nas contribuições de estudantes a propósito do exercício aqui problematizado, por outro lado, predominaram contribuições que parecem revelar sua dimensão *representativa*. Reproduzo na figura 3.5 algumas das contribuições que poderiam ser classificados nessa categoria (outros exemplos já foram expostos nas figuras 2.2 e 2.3).

O esforço de representar o enunciado da inércia no universo simbólico associado à intuição empírica é uma característica marcante dessas contribuições. Escolhi expor aqui imagens que revelam, entre outros elementos, diferentes formas daquilo que a literatura associada à pesquisa em ensino batizou de *concepções alternativas*. Façamos um breve exercício de leitura dessas contribuições, destacando possíveis concepções alternativas que elas parecem expressar.

Na figura 3.5a, a presença de uma flecha azul no segundo, terceiro e quarto quadros demonstra uma compreensão da inércia como uma “força” que é fornecida ao bloco no segundo quadro e que ele mantém ao longo de seu movimento até ser freado por uma força contrária de mesma intensidade. A dificuldade de constituir, nesse universo da intuição empírica, uma representação para a aceleração distinta daquela associada ao movimento e à sua velocidade parece obrigar o intérprete a considerar que o repouso só é alcançado devido a uma igualdade instantânea de forças em sentidos contrários e não devido à ação, durante um certo tempo e ao longo de uma certa distância, de uma única força em sentido contrário ao do movimento.

¹⁰Para abordar este aspecto, poderíamos evocar a contribuição de um estudante que apresentamos na figura 2.2d na página 46 e na nota de rodapé 10 na página 54 e que parece-me bastante significativa, como forma expressiva de percepção, devido à associação que o estudante faz entre o espaço vazio e a sensação de solidão.

Figura 3.5: Imagens propostas por estudantes para representar a lei da inércia.

É claro que esse tipo de julgamento de um exercício de tradução que não se propunha necessariamente a ser “rigoroso, preciso ou fiel” pode parecer demasiadamente preciosista. Não se trata aqui, entretanto, de definir erros e acertos, mas sim de investigar possíveis sentidos de interpretação e averiguar suas consequências. A figura 3.5b mostra uma variante dessa concepção da inércia como força recebida, mas agora em uma situação em que a contradição com a significação formal do enunciado científico torna-se muito mais explícita. Ao observar essa figura, tive dificuldades, antes de um debate coletivo, em estabelecer uma leitura sua que me parecesse consistente. No momento do debate em sala de aula, porém, a interpretação da figura foi relativamente consensual entre os estudantes: trata-se de um movimento parabólico, as flechas representam as forças que atuam no corpo; talvez o autor tenha se esquecido apenas de representar a “força do corpo para o lado” e a lei da inércia só se aplica à situação no ponto mais alto da trajetória, “quando as forças se anulam e o corpo permanece em inércia”. Nesse caso, mais ainda que no primeiro, a dificuldade de estabelecer uma representação intuitiva para a aceleração impossibilita a aceitação de que um corpo possa estar em repouso instantâneo e, ainda assim, acelerar. O movimento é representado como o confronto entre dois “ímpetos”: o que o corpo recebeu ao ser atirado e que vai, aos poucos, “se desgastando” e aquele que ele vai, também aos poucos, adquirindo devido à gravidade.

O físico Martin Eger, que, como já destaquei, defende a relevância de uma abordagem hermenêutica para a reflexão a respeito de diversos aspectos da ciência, inclusive este associado

às concepções alternativas, tematiza a dificuldade em reconhecer a aceleração de um corpo no ponto mais alto de sua trajetória (EGER, 1992, p. 343, 344). A nossa intuição empírica inicial da aceleração associa-se à experiência em automóveis e outras similares e não nos dá qualquer elemento que permita reconhecer a aceleração de um corpo em repouso instantâneo. Para este autor, é só após um complexo processo de idas e vindas (um *círculo hermenêutico*) entre a parte (a representação da trajetória) e o todo (a linguagem da ciência – aquilo que associamos aqui à sua *dimensão significativa* e inclui a noção de limite, as leis do movimento, etc) que o estudante alcança construir interpretações consistentes. As concepções alternativas são compreendidas, nesse contexto, como uma etapa natural e necessária desse processo ativo de construção de interpretações a propósito da ciência.

As figuras 3.5c e 3.5d formam um outro par interessante para a análise. Na figura 3.5c, notamos um “jogo” entre flechas horizontais e verticais. A tendência a permanecer em repouso parece ser representada por flechas que se dirigem verticalmente para baixo enquanto a tendência a permanecer em movimento associa-se a flechas horizontais no sentido do movimento. À luz dessa imagem, vemos que a escolha, por outro estudante, da figura 3.5d para traduzir a inércia, representa um caminho similar de interpretação, preocupado, nesse caso, apenas com o aspecto associado à tendência a permanecer em repouso: a tendência a permanecer em repouso é tanto maior quanto maior for o peso, dirigido para baixo, da pedra. Não é necessário enfatizar o equívoco de interpretação, a propósito da significação formal do enunciado da inércia, envolvido aqui. Entretanto: como não reconhecer a lógica interna dessas representações? Afinal, nossa primeira intuição empírica a propósito da resistência ao movimento associa-se ao esforço de mover objetos pesados. O reconhecimento de que a resistência a entrar em movimento enunciada pela lei da inércia refere-se a um fenômeno bem mais sutil, quase nunca vivenciado de forma isolada, demanda, na linha de reflexão proposta por Eger, a construção de um complexo e ativo processo de interpretação, do qual interpretações iniciais como essa são parte integrante e necessária.

Dimensão significativa Assim como ocorre com as outras dimensões, são inúmeros os aspectos da lei da inércia que poderíamos associar à sua dimensão significativa. O ponto comum que parece permitir classificá-los nessa categoria é a preocupação com, *antes* de procurar reconhecer seus elementos diretamente no reino da intuição empírica, esclarecer o seu significado no contexto da tecitura simbólica da física. Não se trata de recusar a empiria e permanecer recluso em um universo simbólico completamente apartado, mas de reconhecer que existem dois domínios (o da intuição empírica e o sistema simbólico da ciência) que não se equivalem diretamente, mas relacionam-se um com o outro de forma mediada por traduções sempre

Figura 3.6: Imagem proposta por estudante para representar a lei da inércia.

Figura 3.7

problemáticas.

Diversas contribuições dos estudantes parecem abordar aspectos associados a essa dimensão significativa. Na figura 3.6, apresento uma delas¹¹. Como as figuras apresentadas acima, a propósito da dimensão representativa, esta imagem também faz alusão direta a objetos da intuição empírica. Entretanto, diferentemente do que ocorre nos outros casos, aqui, a imagem não propõe um reconhecimento imediato seja de uma situação de “tendência a permanecer em repouso” seja de “tendência a permanecer em movimento”. O movimento do carro não é representado, como nos outros casos, através de uma sequência sucessiva de quadros, mas por um traçado que sugere a interação do carro com o ar e o ambiente a sua volta. Esses elementos gráficos que sugerem o movimento do carro, entretanto, são evitados na sua parte frontal, de forma que, se víssemos apenas essa parte da figura (figura 3.7), não saberíamos precisar se o carro (e o pêndulo nele pendurado) está em movimento ou repouso. Dessa forma, a referência à lei da inércia se dá pelo reconhecimento de uma situação em que o pêndulo encontra-se na vertical, e não inclinado “para trás” ou “para frente”.

A percepção de que, longe de ser uma verdade evidente e um fato empírico incontestável, a lei da inércia é um elemento, bastante anti-intuitivo, de uma complexa estrutura teórica que só pode ser julgada globalmente, em comparação com a experiência, representa um choque para uma forma de pensamento que busca na intuição empírica a confirmação direta e imediata de cada afirmação. É com surpresa que essa forma de pensamento se dá conta de que, para “verificar” esse enunciado como verdadeiro, precisamos aceitar como verdadeiras outras hipóteses de maneira nenhuma mais óbvias ou evidentes: algumas vezes somos forçados a “ver” que, sobre um corpo em queda, atua à distância e de maneira invisível, a força de atração gravitacional da Terra; em outras situações, devemos “perceber” que, muito embora não haja nenhuma força atuando em um corpo que acelera, isso ocorre apenas porque o vemos a partir de um referencial não inercial que está acelerando com relação a ... outro referencial, este sim, inercial. Como comenta o historiador da ciência Pietro Redondi, a respeito da formulação Newtoniana para a

¹¹ Muitas das observações que farei a seu respeito poderiam se aplicar também a outras figuras já apresentadas anteriormente, como as figuras 2.3c e 2.3d na página 47.

lei da inércia, para “basear-se em uma lei da inércia tão inverificável como esta, era mesmo necessário partir da ideia de um espaço e tempo absolutos e infinitos” (REDONDI, 2010, p. 125). Tomando o exemplo da figura 3.6, somos levados a afirmar, para compreendê-la como uma “verificação” da lei da inércia, que, tanto sobre o carro como sobre o pêndulo, apesar das evidentes diferenças em sua interação com o meio a sua volta, a força resultante é nula. O quão longe da evidência incontestável está essa afirmação, eu pude perceber ao debater com os estudantes as suas leituras dessa imagem (assim como de várias outras) e ao solicitar a representação das forças que atuam sobre o carro e sobre o pêndulo.

O historiador da ciência Ricardo Lopes Coelho traça um breve histórico associado ao debate a respeito do caráter inverificável da lei da inércia e de seu papel no estabelecimento de uma disjunção, relativamente arbitrária, entre movimentos “naturais” e movimentos que ocorrem devido à ação de uma força “externa”. O vínculo existente entre o movimento que é postulado como “natural” e as forças que são identificadas como “reais” é problematizado na citação a seguir:

“O matemático Jacobi foi o primeiro, até onde eu sei, que considerou a estrutura dessa formulação. Em seu *Lectures on Analytical Mechanics*, 1847-1848, ele disse: ‘De um ponto de vista matemático, é circular dizer: o movimento retilíneo é o natural, conseqüentemente, uma causa externa é necessária para qualquer outro movimento, porque poderíamos, com o mesmo direito, associar um outro movimento à lei da inércia dos corpos, desde que adicionássemos que, se um corpo não se move dessa maneira, uma ação externa encarrega-se disso’” (COELHO, 2007, p. 963).

Nesse sentido, um aspecto associado à dimensão significativa da lei da inércia revela-se pela compreensão da disjunção entre um conjunto de referenciais equivalentes uns aos outros (os referenciais inerciais) e o resto dos referenciais, que não é equivalente a nenhum dos elementos do primeiro conjunto. Há, segundo a lei da inércia, um conjunto de referenciais equivalentes, para os quais as leis de Newton se aplicam diretamente, sem precisar levar em conta forças “fictícias de inércia”, e todos os outros referenciais “não-inerciais”, para os quais elas não se aplicam.

Se as leituras associadas à dimensão representativa procuravam pensar (e representar) separadamente as duas possibilidades associadas à lei da inércia – “permanência em repouso” e “permanência em movimento uniforme” – esse aspecto que procuramos discutir, associado à sua dimensão significativa, ao contrário, estabelece a identificação dessas duas possibilidades: o repouso é “equivalente” ao movimento retilíneo uniforme, no sentido em que um não pode ser distinguido do outro de maneira objetiva e no sentido em que eles, conjuntamente, se distinguem objetivamente de todas as outras possibilidades de movimento. Nesse contexto a

reunião, na figura 3.6, do movimento turbulento do carro (acionado por um motor, sobre rodas que giram e perfurando o ar que lhe resiste) e do aparente repouso do pêndulo (que não parece se movimentar com relação a nada com que esteja em contato imediato) contribui para trazer à tona esse aspecto significativo.

Vale a pena ressaltar que, embora a figura 3.6 não contenha evidentemente, de forma explícita, todos os elementos aqui evocados, é o fato de ela mobilizar, com um certo nível de elaboração, elementos de uma linguagem gráfica dotada de certas regras, de certa estrutura simbólica, que nos permite desenvolver uma interpretação que aponte para a dimensão significativa da lei da inércia. Não seria possível desenvolver uma interpretação dessa natureza, por exemplo, a propósito da figura 3.8, embora essa imagem faça alusão ao mesmo tipo de situação física. É o fato de a primeira figura, elaborada pelo estudante, lançar mão de certos elementos de uma linguagem gráfica que nos permite, por analogias de estrutura, desenvolver interpretações a propósito da dimensão significativa de um enunciado científico.

Figura 3.8

3.3 Ciência e arte em ruptura com o senso comum

“Nada é fixo para aquele que alternadamente pensa e sonha...” (BACHELARD, 1997, p. 95).

Tratamos, na seção anterior, das distintas funções simbólicas e procuramos reconhecer que o simbolismo da ciência pode ser decomposto em diversos aspectos associados às suas dimensões expressiva, representativa e significativa. O mesmo tipo de “decomposição espectral” poderia, acredito, ser pensado a propósito de uma expressão artística. Deve-se reconhecer, entretanto, que os pesos relativos associados a cada uma dessas dimensões seriam bastante diferentes a propósito de uma expressão artística ou de um enunciado científico. Por estar mais fortemente vinculada à experiência *presente* de um sujeito, a expressão artística deve possuir uma componente expressiva mais intensa, enquanto que um enunciado científico, estando bastante preocupado com a organização objetiva do pensamento em um *sistema* simbólico, deve possuir uma maior componente significativa. Isso não significa, é importante enfatizar, que uma expressão artística não envolva o trabalho com complexos sistemas simbólicos ou que um enunciado científico não esteja associado, também, a sentimentos e emoções vinculados diretamente ao “rosto” com que ele se expressa. Não faz nenhum sentido pensar em diferenças entre ciência e arte através de alguma escala evolutiva em que uma ou outra fosse considerada mais elaborada ou mais aprofundada do que a outra. Mas a *direção* de aprofundamento da experiência operada por cada empreendimento é seguramente distinta.

Como formas sofisticadas de percepção e compreensão do mundo, ciência e arte têm em comum esse esforço de aprofundamento, de refinamento da experiência humana. Nesse sentido, distanciam-se ambas, ainda que por direções diversas, das formas de percepção e pensamento usuais, calcadas em convenções sociais estabelecidas. O filósofo Gaston Bachelard parece-me uma referência das mais significativas para refletir a respeito dessas diferentes direções através das quais ciência e arte se colocam em ruptura com o senso comum e constituem, de certa forma, realidades novas, não antevistas. Este autor escreveu uma vasta bibliografia tanto a propósito da apreensão poética quanto científico-racional do mundo. Apesar de, em muitos aspectos, ele colocar essas duas atividades em estreita oposição, elas encontram, em seu pensamento, uma unidade através da noção de *dinamismo*, tornando-se formas complementares, mais do que de reprodução ou tradução, de criação de realidades (FELICIO, 1994, p. 36). Discutiremos separadamente, a seguir, algumas de suas concepções a respeito dessas duas formas de dinamismo.

3.3.1 Um *perfil epistemológico* associado ao pensamento científico

Assim como Cassirer, Bachelard enxerga a construção do pensamento científico como um processo em que formas cada vez mais abstratas de pensamento vão tomando o lugar daquelas mais intuitivas e concretas. “Qualquer que seja o problema particular, o sentido da evolução epistemológica é claro e constante: a evolução de um conhecimento particular caminha no sentido de uma coerência racional” (BACHELARD, 1974b, p. 170). Porém, ao contrário de Cassirer, Bachelard ressalta, nesse processo, especialmente a *ruptura* envolvida em cada etapa. Ruptura, entretanto, que não impede uma coexistência, no *perfil epistemológico* de cada sujeito, de distintas e contraditórias concepções.

A noção de *perfil epistemológico* permite realizar a propósito de um conceito científico e de um sujeito particular, uma espécie de *decomposição espectral* que mostre o peso relativo que o sujeito atribui, em sua compreensão daquele conceito, a distintos compromissos epistemológicos. Bachelard organiza esse perfil em cinco categorias distintas, associadas a cinco distintas atitudes filosóficas, ordenadas em uma escala evolutiva que vai em direção a concepções cada vez mais abstratas, em que o racionalismo adquire proeminência cada vez maior: o ponto de partida é um “*realismo ingênuo*”, seguido pelo “*empirismo claro e positivista*”, pelo “*racionalismo clássico*”, associado à mecânica racional, pelo “*racionalismo completo*”, associado à teoria da relatividade e finalmente pelo “*racionalismo discursivo*”, associado à construção da mecânica quântica. Pode-se construir um perfil epistemológico através da análise da importância relativa que o sujeito atribui, a propósito do conceito em questão, a cada uma dessas cinco atitudes filosóficas.

Assim como procuramos fazer a propósito das funções simbólicas, essa decomposição mostra que a compreensão de um conceito não é monolítica, mas plural. Acredito que a principal diferença com relação à discussão que realizamos a propósito de Cassirer seja o fato de que aqui a preocupação central não se refere à função realizada pelo simbolismo, mas aos compromissos filosóficos do sujeito em sua relação com o conhecimento sobre o mundo.

Cada diferente compromisso epistemológico pode servir, em um momento, como elemento potencializador do desenvolvimento do pensamento científico, mas, no momento seguinte, como obstáculo - um *obstáculo epistemológico* - a este mesmo desenvolvimento. Essa ambiguidade de papéis exercida pelas convicções epistemológicas é responsável pela dialética associada ao progresso científico: “só existe um meio de fazer avançar a ciência; é o de atacar a ciência já constituída, ou seja, mudar a sua constituição” (BACHELARD, 1974b, p. 177). A razão se faz polêmica.

As concepções de perfil e obstáculo epistemológicos têm propiciado, na pesquisa em ensino de ciências, um maior aprofundamento filosófico a reflexões a respeito das chamadas *concepções alternativas* que estudantes, mesmo após o desenvolvimento de sua educação formal e apesar de seu eventual sucesso na resolução de exercícios mais técnicos, seguem sustentando (MARTINS, 2006; LOPES, 1993). Já me referi a uma outra linha de reflexão a propósito da mesma questão, através de uma abordagem *hermenêutica*, na qual focaliza-se o caminho que percorremos para construir interpretações de uma estrutura simbólica complexa, como aquela associada ao pensamento científico. Por esta linha de reflexão, as concepções alternativas são reconhecidas como parte necessária de um processo ativo de construção de significados (EGER, 1992). As concepções de Bachelard contribuem para reconhecer uma outra dimensão desta questão, pela qual podemos identificar, por trás dos “equívocos” de alunos, distintos pressupostos epistemológicos, que já foram assumidos inclusive pela ciência de momentos históricos anteriores. Não se trata apenas de uma questão de construção de interpretações, mas também de uma contraposição entre distintas convicções filosóficas, distintas visões de mundo. Em comum, as duas abordagens aqui citadas possuem o mérito de demonstrar o caráter construtivo desses equívocos, intrínseco à própria dinâmica de uma aprendizagem significativa da ciência.

A possibilidade de reconhecimento do fundamento filosófico de cada uma de nossas convicções parece uma contribuição importante dessa abordagem bachelardiana. Esse simples reconhecimento não leva necessariamente ao descarte, ao abandono de convicções “erradas” em favor daquelas que são “certas”, mas permite a constituição de uma certa ordenação, de uma delimitação de contextos em que as distintas formas de pensar fazem mais sentido. Para Bachelard, o *espírito científico* deve ser constantemente *psicanalisado*, reconhecendo assim as contradições que demonstram como um conhecimento supostamente objetivo é ainda carregado

Figura 3.9: Contribuição livre de estudante, associada ao contexto da discussão sobre distintos referenciais para um mesmo movimento.

de projeções do sujeito. Como afirma a educadora Alice Lopes:

“É importante ressaltar que a psicanálise do conhecimento nunca é definitiva, chegando-se ao ponto de haver superação total dos obstáculos epistemológicos. Exatamente por serem intrínsecos ao conhecimento, os obstáculos estão sempre presentes, exigindo o constante trabalho de superá-los. Como afirma Bachelard, mesmo na aplicação do racionalismo a um problema novo, manifestam-se antigos obstáculos à cultura, nunca totalmente superados. Advém daí a importância da historicização do ensino de ciências. Com o intuito de se fazer o ensino dos problemas científicos, e não dos resultados científicos, é importante apresentar a história do progresso do conhecimento, nada se assemelhando aos meros preâmbulos históricos atualmente apresentados nos livros didáticos” (LOPES, 1993, p. 326-7).

A coexistência de distintos e contraditórios pressupostos epistemológicos em um mesmo sujeito pode ser, do meu ponto de vista, ricamente exemplificada pelas duas contribuições, discutidas a seguir, de estudantes à disciplina *Oficina de Projetos*. Na figura 3.9, vemos uma divertida reflexão a propósito da equivalência entre referenciais inerciais. Na parte de cima da figura, vemos um carro aproximando-se de uma árvore. Na sua parte de baixo, como se fosse uma espécie de imagem refletida ou “um outro lado da moeda”, vemos o movimento a partir do referencial do carro, e a árvore se aproxima do carro. O que torna a imagem interessante – e remete-nos a um universo fantástico – é que a árvore, deste último ponto de vista, movimenta-se por “suas próprias pernas”. O absurdo da situação é valorizado positivamente através da sentença: “Ver as mesmas coisas com outros olhos pode tornar o mundo completamente diferente”.

É interessante notar a maneira como essa imagem joga com duas concepções contraditórias a respeito da natureza do movimento, o que remete, em última instância, a distintos compromissos epistemológicos. A primeira concepção subjacente associa-se a uma reflexão a respeito

do movimento fundamentada na *experiência humana de mover-se e de mover objetos* que, por isso, reconhece que não há movimento sem esforço. Todo movimento deriva de uma ação anterior, seja ela realizada pelo próprio corpo que se move ou por um outro, que o move. Uma concepção dessa natureza é sistematizada, no contexto de um sistema de pensamento bastante refinado, por Aristóteles:

“Ou o movente não é responsável pelo movimento, que deve ser referido a alguma outra coisa que move o movente, ou o movente é, ele mesmo, responsável pelo movimento. (...) Por exemplo, a vara move a pedra e é movida pela mão, que, de novo, é movida pelo homem: no homem, porém, nós chegamos a um movente que não é movente por ser movido por alguma outra coisa. (...) Se tudo que está em movimento é movido por alguma coisa, e o primeiro movente não é movido por nenhum outro, então ele deve ser movido por si mesmo” (ARISTÓTELES, 1962, p. 256^a).

A partir desses pressupostos, supor uma descrição em que a árvore se aproxima do carro é evidentemente absurdo, uma vez que a causa do movimento (o motor) está no carro e não na árvore. Esse tipo de proposição só deixará de ser absurdo a partir de um outro pressuposto epistemológico, que abandonará a exigência, para todo movimento, de um movente, passando a considerar essa hipótese uma generalização “ingênua” e equivocada da experiência subjetiva de mover-se com o próprio corpo. Ao invés de adotar a experiência de mover-se com o próprio corpo como ponto de partida para a reflexão, a nova atitude epistemológica partirá da experiência de *observar* um movimento externo, a partir de um determinado ponto de vista, que poderá ser comparado com outros pontos de vista. É assim que, na citação a seguir de Galileu, não nos colocamos na posição de quem movimenta a pedra, mas daquele que observa o seu movimento ora de um, ora de outro ponto de vista:

“[Salviati] (...) Percebeis, portanto, o repouso daquela pedra, enquanto sem mover em nada os olhos a vedes sempre em frente, e percebeis que ela se move, quando para não a perder de vista, é necessário mover o órgão da visão, ou seja, o olho. Portanto, toda vez que, sem mover o olho, vísseis continuamente um objeto no mesmo aspecto, sempre o julgaríeis imóvel. (...) Imaginai agora estar num navio e ter fixado o olho na ponta do mastro: acreditais que, porque o navio se movesse também velocissimamente, ser-vos-ia necessário mover o olho para manter a vista sempre na ponta do mastro e seguir o seu movimento?” (GALILEI, 2004, p. 331).

Com essa nova atitude, o princípio da inércia permitirá admitir a existência de movimentos sem necessidade de uma causa movente. E também, de forma recíproca, a possibilidade de existência do repouso apesar do esforço de mover-se. Como neste poema, escrito por outro estudante, como contribuição livre ao *blog* da disciplina *Oficina de Projetos*:

Figura 3.10: Cena do espetáculo francês *Tournant autour de Galilée* de Jean-François Peyret (2008).

“LÁ ESTÁ ELA
 Caminhar é preciso!!
 Preciso caminhar
 mais, mais....
 preciso caminhar
 em direção ao por do sol...
 em velocidade constante
 preciso caminhar
 não posso parar
 EU PRECISO CAMINHAR PRA ME MANTER FIXO NESSE MESMO LU-
 GAR.....
 ‘OLHANDO AQUELA ESTRELA’”

Esses dois exemplos parecem-me interessantes por demonstrarem, por um lado, a dimensão de conflito entre distintos posicionamentos epistemológicos, a necessidade de ruptura com uma certa forma de relacionar-se com os fenômenos, necessidade de reconhecê-la como excessivamente ingênua, de submeter a experiência subjetiva de movimento a uma crítica racional. Por outro lado, eles mostram também como essas formas supostamente mais ingênuas de se relacionar com os fenômenos não são completamente abandonadas, mas, ao contrário, permanecem dominantes (no mínimo) em nossa experiência cotidiana dos fenômenos. E esses pressupostos epistemológicos contraditórios não apenas coexistem no sujeito, como também se inter-relacionam, de maneira que é possível, como ocorre nessas contribuições, jogar com as suas contradições e extrair desse jogo alguma poesia, algum indício que nos faça reconhecer a beleza de ver as mesmas coisas com outros olhos ou de caminhar para se manter fixo no mesmo lugar. É prazeroso apreciar essas contradições. Minha percepção mais imediata e “ingênua” do espaço não é necessariamente dogmática e não apenas sabe que às vezes se engana como também se diverte com o espanto que esses enganos lhe causam. Da mesma forma que me espanto e me divirto imaginando a árvore correndo para sair do lugar e uma pessoa correndo na Terra sem sair do lugar, tal como um hamster faz em sua rodinha na gaiola, também me espanto e me

divirto imaginando uma pessoa se equilibrando para não cair de uma Terra esférica que gira, como ocorre na figura 3.10.

Breve exploração das componentes de um perfil epistemológico. Como mencionamos, Bachelard organiza o perfil epistemológico em cinco categorias distintas, ordenadas em uma escala evolutiva: do “*realismo ingênuo*”, ao “*empirismo claro e positivista*”, ao “*racionalismo clássico*”, ao “*racionalismo completo*”, chegando ao “*racionalismo discursivo*”. Façamos uma rápida reflexão a respeito de cada uma dessas categorias e das rupturas envolvidas nas passagens de uma a outra, procurando, para isso, “decompor” nessas cinco categorias o conceito de massa, um exemplo que é fornecido pelo próprio autor (BACHELARD, 1974b).

Ao localizar no “realismo ingênuo” a origem do desenvolvimento científico de um conceito, Bachelard rejeita uma concepção positivista que define o ponto de partida sempre em uma medida. Ao contrário, para ele, “a ciência se forma antes sobre um devaneio [rêverie] do que sobre uma experiência” (apud FELICIO, 1994, p. 23). Dessa forma, as concepções provenientes desse estágio estão repletas de intensidades, valores e potências anímicas. Reconhecemos aqui uma aproximação com o pensamento de Cassirer, que encontra, na experiência associada à *função expressiva*, não um mundo de objetos, ou de estímulos elementares, mas sim um mundo ora protetor, ora ameaçador, no qual se constitui a polaridade “*eu-tu*”, antes da possibilidade de reconhecimento e representação do “*isto*”.

A propósito do conceito de massa, por exemplo, esse nível de compreensão a associa ao desejo de comer, à valorização do que é grande. Nesse nível, tudo o que tem massa é grande. Não faz sentido falar de uma massa pequena. Não é difícil encontrar, em nossa linguagem, registros dessa forma de pensamento: pensemos por exemplo no adjetivo “massivo”. Fará sentido falar de uma “formiga massiva”?

A primeira contradição que surge a propósito dessa concepção ingênua se dá entre o grande e o pesado, fundando também um primeiro conhecimento. A necessidade de considerar a existência de objetos pequenos e “massivos” inaugura então uma perspectiva de intensidades, associando “massa” a uma riqueza profunda, íntima, a uma concentração de valores (BACHELARD, 1974b, p. 171). Permanece-se ainda, de qualquer forma, sob a perspectiva do realismo ingênuo. A massa segue associada a um valor, segue sendo valorizada e não quantificada.

O conhecimento científico funda-se no progressivo reconhecimento de contradições, que demonstram como um conhecimento supostamente objetivo é ainda carregado de projeções do sujeito, e na eliminação destes elementos, que acabam se constituindo como *obstáculos epistemológicos*. É aqui que reconhecemos a necessidade de o *espírito científico* ser constantemente

psicanalisado. O primeiro obstáculo a ser combatido é aquele relativo à experiência primeira, ao domínio da opinião. Este combate se dá por uma inversão: o espírito científico nega a preexistência dos dados para afirmar a preexistência dos problemas (FELICIO, 1994, p. 18). É o envolvimento com o problema que dá origem aos dados e não o contrário.

A consonância com o pensamento de Cassirer se dá na medida em que este também vê, na ciência, um método de eliminação de características subjetivas na descrição de seus objetos. O autor encontrará apoio para essa concepção inclusive em Planck, que notou que é característico da evolução da física teórica a progressiva emancipação de elementos antropomórficos, tendo como objetivo a maior separação possível do sistema da física com relação à personalidade individual do físico (CASSIRER, 1953b, p. 445).

A postura associada ao “empirismo claro e positivista” valoriza, acima de tudo, a medida e conquista, através dela, uma determinação objetiva e precisa. No caso do conceito de massa, trata-se da conduta da balança: pensar é pesar e pesar é pensar. Por essa conduta, o instrumento de medida precede a teoria, é dado a priori, imediato, simples e não problemático. Mesmo que o instrumento seja complexo, ele é apreendido em sua simplicidade: para cada corpo, ele fornece de forma unívoca um número que quantifica a sua massa. Essa postura é evidente atualmente na infinidade de máquinas extremamente complexas que, entretanto, permitem um uso bastante simples (BACHELARD, 1974b, p. 173). Lembro-me, por exemplo, da impressão que me causou ver operar um contador Geiger: não podia mais haver dúvidas da existência do fóton, o seu número estava sendo contado bem ali na minha frente! Essa confiança incondicional no aparelho de medida fornece um ponto de apoio que dá segurança ao realista. Estamos, aqui, no domínio em que a existência e representação dos objetos do mundo é assumida como não-problemática, um domínio em que o simbolismo parece exercer a *função representativa* a que Cassirer faz referência.

Já sob a perspectiva do “racionalismo clássico”, uma noção adquire sentido a partir de sua *correlação* com outras noções. Tal como Cassirer afirmou, a propósito de sua *função significativa*, do ponto de vista do racionalismo clássico, conceber é o mesmo que correlacionar. A propósito do conceito de massa, a física Newtoniana demarca com clareza essa atitude. Nesse caso, é a teoria que irá esclarecer o resultado oferecido pela balança: esta balança particular mede a massa inercial, a massa gravitacional ou a força de interação gravitacional? Cada uma dessas noções adquire sentido por sua correlação com as demais: “Força, aceleração, massa estabelecem-se correlativamente numa relação claramente racional dado que esta relação é perfeitamente analisada pelas leis racionais da aritmética” (BACHELARD, 1974b, p. 174). O ponto de apoio que dá segurança ao realista deixa de ser o aparelho e passa a associar-se à confiança nas leis. Essa confiança atinge um grau tão elevado que espaço, tempo e massa

constituem-se como elementos simples e separados, capazes de fornecer um sistema de unidades (mks, cgs) que permite medir tudo (BACHELARD, 1974b, p. 175).

É justamente essa confiança na simplicidade e atonicidade das noções de base que o “racionalismo completo” irá abalar. Assim, com a teoria da relatividade, a noção de massa, sem perder seu caráter de noção de base, passará a apresentar uma complexidade “interior”. Já aludimos a essa complexidade da noção de massa ao comentar o tema da variabilidade das construções simbólicas, na concepção de Cassirer (seção 3.2.1 na página 124). É interessante que Bachelard rejeita a solução, frequentemente defendida, de, para atribuir à massa um caráter simples, intrínseco e invariável, adotar, como referência fundamental, a massa de repouso de um objeto: “pensar-se-á em vão poder definir uma massa em repouso, que constituiria uma característica própria desse objeto. O repouso absoluto não tem significado. Também é falha de significado a noção de massa absoluta” (BACHELARD, 1974b, p. 176). Nesse contexto, a posição do realista torna-se mais difícil: os elementos básicos que deveriam compor o real apresentam uma complexidade e uma variabilidade tal que ameaça os seus estatutos de realidade dada.

Um passo adiante nessa direção é dado sob a perspectiva do “ultra-racionalismo”, ou “racionalismo discursivo”: nesse caso, segundo Bachelard, “a realização leva a melhor sobre a realidade” (BACHELARD, 1974b, p. 179). É nesse contexto que o desenvolvimento altamente matematizado da teoria leva à criação de realidades antes completamente não suspeitadas e até mesmo absurdas. São muitos os exemplos que podemos citar: desde novas grandezas características dos objetos físicos, como o spin, até novos objetos, novas formas de matéria (o que quer que signifique a palavra matéria aqui), como anti-partículas, massa escura, energia escura, etc, etc. E essa “realização” não possui apenas uma dimensão teórica ou simbólica: os sofisticados aparatos experimentais criados adquirem, para Bachelard, a conotação de “teoria materializada”, permitindo a detecção e medida de objetos e grandezas que surgiram do desenvolvimento teórico da ciência, mas que passam, dessa forma, a adquirir realidade. Aberto, nesse nível de abstração, o pensamento científico é capaz de sonhar:

“Queríamos com efeito dar a impressão de que é nesta região do ultra-racionalismo dialético que *sonha* o espírito científico. É aqui, e não algures, que nasce o sonho anagógico, aquele que se aventura pensando, que pensa aventurando-se, que procura uma iluminação do pensamento através do pensamento, que encontra uma intuição súbita no além do pensamento instruído. O sonho ordinário trabalha no outro polo, na região da psicologia das profundidades, de acordo com as seduições da *libido*, as tentações do íntimo, as certezas vitais do realismo, a alegria da posse. Não se poderá conhecer bem a psicologia do espírito científico enquanto não se tiver distinguido estas duas espécies de sonho. (...) Em suma, a arte poética da Física faz-se com números, com grupos, com spins, excluindo as distribuições monótonas, os quanta repetidos, sem nunca fixar aquilo que funciona. Qual o poeta que virá cantar este pan-pitagorismo,

esta aritmética sintética que começa por dar a todo o ser os seus quatro quanta, o seu número de quatro algarismos, como se o mais simples, o mais pobre, o mais abstrato dos elétrons tivesse já necessariamente mais de mil caras” (BACHELARD, 1974b, p. 180-1).

Esse “sonho anagógico”, entretanto, diferentemente do sonho comum, não se apoia em imagens. Ao contrário, estas representam obstáculos à precisão da construção matemática da racionalidade científica que, por isso, deve combatê-las:

“Uma ciência que aceita imagens é, mais que qualquer outra, vítima das metáforas. Por isso, o espírito científico deve lutar sempre contra as imagens, contra as analogias, contra as metáforas” (BACHELARD, 2008, p. 48).

Construído pela sucessão de críticas às imagens propostas, o sonho anagógico corresponde à criação de uma não-imagem:

“Diríamos de bom grado que o átomo é exatamente a *soma das críticas* a que se submete a sua imagem primeira. O conhecimento coerente é um produto, não da razão arquetônica, mas sim da razão polêmica. (...) O ultra-objeto é o resultado de uma objetivação crítica, de uma objetividade que apenas retém do objeto aquilo que criticou. Tal como surge na microfísica contemporânea, o átomo é o tipo perfeito do ultra-objeto. Nas suas relações com as imagens, o ultra-objeto é muito exatamente a não-imagem. As intuições são muito úteis: servem para ser destruídas” (BACHELARD, 1974b, p. 242).

Frente a qualquer conceito, nenhum indivíduo, para Bachelard, apresenta uma única atitude filosófica. Coexistirão no sujeito, com intensidades diversas, as distintas atitudes apontadas. O perfil epistemológico constitui-se, dessa forma, como uma espécie de espectro de atitudes filosóficas, decompondo o pensamento de um sujeito com relação a um conceito em suas cinco componentes, cada uma com uma intensidade relativa diferente. É nesse sentido que Bachelard propõe uma *filosofia dispersa*: as distintas teses filosóficas, embora ordenadas em estágios, não se excluem mutuamente, mas podem coexistir em uma espécie de oposição complementar. Bachelard não valoriza unicamente o nível mais abstrato do pensamento. Ao contrário, como veremos a seguir, o estágio mais “primitivo” será igualmente valorizado e sua capacidade de sonhar (movido pelas *seduções da libido*) será considerada também em sua dimensão criadora, original e em *ruptura* com a realidade gasta das convenções sociais.

Como já explicitamos, o desenvolvimento do pensamento científico se dá, para Bachelard, sempre em ruptura com o conhecimento e a ciência estabelecidos. Em especial, a passagem entre as distintas fases “racionalistas” se dá também por meio de rupturas. Embora a prioridade da construção teórica racional, frente a uma suposta experiência “dada”, esteja consumada desde o estágio apelidado de “racionalismo clássico”, a crescente liberdade que a racionalidade se permite com relação a um real intuitivo e desproblematizado envolve, para o autor, um rompimento

com a aparente simplicidade das noções de base do racionalismo clássico. Esse *novo espírito científico* dá ao pensamento racional um dinamismo próprio, de forma que ele não depende apenas do confronto com algum resultado empírico para reformular-se, mas pode encontrar em seu próprio interior as forças que o põem em movimento. Ao mesmo tempo, a orientação do *vetor epistemológico* se define claramente do *racional para o real*, permitindo a “materialização” de teorias, em uma *fenomenotécnica*, através de um complexo aparato experimental que não restringe o pensamento científico a um olhar contemplativo e distanciado, mas o consolida em sua dimensão interventora, construtiva, criadora de realidades.

3.3.2 Imaginação criadora

Nessa dimensão de abertura, nessa compreensão do dinamismo do pensamento, encontramos o elo comum que dá unidade à racionalidade científica e aos devaneios da imaginação criadora. Bachelard toma o cuidado de distinguir aquilo que chama de imaginação criadora da mera imaginação reprodutora:

“A imagem percebida e a imagem criada são duas instâncias psíquicas muito diversas e seria necessária uma palavra especial para designar a *imagem imaginada*. Tudo que é dito nos manuais sobre a imaginação reprodutora deve ser creditado à percepção e à memória. A imaginação criadora tem funções completamente diversas da imaginação reprodutora. A ela pertence essa *função do irreal* que é psiquicamente tão útil quanto a função do real, evocada com tanta frequência pelos psicólogos para caracterizar a adaptação de um espírito à realidade etiquetada por valores sociais” (BACHELARD, apud PESSANHA, 1985, p. xxii) .

Movida pelas seduições da libido, mas não determinada por elas, a imaginação funda-se sobre as necessidades humanas mais primitivas, sem reduzir-se a elas. Se o sonho científico radica-se, para Bachelard, no domínio mais abstrato do ultra-racionalismo, o devaneio localiza-se na região mais primitiva de uma materialidade anímica, orgânica.

Enquanto os distintos posicionamentos associados ao pensamento científico-racional podem ser categorizados em um perfil epistemológico, permitindo divisar um processo evolutivo (não linear) associado à *formação do espírito científico*, em contraposição, não é possível, devido à própria natureza do fenômeno, estabelecer uma organização sistemática de mesmo tipo para o devaneio, a imaginação criadora. “A filosofia da poesia deve reconhecer que o ato poético não tem passado – pelo menos não um passado no decorrer do qual pudéssemos seguir a sua preparação e o seu advento” (BACHELARD, 1974a, p. 341). É como se essas atividades se localizassem “*abaixo*” da primeira categoria associada ao pensamento científico, sob o *realismo ingênuo*. Nesse “sub-solo” todo um novo universo se revela. Nele, a *função expressiva*

dos símbolos demonstra plenamente sua potência. Em seu livro *A poética do espaço*, ao refletir a respeito da imagem da casa, associando-a ao “abrigo para o devaneio”, ao lugar onde podemos sonhar em paz, Bachelard distingue os devaneios associados ao sótão daqueles associados ao porão. Parece-me que essa organização vertical da imaginação e a contraposição entre esses dois polos ilustram, metaforicamente, a distinção entre a criação racional, científica e a imaginação poética profunda:

“Os andares mais altos, o sótão, o sonhador os ‘edifica’, e os edifica bem edificadas. Com os sonhos na altitude clara estamos, repitamo-lo, na zona racional dos projetos intelectualizados. Mas o habitante apaixonado aprofunda o porão cada vez mais, tornando-lhe ativa a profundidade. O fato não basta, o devaneio trabalha. Ao lado da terra cavada, os sonhos não têm limite. Revelaremos em seguida devaneios de além-porão” (BACHELARD, 1974a, p. 367).

O caráter aberto da imaginação criadora se verifica porque, de forma semelhante ao que ocorre com a racionalidade científica, a imaginação vai ao real ao invés de partir dele (FELICIO, 1994, p. 50). Se, no pensamento científico, a perspectiva de realização racional impõe um *vetor epistemológico* que aponta do racional para o real, na imaginação criadora, igualmente pode-se falar de um *vetor imaginário* que se orienta “para o mundo em que a imaginação compõe sínteses” (FELICIO, 1994, p. 52).

A ruptura que a imaginação opera com relação ao senso comum demanda, assim como ocorre a propósito do pensamento científico, uma educação da imaginação criadora, para que esta possa romper com imagens estagnadas por convenções sociais ou por racionalizações. Essa educação se dá, para Bachelard, através da meditação de uma matéria: “o postulado de materialidade da imagem, que estabelece uma relação matéria-imaginação, tem dois aspectos: de um lado a matéria educa a imaginação; de outro, a imaginação tem, por conseguinte, uma matéria” (FELICIO, 1994, p. 46).

É necessário aqui tomar um cuidado porque as palavras que são utilizadas no contexto científico e no contexto poético possuem, em cada um deles, sentidos muito distintos, embora não desconexos. A palavra “matéria”, da perspectiva da imaginação material, adquire conotações bastante diferentes daquelas que lhe atribui a racionalidade científica. Seus “elementos” constituintes estarão associados não a partículas elementares, mas sim aos quatro elementos – terra, água, ar e fogo – presentes nas cosmologias antigas, assim como na alquimia medieval. A meditação sobre a matéria associa-se assim a distintas *forças*, distintos *temperamentos* e atitudes. Embora favoreça um elemento “preferido”, a imaginação material gosta de brincar com suas combinações, como por exemplo: o casamento da água e do fogo no álcool, da terra e da água na massa, etc (FELICIO, 1994, p. 47). A mesma observação se aplica à noção de espaço. Diferentemente do espaço neutro e isotrópico da racionalidade científica, o espaço imaginado

transforma-se em *lugar habitado* e permite múltiplos matizes emocionais: casa, concha, ninho, cofre, gaveta servem como morada para os afetos, como fontes para a criação poética (PESSANHA, 1988, p. 156). E quando a imaginação vai ao mundo microscópico, chega novamente a um mundo habitado, da miniatura, plena de delicados afetos, de centros de vida e de fogo (BACHELARD, 1974a, p. 454).

A noção de *imaginação material* é relevante ao opor-se à *imaginação formal*. Esta última, característica de uma tradição de pensamento racional, associa-se ao império da visão e, com ele, a uma relação essencialmente contemplativa com o mundo. Mesmo no domínio científico, Bachelard rejeita o domínio dessa tradição ao reconhecer a existência de uma *fenomenotécnica* que não se contenta com a visão panorâmica, mas busca os detalhes e não se contenta com a contemplação, mas cria seus próprios objetos, constrói os fenômenos científicos em todas as suas peças. Ao invés de uma relação espectador-espetáculo, a imaginação material constituir-se-á a partir de uma relação corpo a corpo, do corpo operante com o corpo do mundo¹² (PESSANHA, 1988, p. 154). Nesse sentido, o dualismo contemplativo sujeito-objeto é substituído pelo “dualismo energético” matéria-mão (PESSANHA, 1988, p. 158).

Em *A terra e os devaneios da vontade*, Bachelard explora as ambivalências criadas a partir da imaginação de matérias duras e matérias moles. É interessante refletir quão complexa seria a exploração racional-científica de características tão aparentemente imediatas como o “duro” e o “mole”. Do ponto de vista da “mão imaginante”, entretanto, elas adquirem uma conotação elementar, correspondem a uma dialética de base:

“Mas na ordem da matéria o sim e o não se dizem *mole* e *duro*. Não há imagens da matéria sem essa dialética de convite e de exclusão, dialética que a imaginação *transporta* a inúmeras metáforas, dialética que às vezes se inverte sob a ação de curiosas ambivalências até definir, por exemplo, uma hostilidade hipócrita da moleza ou um convite provocador da dureza” (BACHELARD, 2001, p. 16).

Por que o sim se diz mole? Porque a matéria aqui não representa um objeto inerte, disponível para contemplação e análise, mas uma entidade dinâmica, que se deixa ou não penetrar. Essa matéria, entretanto, não diz apenas sim ou não. Provida de um interior, de uma profundidade, se nega à simplicidade e, ao dizer não, ela pode provocar, desafiar:

“Considerar a dureza como um mero motivo de uma exclusão, em seu primeiro *não*, é sonhá-la em sua forma exterior, em sua forma intangível. Para um sonhador da dureza íntima, o granito é um tipo de provocação, sua dureza ofende, uma vingança que não se vingará sem armas, sem ferramentas, sem

¹²É interessante comparar essas premissas com a descrição, por Cassirer, do “fenômeno expressivo”, que constitui a relação “eu-tu”, como anterior à relação “eu-isto” (seção 3.2.2 na página 128).

os meios da astúcia humana. Não se trata o granito com uma cólera infantil. Será preciso esfriá-lo ou poli-lo, nova dialética em que a dinamologia do *contra* encontrará a oportunidade de múltiplos matizes” (BACHELARD, 2001, p. 18).

Assim como as imagens representam um obstáculo à criação matematizada da racionalidade científica, da mesma forma, a racionalização será um obstáculo à imaginação criadora. Por exemplo, uma “massa”, “constituída” pela combinação ambivalente, às vezes conflituosa, dos elementos terra e água, pode produzir consistências de muitos tipos, algumas vezes “moles demais”, outras “duras demais”. Bachelard escreve a respeito da consistência ótima, “ideal”, a “massa perfeita” que se coloca frente à “mão imaginante” assim como o “sólido perfeito” se coloca frente aos olhos do geômetra. Uma espécie de massa em si, de barro primitivo, capaz de receber e conservar a forma de qualquer coisa. E então surge o perigo:

“Tal imagem material tão simples, tão intensa, tão vivaz é naturalmente espreitada pelo conceito. É este o destino de todas as imagens fundamentais. E o conceito de uma massa que se *deforma* sob os nossos olhos é tão claro e tão geral que torna inútil a participação na imagem dinâmica primitiva. As imagens visuais recuperam então sua primazia. O olho – esse inspetor – vem nos impedir de trabalhar” (BACHELARD, 2001, p. 65).

Sonho anagógico e devaneio poético. Das poucas observações que tecemos até aqui, podemos notar que, embora ocupando polos opostos, o sonho anagógico, científico e o devaneio poético compartilham características comuns e não são independentes mas estabelecem um com o outro uma relação dialética que lhes confere dinamismo. Procuro sistematizar na figura 3.11 a forma como compreendo essas relações.

Tomando, nessa figura, o caminho “da esquerda para à direita”, que parte do terreno da imaginação criadora em direção à criação científico-racional, vemos a referência aos obstáculos epistemológicos que derivam de uma adesão direta e imediata a imagens e metáforas, que carregam consigo uma série de projeções do sujeito. O progresso da racionalidade científica se coloca em ruptura com essas imagens, demandando uma constante psicanálise do espírito científico. Isso não significa, entretanto, que as imagens sejam inúteis ou puramente nocivas à dinâmica da racionalidade científica. Sem elas, como seria possível empreender a crítica que põe o pensamento científico em movimento? Quando Bachelard afirma que “as intuições são muito úteis, servem para ser destruídas”, acredito que devemos levar muito à sério essa sua utilidade. Na epistemologia dialética de Bachelard, precisamos reconhecer o papel produtivo, construtivo dos obstáculos. Se um ultra-objeto, como o átomo moderno, é concebido como

Figura 3.11

uma não-imagem, como a soma de todas as críticas a que foram submetidas as imagens propostas para representá-lo, devemos reconhecer que sem a proposição dessas imagens – por mais “ingênuas” que sejam – esse ultra-objeto jamais seria constituído.

Pensando agora no caminho reverso que, de acordo com a figura 3.11, vai da racionalidade à imaginação criadora, reconhecemos que o pensamento racional também se coloca como um obstáculo à imaginação criadora: sua indevida ingerência em um processo criativo é denominada uma *racionalização*. A ação inibidora da racionalização parece associar-se justamente a um bloqueio da participação imediata do sujeito na imagem, à imposição de um olhar distanciado, preocupado com a atribuição de uma significação bem definida a cada imagem. Essa hegemonia de uma compreensão racional é metaforicamente comparada ao predomínio do sentido da visão (um “olho inspetor”) com relação aos demais sentidos, sentidos estes que engendram uma participação não-distanciada, um envolvimento do sujeito em seu objeto de percepção, ou melhor, da mão na matéria com que trabalha.

Nesse caso, não podemos nos referir, da forma como fizemos com relação aos obstáculos epistemológicos, ao papel *construtivo* dos obstáculos – “racionalizantes” – à imaginação criadora. Isso porque os produtos da imaginação não possuem, para Bachelard, o mesmo tipo de organização arquitetônica que aqueles da racionalidade científica, não se edificam em uma sólida construção, mas se aprofundam em uma região nunca bem conhecida, nunca bem esclarecida. Cada imagem poética solicita a quem a aprecia não a determinação causal de sua origem, mas a entrega, o envolvimento imediato com o seu ser. A imaginação criadora não é *determinada*. Nem pelas sensações objetivas do mundo exterior, nem por mecanismos psíqui-

cos profundos. As suas criações, entretanto, são capazes de “conversar” conosco porque, por um “determinismo às avessas” (FELICIO, 1994), podem mobilizar nossas profundezas: “pela explosão de uma imagem, o passado longínquo ressoa em ecos” (BACHELARD, 1974a, p. 341). Mais do que uma via de interpretação, de determinação de uma suposta origem de uma imagem ou de seu significado, Bachelard propõe a entrega à pura presença da imagem. Nessa entrega à imagem, sentimos as *ressonâncias* e a *repercussão* que ela nos provoca:

“É nesse ponto que deve ser observada com sensibilidade a duplicidade fenomenológica das ressonâncias e da repercussão. As ressonâncias se dispersam nos diferentes planos da nossa vida no mundo, a repercussão nos chama a um aprofundamento de nossa própria existência. Na ressonância, ouvimos o poema, na repercussão nós o falamos, pois é nosso ser. A repercussão opera uma revirada do ser. Parece que o ser do poeta é nosso ser. A multiplicidade das ressonâncias sai então da unidade do ser da repercussão. Dito de maneira mais simples, trata-se de uma impressão bem conhecida por todo leitor apaixonado por poemas: o poema nos prende por completo. (...) A exuberância e a profundidade de um poema são sempre fenômenos da dupla: ressonância-repercussão” (BACHELARD, 1974a, p. 345).

Como já comentamos, para Bachelard, a origem de um conhecimento científico associa-se antes a um devaneio (que será progressivamente depurado de seus elementos subjetivos) que a um experimento. Reciprocamente, pergunto-me se os produtos da racionalidade científica não podem servir, uma vez depurados de seu caráter objetivo e racional, como ponto de partida para novos devaneios, para novas criações da imaginação. Se o sonho científico coloca-se no extremo oposto com relação aos sonhos noturnos movidos pelas seduções da libido, esses extremos não podem ser conectados de forma a permitir um processo cíclico de retro-alimentação? Se a ciência se forma sobre um devaneio, não é possível devanear sobre uma imagem científica?

Parece-me que Bachelard, graças a sua grande erudição também no domínio científico, realiza frequentemente essa passagem. Por exemplo, quando ele escreve que a análise “micropsicológica” de pequenas imagens pode ser submetida a um princípio de indeterminação análogo ao papel exercido pelo princípio de incerteza de Heisenberg na microfísica:

“No campo da imaginação sensibilizada, pode-se considerar uma espécie de princípio de indeterminação da afetividade no mesmo sentido em que a microfísica propõe um princípio de incerteza que limita a determinação simultânea das descrições estáticas e das descrições dinâmicas. Por exemplo: queremos sentir mais de perto uma nuance verdadeiramente sutil de antipatia, e eis que ela agrada. Inversamente, queremos dedicar-nos com muita intensidade a uma impressão de simpatia, e eis que ela aborrece. Veremos esse princípio intervir com muita frequência tão logo consentirmos praticar a micropsicologia ao trabalhar no nível de nossas pequenas imagens” (BACHELARD, 2001, p. 63).

A equivalência entre massa (matéria?) e energia, sintetizada na célebre equação $E = mc^2$ também parece ecoar na concepção de imaginação material bachelardiana. “A matéria revela

nossas forças. (...) Não se espantem, pois, de que sonhar imagens materiais – isso mesmo, simplesmente sonhá-las – é imediatamente tonificar a vontade” (BACHELARD, 2001, p. 19). Dessa forma, a imaginação material é uma verdadeira fonte de energia psíquica. Como não associar a energia que se pode obter das profundezas atômicas da matéria e aquela que se obtém de suas profundezas oníricas?

“De qualquer modo, as imagens materiais – as imagens que nós fazemos da matéria – são eminentemente ativas. Não se fala muito disso; mas elas nos sustentam assim que começamos a confiar na energia de nossas mãos” (BACHELARD, 2001, p. 23).

O devaneio sobre imagens científicas encerra um duplo perigo. Por um lado, corremos o risco de, contaminados por uma atitude racionalizante, engessar a ação da imaginação, impedindo sua atividade criadora. Por outro, uma leitura muito ingênua das obras científicas pode banalizar tanto o seu sentido que podemos nos questionar qual o motivo para realizar esse tipo de aproximação. Quaisquer que sejam os perigos envolvidos, entretanto, uma coisa é certa: essa aproximação ocorre o tempo todo. Nossa imaginação está constantemente envolvida com todo tipo de material que se lhe apresenta e os objetos (e os ultra-objetos) da ciência compõem, em nossa cultura, parte marcante deste conjunto. Os objetos da ciência moldam nossa realidade atual. Como afirma Fayga Ostrower:

“Não é preciso, hoje em dia, ser físico ou matemático para saber que a mesa que se encontra à nossa frente, apesar de imóvel e maciça, é constituída por incontáveis moléculas e átomos, por elétrons girando em torno de prótons, núcleos atômicos, cujos contínuos movimentos resultam, por sua vez, de processos subatômicos onde, ulteriormente, a matéria se transmuta em energia. Se não o sabemos, o sentimos. Para nós, agora, as vivências da realidade são impregnadas de um sentido de modificação constante. Este entendimento faz parte do clima mental de nossa época. E se não em nível científico, certamente em nível emocional molda profundamente a visão existencial de todos os seres que hoje vivem. Moldam suas aspirações e expectativas, suas certezas e incertezas, suas esperanças e seus desesperos. A arte em nosso século bem o testemunha” (OSTROWER, 1998, p. 49).

Por isso, interessa-nos refletir a respeito dos caminhos que tornam menos ou mais interessantes o diálogo entre a imaginação poética e a racionalidade científica. Acredito que o caminho associado a férteis conexões deriva do não-esquecimento de que essas duas faculdades humanas não se dão no vazio, mas sim materializadas em linguagens, em formas simbólicas particulares. Estando a imaginação poética e a racionalidade científica mais fortemente associadas, respectivamente, às funções expressiva e significativa discutidas por Cassirer, parece-me que o risco

maior de banalização dos produtos poéticos e científicos de nossa cultura esteja associado a uma leitura que, procedendo uma espécie de média, enxergue, de maneira muito imediata e não problemática, apenas a dimensão representativa de cada uma dessas produções, supondo assim que cada símbolo simplesmente represente diretamente um objeto do mundo.

A imaginação não é concebida por Bachelard como anterior à linguagem, mas sim como comprometida com ela. É como evento da linguagem que a imaginação torna-se criação, novidade absoluta. Sua atividade constitui uma linguagem capaz de ser, ao mesmo tempo, “invenção constante e deciframento profundo” (FELICIO, 1994, p. 40). A língua não permanece a mesma após o advento de um grande poeta. Embora associada a energias psíquicas profundas (a arquétipos), a imaginação não se reduz a esses arquétipos, mas, ao contrário, cria sempre a partir deles.

Mesmo na apreciação de obras essencialmente visuais, como a pintura, Bachelard será capaz de reconhecer o papel que exerce a imaginação material. Se muito “contaminados” por uma atitude racionalista, temos a tendência de, muito rapidamente, esquecer a constituição material de uma pintura – a materialidade da tinta que se coloca em relação com a materialidade da tela – e “contemplar”, à distância, apenas a forma global da obra, preocupando-se principalmente, talvez, em reconhecer a referência àquilo que ela pretende *representar*. Em contraposição, a imaginação material de Bachelard começa por devanear em torno a essas materialidades. E já na contemplação de um simples desenho a lápis a cultura científica contribui para o dinamismo da imaginação:

“Quem gosta de entrar no minúsculo das coisas, na competição entre a matéria negra e a matéria branca ganhará escutando ao físico. Entrará então no mistério das lutas dos gnomos atomizados. Viverá uma incrível dialética da coesão e da adesão. Pois: o que faz um desenhista? Se aproxima de duas matérias. Empurra suavemente o negro lápis em direção ao papel. Nada mais. A coesão do grafite é atraída então à adesão pelo papel imaculado. O papel é despertado de seu sonho de candura, despertado de seu branco pesadelo. A que distância começa a atração mútua, íntima, do negro e do branco? A partir de que limite a adesão extrovertida se sobrepõe à coesão introvertida? Em que momento a torrente de átomos de carbono – negro porem! – abandona a mina para invadir os poros do papel? Em sua linguagem rápida a física responde: a $10^{-5}cm$, a um décimo de milésimo de milímetro. Os átomos são ainda dez vezes menores. Eis aí o lápis sobre o papel” (BACHELARD, 1997, p. 71).

A imaginação em torno à materialidade da cor, em particular, parece-me ser um desafio particularmente difícil para o espírito viciado em uma conduta racionalista. Ao menos, é um desafio difícil para mim. Sempre tive uma certa dificuldade com perguntas do tipo: “qual a sua cor predileta?”. Qual a diferença entre uma cor e outra, penso eu, quando estou dominado pela lógica mais implacável do pensamento científico, senão o valor de sua frequência? Que sentido

pode haver na preferência por uma ou outra cor? Por uma ou outra frequência? E, então, tenho dificuldades de *entender* por que um artista como Picasso teve uma fase azul e uma fase rosa. . . Frente a obras tais como as Catedrais de Rouen, de Monet (figura 3.13), procuro “*compreendê-las*”, associando-as à observação, quase científica, das diferentes condições de iluminação de um mesmo objeto. Esse tipo de compreensão, entretanto, nada revela da dimensão expressiva dessa obras. E, de fato, basta abrir-se para a observação da figura 3.12 para perceber como é diferente a expressividade dessas duas obras, associadas às fases azul e rosa de Picasso.

Notamos, assim, como, por um lado, a conduta racionalizante pode servir como obstáculo à percepção sensível desses quadros. Porém, se seguirmos um outro caminho de aproximação, veremos como é possível constituir férteis diálogos com a ciência. Mais uma vez, as observações de Bachelard são preciosas para este propósito. A associação das distintas cores aos distintos elementos materiais lhe permite ver, na figura 3.13, ora um sonho em que a catedral de Rouen se torna verdadeiramente aérea, vaporosa, em que o artista faz, de um mundo imóvel da pedra, um drama da luz azul, ora um sonho em que ela é uma esponja de luz, “um astro suave, um astro selvagem, um ser que dorme ao calor do dia”, com torres, mais terrestres, que flameiam só um pouco, “como um fogo bem cuidado entre as pedras do lar”. E eis que, nessa imaginação, a matéria revela sua dimensão ativa, radiante, que a ciência dos séculos XIX e XX demonstrou. Não basta reter-se na dimensão formal do quadro, em suas formas e cores. É necessário deixar falar a sua matéria:

“Nisso, são mutiladas as reservas de sonho que contém a obra de arte se à contemplação das formas e das cores não se agrega uma meditação sobre a energia da matéria que alimenta a forma e projeta a cor, se não se sente a pedra ‘agitada pelo trabalho interior do calórico’. Assim, de uma tela a outra, da tela aérea à tela solar, o pintor realizou a transmutação da matéria. Enraizou a cor na matéria. (...) Com pedra fez, torre a torre, bruma e calor. É expressar-se muito pobremente dizer que o edifício está ‘banhado’ por um crepúsculo velado ou um crepúsculo brilhante. Para um verdadeiro pintor, os objetos criam sua atmosfera, toda cor é uma irradiação, toda cor revela uma intimidade da matéria” (BACHELARD, 1997, p. 43).

O diálogo fértil entre arte e ciência não se dá, portanto, impondo um modo de funcionamento próprio de uma atividade – e de um tipo de função exercida pelo simbolismo – a outra, em uma disputa entre tradições, mas deixando que essas distintas formas de percepção e expressão dissolvam suas fronteiras, mesquem-se uma a outra de uma forma e em uma direção que são imprevisíveis, posto que se trata de um diálogo que visa uma abertura criativa e não a simples repetição do mesmo, do já conhecido.

(a) Nu sur fond rouge (1906), Picasso.

(b) Melancholy woman (1902), Picasso.

Figura 3.12

Figura 3.13: Catedral de Rouen (1893-1894), Monet.

Figura 3.14: Desenho extraído de um manuscrito islâmico do século XIV (EDGERTON, 2006, p. 152).

E assim como a cultura científica pode impregnar produtivamente a imaginação poética, reciprocamente, os produtos poéticos de nossa cultura também alimentam constantemente o trabalho científico. Quando pensamos, por exemplo, a respeito da estruturação de um espaço matemático tridimensional através de um sistema de coordenadas Cartesianas ou a respeito das técnicas através das quais é possível representar, em um *desenho técnico*, uma máquina, definindo precisamente todas as suas dimensões, devemos reconhecer que essas técnicas são todas tributárias de criações que foram, antes, expressivas, poéticas (EDGERTON, 2006). Antes das criações artísticas renascentistas do século XV, projetistas não eram capazes de definir seus projetos com mais precisão do que a que se demonstra na figura 3.14, referente a um desenho extraído de um manuscrito islâmico do século XIV.

Discutiremos em maior detalhe esse processo histórico no capítulo 4, relacionando-o, inclusive, às concepções de espaço e tempo que se tornam dominantes com a física Newtoniana. O que nos interessa enfatizar aqui é a transformação de uma forma poética expressiva em uma técnica e em um sistema simbólico abstrato e, aparentemente, “frio”, “neutro”, despidido de conotações associadas a visões de mundo, sentimentos frente à vida ou quaisquer outras emoções “subjetivas”.

Ao observarmos o quadro *A última ceia*, de Leonardo da Vinci (figura 3.17), podemos

notar como a organização geométrica da imagem possui uma função expressiva¹³. O ponto de fuga, aonde convergem todas as linhas de profundidade, localiza-se bem ao centro da imagem, exatamente no rosto de Cristo (figura 3.15). Os apóstolos, organizados em trios, assim como o intervalo entre essas tríades, formam triângulos, direitos e invertidos, que se sucedem uns aos outros, convergindo na figura central de Cristo. De fato, todas as linhas e sequências convergem para a cabeça dessa figura, a única silenciosa e imóvel. A grande mesa horizontal acentua o caráter estável da imagem. Nas palavras de Fayga:

“A dramaticidade do episódio é absorvida e transfigurada em outro conteúdo expressivo: o da aceitação. Este conteúdo maior é sustentado pelo predomínio explícito da horizontalidade e pelo equilíbrio harmonioso das várias partes em torno da figura de Cristo. Daí a imagem transmitir um sentimento de calma e paz transcendental” (OSTROWER, 1998, p. 38).

Figura 3.15

Em comparação, o quadro *Última Ceia*, de Jacopo Tintoretto (figura 3.18), realizado uma geração mais tarde, embora utilizando o que hoje em dia associaríamos à mesma “técnica” de representação e apesar de retratar o mesmo episódio histórico, traz um conteúdo expressivo muito diferente. O fato de o ponto de fuga não se localizar mais no centro do quadro, mas à direita (figura 3.16) – constituindo uma perspectiva lateral ao invés de central – já cria uma instabilidade e um dinamismo que estavam ausentes no quadro de Leonardo. O jogo assimétrico entre os anjos no canto direito superior, os empregados, logo abaixo – alheios aos eventos transcendentais que se desenrolam – e o conjunto de discípulos e Jesus, alinhados em uma dinâmica diagonal, tornam a imagem ainda mais instável e, embora a figura de Cristo esteja destacada por um grande halo, ela não consegue estabilizar a imagem em torno de seu centro.

Figura 3.16

Procuramos demonstrar, através da comparação entre essas duas imagens, como, ultrapassando a dimensão representativa associada à mesma situação representada pelos dois quadros e ultrapassando também um certo sistema de regras que tornou-se, durante 4 séculos, o paradigma de correção em matéria de representação pictórica, as formas nessas duas obras associam-se, inclusive em sua organização geométrica, a um forte conteúdo expressivo, que diferencia, de forma tão evidente, as duas ima-

gens:

¹³Extraio as observações pertinentes à leitura deste quadro e do seguinte do livro de Fayga Ostrower (1998, p. 38).

Figura 3.17: A última ceia. Leonardo da Vinci (1452-1519).

“Assim podemos entender por que, a partir do mesmo tema literário *A última Ceia*, na imagem de Tintoretto percebemos um conteúdo altamente dramático, de inquietação e de conflito, ao passo que o conteúdo na imagem de Leonardo nos fala de paz e serenidade” (OSTROWER, 1998, p. 39).

Dessa forma, longe de se constituir como uma simples técnica associada à representação “correta” das coisas “tal como elas aparecem aos nossos olhos”, a representação em perspectiva surge associada a um forte conteúdo expressivo, associado à valorização do caráter material do mundo, a um otimismo com relação à existência física do homem e às suas possibilidades de conhecer o mundo em que vive. A ruptura, por exemplo, com relação às formas hierárquicas de representação, em que as diferenças nos tamanhos das figuras expressavam a importância espiritual de cada figura, passando a associar essas diferenças simplesmente à distância com relação a um observador seguramente não pode ser remetida a uma questão de precisão e atenção na observação do mundo, mas associa-se a diferentes valores, a diferentes emoções na vivência deste mundo.

“Há de se imaginar, então, o quanto, ao ser articulada como forma de espaço, a perspectiva constituiu um salto no desconhecido, uma aventura excitante e nunca a rotina tediosa e isenta de significados em que foi transformada dentro do ensino meramente tecnicista de nossos dias” (OSTROWER, 1998, p. 32).

Ao alimentar a compreensão científica, essa percepção geométrica do mundo a partir do ponto de vista de um observador singular será progressivamente *depurada* de alguns de seus elementos expressivos e a sua utilização poderá ser transformada em uma técnica, que não pretende comunicar nada a respeito das emoções ou do estado de espírito daquele que a utiliza,

Figura 3.18: A última ceia. Jacopo Tintoretto (1518-1594).

eliminando assim as projeções subjetivas que ela continha. A depuração da dimensão expressiva, entretanto, nunca é completa e algumas das emoções presentes naquela forma subsistem, não mais associadas à expressividade de um artista em particular, mas sim a uma certa visão de mundo científica. É assim que podemos ainda reconhecer, nas representações científicas, por exemplo a presença de uma cosmovisão materialista e a confiança nas possibilidades de conhecimento do homem sobre o mundo natural.

A pesquisa a respeito da imaginação que se exercita a partir de imagens científicas pode ser realizada, assim, tanto pela admiração de obras artísticas que foram criadas, em parte, a partir desse diálogo, como também pelo exercício de envolvimento criativo com as próprias construções científicas, libertando-se por um momento daquelas regras de significação que garantem a sua correta interpretação em um contexto científico. Nos dois casos, entretanto, é imprescindível o exercício de educação de nossa sensibilidade e de nossa imaginação, buscando abrir-se para novas possibilidades de sentido, em busca da abertura que pode advir de um verdadeiro envolvimento subjetivo com essas matérias e evitando a limitação ao convencional e ao racional.

4 *Em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos*

“Caminante, son tus huellas el camino, y nada más;
caminante, no hay camino, se hace camino al andar.
Al andar se hace camino, y al volver la vista atrás
se ve la senda que nunca se ha de volver a pisar.
Caminante, no hay camino, sino estelas en la mar”
António Machado.

Como construir um capítulo, em uma tese acadêmica, a propósito de uma *busca*, que é, devido à sua própria natureza, sempre incompleta, fragmentária, tateante, transitória? Afinal, como explicitamos no capítulo 2, a referência a uma *experiência*, tal como a entendemos, remete a uma aventura em território desconhecido, a um risco, um tipo de envolvimento que só pode *nos* tocar porque pode também *nos* surpreender, *nos* levar a lugares imprevistos. Ao qualificarmos, além do mais, essa experiência como *estética*, somos, por um lado, redundantes, e, por outro, enfatizamos o caráter sensorial, sensível e particular – único, não reproduzível – dessa experiência. Por fim, a referência ao espaço e tempo físicos, longe de remeter a objetos precisa e univocamente definidos, associa-se a construtos de uma ciência que, em sua história, formula e reformula constantemente os possíveis sentidos dessas duas palavras. Dessa forma, a busca aqui proposta não almeja a um ponto de chegada, final e definitivo, mas ao próprio caminho, incompleto, porém pleno, em suas particularidades.

Por outro lado, se o interesse do presente trabalho não é evidentemente o de traçar receitas que possam ser seguidas mecanicamente, de forma “segura” e “objetiva”, é sim o de relatar um caminho percorrido, de forma tal que ele possa servir a novas explorações desse território, a novas experiências pedagógicas. Assim, torna-se relevante esclarecer certas direções empreendidas, certas metodologias adotadas, no sentido de relatar, como sugere a etimologia da palavra método, não apenas a viagem ou o seu destino como também o plano, a maneira de viajar.

Nesse sentido, cabe, de início, explicitar algumas opções, já abordadas nos capítulos anteriores, para que elas possam compor uma síntese das direções trilhadas na experiência particular a respeito da qual me proponho a refletir.

A busca pela experiência estética nos leva, em primeiro lugar, à referência à sensibilidade, palavra que não pode ser dissociada da referência aos sentidos através dos quais nos abrimos à percepção do mundo. Desse modo, as formas de relação do corpo com o ambiente a sua volta são o ponto de partida para a constituição de nossa experiência do espaço e tempo físicos. Pensar como construções científicas abstratas se relacionam a formas específicas de sensibilidade sobre o mundo, a diferentes formas de vinculação do corpo do sujeito com o corpo do mundo é um desafio particularmente instigante associado a esse propósito. Além disso, essa dimensão corporal e sensível é um importante elo comum que permite associar, em nossa abordagem, a educação e a ciência, pensadas como arte.

De algum modo correlacionado a essa dimensão corporal sensível, merece destaque a exploração das dimensões *expressivas* presentes nas formulações científicas. Valendo-nos, um tanto livremente, do sentido que Cassirer atribui a essa *função*, remetemos aqui a uma forma de experiência que não pressupõe como já constituída a separação entre sujeito e objetos e que vincula-se à expressão mais imediata do fenômeno, não concebendo uma essência por trás da aparência. Desse modo, procuramos, mesmo nas construções científicas mais abstratas e complexas, em que a dimensão *significativa* é preponderante, por sentidos mais subjetivos, por emoções, posturas frente ao mundo, valores, enfim, por formas de percepção nas quais o sujeito participa e é envolvido pelo que percebe.

Uma ressalva se faz aqui importante. Pode parecer, dos dois parágrafos precedentes, que o interesse da exploração aqui proposta se concentre em uma dimensão mais “primitiva” ou “ingênua” do pensamento científico. Não se trata disso. Do que se trata é de reconhecer, nas sofisticadas construções da ciência, formas de sensibilidade, formas de contato sensível do corpo do sujeito com o corpo do mundo, formas de expressividade, de vinculação, inclusive afetiva, emocional, do sujeito com a obra científica e com o mundo. E mesmo nas rupturas que o pensamento científico opera, em que procura eliminar projeções “ingênuas” do sujeito, reconhecer o seu caráter expressivo, a sua beleza poética.

Mas como realizar a exploração dessas dimensões, usualmente pouco explicitadas? São dois os caminhos, não totalmente descorrelacionados, que penso ter experimentado. O primeiro deles vincula-se a uma investigação do contexto histórico de produção de uma determinada construção científica, procurando, especialmente, por debates filosóficos e expressões artísticas a ela contemporâneas que possam de algum modo ser relacionadas às construções científicas, identificando influências mútuas. O que menos interessa, neste caminho, é a exata definição de influências, o esclarecimento a respeito de precedências. Ao contrário, a identificação de analogias de estrutura ou de referências entre essas distintas práticas visa iluminar aspectos expressivos que se apresentem de forma mais indireta e oculta nas construções científicas, mas

de modo mais evidente e explícito em outras formas de expressão. Algumas vezes, esse tipo de analogia se demonstra com grande evidência, de forma que o valor das inferências realizadas torna-se bastante claro. Em outras situações, os vínculos estabelecidos se mostram mais fracos e as analogias soam apenas sugestivas. Em qualquer caso, entretanto, a investigação em torno ao contexto histórico será mais ou menos relevante ao proporcionar percepções mais ou menos *fecundas*, ou seja, que permitam ao sujeito que aprecia aquela construção científica maior ou menor riqueza de sentidos.

O segundo caminho vincula-se a uma exploração mais direta do construto científico, no contexto da disciplina *Oficina de Projetos*, através da exposição sensível dos sujeitos a um material expressivo que, de alguma forma, possa representar uma faceta importante da construção científica em questão. O principal substrato que permitiu a constituição desse tipo de exposição foi a dinâmica de *jogos teatrais*, tal como desenvolvida por Viola Spolin e conforme a discussão realizada na seção 2.4.1. Por meio dessa dinâmica, os jogadores, ao envolverem-se sensivelmente com o problema proposto, experimentam novas possibilidades de sentido associadas aos temas científicos em questão.

Essas possibilidades de sentido, entretanto, se apresentam em uma forma que é de natureza essencialmente não-verbal, uma vez que se dão materializadas no próprio jogo que se estabelece entre os participantes e não em alguma forma de discurso a seu respeito. “Traduzi-las” para uma forma verbal de pensamento, por isso, não é uma tarefa simples ou imediata, mas, ao contrário, um exercício de leitura e interpretação que é sempre múltiplo. Uma estratégia comumente proposta, no contexto do trabalho com jogos teatrais, para a realização desse tipo de “tradução” é a construção, pelos participantes, dos chamados *protocolos*, procedimento proposto originalmente por Brecht para potencializar uma contínua reflexão a respeito das experiências vividas em um processo criativo (SANTIAGO, 1992). Essa forma de registro não precisa obedecer a algum tipo de rigidez formal, mas cumpre funções tanto documentais quanto poéticas, colocando-se, de certa forma, a meio caminho entre a forma “apresentativa” do jogo e uma forma discursiva.

Embora reconheça a potência dessa forma de registro e reflexão, optei por não trabalhar estritamente com a criação de protocolos nessa pesquisa, pela seguinte razão. Como o contexto em que a pesquisa se realizou esteve associado a uma disciplina obrigatória na qual os estudantes já tinham uma série de obrigações associadas ao registro de suas atividades de estágio, pareceu-me que a criação de uma dinâmica sistemática de registro dos jogos corria o risco de tornar a carga de trabalho envolvida excessiva, acabando por tornar-se mais uma atividade burocrática do que propriamente um exercício de reflexão criativa. Por isso, ao invés desse trabalho mais sistemático, optei por uma forma de registro mais fluida através do *blog* da disciplina. Os

estudantes deveriam, ao longo do semestre, realizar um certo número de contribuições, no formato e linguagem que desejassem, a propósito de temas ou experiências vivenciadas em torno à disciplina. Além disso, eles deveriam também comentar, por escrito, no próprio *blog*, algumas contribuições dos colegas. A proposição desses comentários obedecia uma estrutura um pouco mais rígida, em que se demandava que se realizasse sempre uma “leitura” da contribuição para só depois estabelecer alguma forma de juízo a seu respeito. Através desse registro compartilhado, pretendi desenvolver uma reflexão contínua a respeito das experiências nem sempre verbalizáveis por que passávamos, permitindo um acompanhamento coletivo e contínuo dos trabalhos desenvolvidos, e também “traduzindo-os” para uma forma de registro que permitisse a posterior investigação a respeito do conhecimento produzido nesses trabalhos.

Sendo a exploração do espaço e tempo físicos um propósito extremamente genérico e amplo, a definição de certas formas de delimitação e articulação fez-se evidentemente necessária. Explicitar e justificar a opção que fiz com esse propósito demandará um certo número de parágrafos. De forma sintética, é suficiente mencionar que o tema fundamental associa-se à noção de “*Relatividade*”. Esse termo, entretanto, não é compreendido nem em referência exclusiva às chamadas relatividades Galileana e Einsteiniana (embora as inclua), nem tampouco, evidentemente, em um sentido genérico, associado ao senso comum, que afirme a equivalência indistinta entre qualquer forma de discurso, qualquer forma de percepção, qualquer forma de pensamento. O esforço de abordar o movimento de pensamento representado por esse termo em uma dimensão cultural ampliada, mas não em uma forma banalizada, relacionando-o a formas de percepção e representação espaciais e temporais, corresponde ao recorte aqui proposto para a exploração da experiência estética do espaço e tempo físicos.

A expressão “*Revolução Copernicana*” tornou-se tão significativa em nosso imaginário que é comum associá-la a “revoluções” em diversas outras áreas do conhecimento que tiveram, também, o efeito de causar, por uma espécie de mudança de ponto de vista, uma reviravolta em imagens solidamente estabelecidas a respeito da ordem do mundo, seja ele natural, social ou mesmo subjetivo. Assim, é comum, por exemplo, a comparação da obra de Marx ou de Freud a verdadeiras revoluções Copernicanas operadas em suas áreas de conhecimento.

Nesse sentido, a possibilidade de realizar uma “mudança de ponto de vista”, passando a reconhecer no que parecia antes a única imagem verdadeira do real apenas um ponto de vista particular e restrito parece uma *metáfora epistemológica* interessante para compreender esse movimento de abertura que o pensamento científico é frequentemente capaz de realizar. Trata-se de um movimento de negação de conhecimentos sólidos anteriores, mas em que compreendemos a negação com o sentido amplificante que Bachelard lhe atribui (BACHELARD, 1974c, 1974b). A negação, ao mesmo tempo em que nega, esclarece de que forma, em que sentido, como e

Figura 4.1: (a) Figuras extraídas do livro de Landau e Rumer (1985) para ilustrar a relatividade da direção vertical; (b) Ilustração associada ao “experimento” de Eratóstenes: enquanto o Sol está exatamente na vertical em Siena, em Alexandria ele forma um ângulo de $\approx 7^\circ$; (c) Interpretação das mesmas observações empíricas através do modelo de uma Terra plana, de forma que seria possível o cálculo, ao invés do raio da Terra, da “altura do céu”.

quando determinada tese, antes considerada universal, pode agora ser considerada válida. As geometrias não-euclidianas, a química não-lavoisieriana, a mecânica não-Newtoniana, a lógica não-Aristotélica e a epistemologia não-Cartesiana, consideradas por Bachelard, representam todas negações amplificantes, que simultaneamente operam uma verdadeira reviravolta nas noções de base e na visão de mundo anterior e reconhecem a validade, em um domínio particular devidamente esclarecido, das teses anteriores.

Quando associada à percepção e representação do espaço e tempo, o tipo de operação epistemológica em que se passa a reconhecer o caráter relativo daquilo que antes se acreditava absoluto parece ter uma história (e uma pré-história) muito mais longa do que apenas aquela associada a Galileu e Einstein. O físico soviético Lev Landau, em um livro de divulgação a propósito da teoria da relatividade (LANDAU; RUMER, 1985), inicia sua exposição referindo-se a situações em que se demonstra o caráter relativo das direções direita e esquerda com relação à direção para a qual olhamos, do horário do dia de acordo com a posição na Terra em que estamos, da impressão visual de tamanho (ou da “dimensão angular de objetos”) com relação à posição com que os observamos e da direção vertical com relação à nossa localização na Terra. De todas essas formas de relatividade, talvez a mais diretamente evidente seja aquela associada à distinção entre direita e esquerda e, mesmo assim, somos frequentemente levados, em nosso cotidiano, a confusões que se originam do momentâneo “esquecimento” do caráter relativo dessas noções. Em contrapartida, a relatividade do horário na Terra, por exemplo, é de tão difícil assimilação que todo nosso organismo torna-se confuso se a experimentamos de fato em uma longa viagem de avião.

Talvez uma primeira “revolução” na compreensão do espaço que possamos associar à noção

de relatividade refira-se à afirmação do caráter esférico da Terra e à consequente relatividade da direção vertical (assim como da hora do dia). Não se trata apenas de negar que as direções para cima e para baixo sejam absolutas, mas de compreender qual a forma exata de sua dependência com relação à posição na Terra, o que permite atribuir a certos fenômenos, que possivelmente antes passavam despercebidos, grande relevância e grandes consequências.

Merece destaque, nesse contexto, as conclusões que Eratóstenes consegue extrair do fato de que o Sol se apresenta em direções diferentes, em seu zênite, em cidades distintas: enquanto, no solstício de verão em Siene, no Egito, sua direção corresponde à exata direção vertical, em Alexandria, cidade que se encontra aproximadamente no mesmo meridiano (mas mais ao norte), no mesmo dia (portanto, “ao mesmo tempo”), ela corresponde a uma inclinação de $7,2^\circ$ (figura 4.1b). Esse “pequeno” fato, aparentemente irrelevante, permitiu a Eratóstenes, no século III a.C., calcular o raio da Terra.

É significativo que Robert Crease (2006), em seu livro sobre “os dez mais belos experimentos”, inclua justamente o experimento de Eratóstenes neste conjunto, percebendo sua beleza “no modo como permite descobrir uma dimensão de proporções cósmicas medindo o comprimento de uma simples sombra” (p. 22), na maneira como ele “expande a nossa percepção, oferecendo-nos novos modos de enfrentar uma pergunta aparentemente simples: ‘O que são as sombras, e como se formam?’” (p. 26).

Não se trata de forma alguma de um experimento que “comprovou” a esfericidade da Terra. Ao contrário, o modelo de uma Terra esférica, já defendido antes por diversos filósofos, entre eles Aristóteles, é um pressuposto fundamental que permite a Eratóstenes assumir que o fator relevante não é uma mudança na direção do Sol e sim a diferente orientação do que seja a direção vertical. Sem essa compreensão, os mesmos fatos permitiriam uma conclusão totalmente diversa (figura 4.1c):

“A representação que Eratóstenes fazia do cosmo foi vital para o sucesso de seu experimento. Sem essa representação particular, a medida da sombra não daria a circunferência terrestre. Por exemplo, um antigo texto cartográfico chinês, o *Huainanzi*, ou ‘Livro do Mestre de Huaianan’, observa que gnômons da mesma altura, mas em diferentes distâncias (ao norte ou ao sul) um do outro, projetam sombras de comprimentos diferentes no mesmo momento. Partindo do princípio de que a Terra era plana, o autor atribuiu essa diferença ao fato de que o gnômon que projetava a sombra mais curta estava mais diretamente abaixo do Sol, e sugeria que essa diferença no comprimento das sombras podia ser usada para calcular a altura do céu!” (CREASE, 2006, p. 24).

Pensando nesse exemplo, parece que a constituição teórica de alguma forma de relatividade contém uma dimensão expressiva associada a um salto não apenas de compreensão como também de percepção do mundo. Se consideramos, a seguir, a relatividade dos tamanhos e formas

Figura 4.2: Figuras extraídas do livro de Landau e Rumer (1985) para ilustrar a relatividade do tamanho com relação ao ponto de vista.

com relação ao ponto de vista, observando a figura 4.2, extraída do livro de Landau a que já fizemos referência, notamos que ele relaciona, como é natural, esse tipo de relatividade à arte da pintura. E é, a primeira vista, surpreendente que uma forma sistemática de definição da dependência dos tamanhos, posições e formas aparentes com relação à posição do observador só tenha surgido na pintura durante o Renascimento, no século XV. Essa forma de relatividade então – ao menos em sua formulação sistemática – vincula-se a toda uma nova forma de perceber e compreender o espaço – um espaço infinito, tridimensional – e os corpos *nele* posicionados.

A relatividade do movimento Galileana parece bastante tributária tanto dessa nova forma de perceber e compreender o espaço como também de uma nova forma de percepção e compreensão do tempo, para a qual podemos refletir a respeito das contribuições oferecidas pela música, com a metrificacão da duração dos sons e dos silêncios por ela oferecida. Afinal, a noção de ponto de vista difere da de referencial – noção fundamental associada à relatividade do movimento – justamente pela referência obrigatória ao tempo no segundo caso, mas não no primeiro: o tipo de “ponto de vista” que importa à relatividade Galileana não se vincula a uma “*posição espacial*”, mas a um “*estado de movimento*”, expressão curiosa por qualificar o *movimento*, a mudança espacial no tempo, como um *estado*, uma forma de permanência. Para dar sentido a expressões aparentemente paradoxais como essa, a percepção e representação de um tempo que flui independentemente de qualquer movimento, que segue seu curso mesmo quando não há movimento nenhum – e que protagoniza a nova dinâmica – será fundamental.

Parece-me que o impacto epistemológico da relatividade Galileana é frequentemente subestimado no ensino. Ao ser abordada brevemente, ou em conexão com a lei da inércia ou como introdução à relatividade restrita e às transformações de Lorentz, ela é muitas vezes apresentada como uma constatação mais ou menos “natural” e evidente. Os resultados verdadeiramente anti-intuitivos são associados todos à relatividade Einsteiniana. Entretanto, quão anti-intuitiva é a afirmação de que a trajetória de um corpo em movimento é uma forma relativa? Como nessa citação de Galileu:

“Se um pintor, ao deixar o porto [de Veneza], tivesse começado a desenhar com uma pena num papel e continuado a fazê-lo até Alexandria, ele teria podido tra-

çar toda uma história com muitas figuras de contornos perfeitos e sombreados em milhares de direções, com vilas, edifícios, animais e todos os tipos de outras coisas, e, no entanto, todo o movimento verdadeiro, real e essencial da pena não teria passado de uma linha muito longa, mas muito simples; o pintor, no que se refere à sua própria operação, teria traçado exatamente as mesmas linhas se o navio tivesse ficado imóvel” (GALILEI, apud LÉVY-LEBLOND, 2004, p. 119).

Embora a atribuição a Galileu de uma completa equivalência entre referenciais inerciais, de forma que não se possa distinguir uma trajetória real de outras supostamente fictícias, pareça um anacronismo (uma vez que, na própria citação acima, o autor faz referência a um “movimento verdadeiro, real e essencial”), se nos contentamos em associar a relatividade Galileana a “ilusões” imediatamente evidentes e aparentemente óbvias, não fazemos justiça à sua contribuição. Frequentemente nos “esquecemos”, no ensino, de que, para recuperar o sentido e o impacto epistemológico dessa proposição, é essencial compreendê-la em sua relação com a revolução Copernicana. Se não nos damos conta de que a constatação do caráter “ilusório” do movimento que um observador em um barco atribui à mão de um pintor dentro desse mesmo barco visa, na verdade, demonstrar o caráter ilusório de nossas próprias percepções de movimento quando julgamos estar parados em um solo “imóvel”, perdemos o salto epistemológico operado por essa relatividade, a expansão de nossa percepção através da qual, tal como ocorre com o cálculo do raio da Terra por Eratóstenes, uma pequena observação leva-nos a inferências de dimensões cósmicas.

Se um modelo racional para a percepção visual do espaço – com a referência ao ponto de vista servindo como uma espécie de metáfora para a noção de referencial – permite de certa forma “dar corpo” à relatividade do movimento Galileana, a experiência da visão, por outro lado, parece permitir o reconhecimento de certos obstáculos ao tipo de “salto” epistemológico envolvido na relatividade Einsteiniana. Afinal, sendo a visão o sentido capaz de colecionar (e organizar em uma estrutura espacial) maior número de “fatos simultâneos” em nosso “campo visual”, a sua generalização, como se fôssemos capazes de ver ao mundo inteiro “de fora”, parece uma importante fonte para a convicção no caráter absoluto da simultaneidade. Em contraposição, a percepção tátil, mais localizada e fragmentária, parece mais próxima a um tipo de intuição espacial que não admite interação à distância, em que não é possível falar, de forma absoluta, de eventos simultâneos e em que o próprio espaço-tempo adquire uma estrutura mais “plástica”, transformando-se pela mudança de referencial ou, no contexto da relatividade geral, pela presença de massa. Nesse sentido, é significativo o questionamento, na virada do século XIX para o XX, que, por exemplo, os artistas cubistas fazem da organização perspectiva do espaço visual, associando-a a um mero truque ilusionista, e a referência deles a um “espaço manual”, bem como a geometrias quadridimensionais e às geometrias não-euclidianas. Nova-

mente, não vejo motivo para não associar essa nova relatividade da simultaneidade a um salto de percepção, intuição e compreensão do espaço e do tempo que pode ser percebido não apenas na ciência como também em expressões artísticas.

Com essas observações, espero ter esboçado um “mapa” sintético do percurso, um tanto longo, que pretendo seguir neste capítulo. A última construção científica a que faço referência é a teoria da relatividade restrita e caberia a pergunta sobre porque deter essa discussão no início do século XX. O principal motivo, creio, associa-se à intenção de aqui realizar um diálogo entre dimensões expressivas e significativas do conhecimento científico em um contexto em que seja possível abordar a dimensão significativa, matemática, conceitual do conhecimento científico com suficiente precisão e sem precisar recorrer a uma linguagem técnica inacessível. Restringindo-me a esse domínio – de resto já suficientemente complexo e paradoxal – torna-se possível procurar desenvolver um maior aprofundamento do diálogo pretendido.

A partir desse mapeamento inicial, poderemos agora nos deter mais calmamente em busca de uma apreciação de cada região, de cada contorno de nosso caminho.

4.1 Espaço vivencial X Espaço isotrópico

Ao pensar que uma experiência estética do espaço físico deve se associar à nossa experiência de inserção corporal em um mundo com ambientes tão diversos, tão cheio de objetos e sujeitos, deparo com algumas indagações que me servem como ponto de partida:

- Poderão as experiências do corpo humano no espaço entre os homens servir à experiência e reflexão a respeito das noções de espaço abordadas pela física?
- Poderá a experiência desse construto racional que é o espaço da física servir ao aprofundamento da reflexão e da vivência do espaço inter-subjetivo?
- A experiência desse espaço em que o corpo humano se insere poderá ser enriquecida por e enriquecer o repertório de possibilidades associado ao espaço mais específico das relações pedagógicas em sala de aula?

Um primeiro aspecto que me chama a atenção quando penso na experiência do espaço vivencial comparada ao espaço da mecânica clássica é o seu caráter não isotrópico. Como nota o geógrafo Yi-Fu Tuan (1983), em um livro em que discute os conceitos de espaço e lugar da perspectiva da experiência humana, as distinções associadas às assimetrias do corpo humano são extrapoladas para a organização do espaço “exterior”. De fato, a forma como “nos localizamos”,

em um espaço desconhecido, envolve o estabelecimento de relações entre as direções corporais e pontos de referência externos; nos sentimos perdidos quando não somos mais capazes de localizar estes pontos fixos:

“O que significa estar perdido? Sigo uma trilha na floresta, saio da trilha, e de repente sinto-me completamente desorientado. O espaço ainda está organizado de acordo com os lados do meu corpo. Há regiões à minha frente e às minhas costas, à minha direita e à minha esquerda, mas não funcionam em relação aos pontos de referência externos, e portanto são inúteis. As regiões em frente e atrás de repente parecem arbitrárias, pois tanto faz eu ir para frente ou para trás. Basta aparecer uma luz oscilante atrás de umas árvores distantes. Eu continuo perdido, no sentido que ainda não sei onde estou na floresta, mas o espaço recobra dramaticamente sua estrutura” (TUAN, 1983, p. 41).

O espaço sensório que habitamos oferece assim, ainda que pela via da contraposição, uma rica fonte de experiências para a construção do espaço racional isotrópico da mecânica clássica. Das assimetrias que originam-se dessa extrapolação da estrutura do corpo humano à estrutura do espaço, a assimetria entre alto e baixo é especialmente significativa por ter uma fonte adicional na própria presença do campo gravitacional terrestre a estabelecer uma direção privilegiada associada ao movimento de todas as coisas, de forma que a quebra de simetria daí decorrente implica uma gama gigantesca de significações simbólicas. Também as distinções entre frente e trás e entre direita e esquerda, embora não se associem a uma assimetria do espaço físico terrestre, são também bastante presentes em nossa experiência do espaço e ricas em simbolizações.

As distinções entre cima e baixo, frente e trás e direita e esquerda assumem frequentemente um caráter assimétrico e hierárquico, como nota Tuan. Trataremos, logo à frente, mais longamente das assimetrias associadas à direção vertical, devido a suas evidentes conexões com a evolução da representação física do espaço. No que se refere ao eixo frente-trás, Tuan aponta o caráter visual do espaço frontal, que é dotado, por isso, de uma nitidez muito maior que o espaço posterior, que só é acessível por sentidos não visuais. Dessa forma, o espaço frontal torna-se iluminado e o posterior escuro, as sombras, independentemente da evidência empírica, caem sempre para trás e é também induzida uma dimensão temporal por esta oposição, associando-se o futuro à frente e o passado ao espaço traseiro. Quando o sujeito vira, os espaços frontal e traseiro também se transformam correspondentemente; o espaço circundante, porém, adquire uma distinção frente-trás oriunda do corpo humano, mas que se torna característica sua, independente da relação com a percepção subjetiva: um quarto, uma casa e até mesmo uma cidade e um país (veja-se o litoral e o “interior” brasileiro) possuem frequentemente partes da frente e de trás.

Já a distinção direita-esquerda, embora mais sutil, tanto que costumamos confundir essas duas direções, é também carregada de significação simbólica, atribuindo-se superioridade ao

lado direito:

“A evidência desse preconceito é particularmente abundante na Europa, Oriente Médio e África, mas o preconceito também é documentado para a Índia e sudoeste da Ásia. No fundo, a direita é percebida como significando poder sagrado, o princípio de toda atividade efetiva, e a fonte de tudo que é bom e legítimo. A esquerda é a sua antítese; significa profano e impuro, o ambivalente e o débil, que é maléfico e deve ser temido. No espaço social, o lado direito do anfitrião é o lugar de honra. No espaço cosmológico, a direita representa o que está no alto, o mundo superior, o céu; enquanto a esquerda está relacionada com o baixo mundo e com a Terra” (TUAN, 1983, p. 49).

Se, por um lado, a estrutura assimétrica do corpo humano nos serve para estabelecer uma organização do espaço, por outro, as diferentes orientações de nosso corpo em relação ao espaço exterior e, em especial, em relação à direção vertical nos trazem sensações completamente diversas, acompanhadas, também, de todo um universo de conotações simbólicas:

“Em pé e deitado: estas posições produzem dois mundos opostos. Gessel e Amatruda dizem que, quando um bebê de seis meses de idade se senta, ‘seus olhos se arregalam, o pulso fica mais forte, a respiração se acelera e ele sorri’. Para o bebê, a mudança da posição supina horizontal para a perpendicular sentada já ‘é mais do que um triunfo postural. É a ampliação de um horizonte e uma nova orientação social.’ Este triunfo postural e a consequente ampliação do horizonte são repetidos diariamente durante toda a vida da pessoa. A cada dia desafiamos a gravidade e outras forças naturais para criar e manter um mundo humano ordenado. À noite cedemos a estas forças e deixamos o mundo que havíamos criado. A posição ereta é afirmativa, solene, altiva. A posição deitado é submissa, significando a aceitação de nossa condição biológica. A pessoa assume sua total estatura humana quando está em pé. A palavra ‘em pé’ (*stand*) é o radical para um grande número de palavras relacionadas que incluem ‘status’, ‘estatura’, ‘estatuto’, ‘estado’, ‘instituto’. Todas implicam realização e ordem” (TUAN, 1983, p. 42).

4.1.1 Primeiras experimentações das direções corporais no espaço

No contexto da disciplina *Oficina de Projetos*, procuramos experienciar, o mais livremente possível, as diferentes possibilidades de organização do corpo no espaço. Em nossa abordagem, não se trata, evidentemente, de atribuir algum caráter absoluto às conotações simbólicas rapidamente expostas acima, mas sim de experimentar os diferentes sentidos que podem adquirir essas possibilidades de organização do corpo. Ao mesmo tempo em que visa problematizar, por contraste, uma noção de espaço físico que realiza a abstração dessas conotações mais propriamente humanas da experiência do espaço, esse tipo de experimentação visa, também, problematizar a

Quadro 2 Proposta de jogo: Orientação / desorientação.

Objetivos: sensibilização / tomada de consciência dos mecanismos sensoriais pelos quais nos localizamos no espaço. As variantes (1) e (2) servem como formas de aquecimento. Já as variantes (3) e (4) visam também o desenvolvimento de uma percepção mais sensível do espaço escolar.

Orientação: (1) todos vendados, caminham pelo espaço, procurando reconhecê-lo; (2) de olhos fechados, é permitido abrir rapidamente os olhos, localizar um alvo e, a seguir, fechar os olhos e dirigir-se até ele; o alvo pode ser fixo, ou móvel (uma outra pessoa por exemplo); (3) todos organizados aos pares, de forma que uma pessoa fica vendada enquanto a outra serve de guia: o guia não interfere na ação, a não ser no caso de algum perigo iminente; o parceiro vendado procura desenvolver a maior autonomia e liberdade possível em sua movimentação; (4) as duplas saem da sala, em exploração do espaço escolar.

Ref. vis.: figuras 2.6 e 2.5 na página 60.

“geometria” das relações em sala de aula, produzir um *estranhamento* do padrão estabelecido para essas relações.

A experimentação, em distintas intensidades, de sensações de desorientação análogas à de estar perdido em uma floresta foi um exercício bastante frequente que realizamos através da proposição de deslocamentos pelo espaço de olhos fechados ou vendados (quadro 2). Por um lado, a eliminação do sentido da visão (ou a sua restrição apenas à percepção de formas difusas de luminosidade) propicia a consciência e o desenvolvimento das demais formas de percepção do espaço ao redor, tornando mais sensíveis a escuta, o olfato o tato e a percepção cinestésica da organização do próprio corpo no espaço. Por outro, a eliminação de referências visuais do espaço ao redor provocam uma certa desorganização das assimetrias que o estruturavam, de forma que já não sabemos mais o que está a nossa frente, atrás de nós, à esquerda e à direita. A alternância entre estar parado de olhos abertos e deslocar-se, com um objetivo, de olhos fechados aproxima essas duas formas de percepção do espaço, estimulando a organização do espaço também através de sentidos não-visuais.

A proposição (quadro 3) de iniciar um trabalho de experimentação coletiva a partir de uma posição em que todos estão inicialmente deitados, a partir de um estado inicial de máximo relaxamento, movimentando-se depois aos poucos e passando pelos diversos estágios de movimentação – desde o plano mais baixo de deslocamento, os planos intermediários, até chegar por fim a deslocar-se sobre os dois pés – pretende promover o desenvolvimento da consciência das relações que o corpo estabelece no espaço e a disponibilidade corporal dos participantes para formas não-cotidianas de expressão. Desenvolver a percepção das diferentes formas como nos apoiamos, organizando o corpo em função de sua relação com o campo gravitacional, e das di-

Quadro 3 Proposta de aquecimento: movimentação nos planos baixo, médio e alto.

Orientação: partindo de uma situação inicial em que todos estão deitados, buscando um estado de relaxamento, iniciar a movimentação nesse plano mais baixo de movimentação. Experimentar formas de movimentação associadas ao rastejar, rolar, passando aos poucos a formas de movimentação usando os quatro apoios, até chegar, procurando passar por todas as etapas intermediárias, ao plano mais alto de movimentação. Em duplas, movimentar-se mantendo-se ora mais próximos ora mais distantes, mas sempre com a consciência de onde está o parceiro e experimentando, em pequenas pausas, diferentes configurações geométricas de posicionamento: em pé, deitado, sentado, de frente, de costas, perto, longe, etc.

ferentes sensações que acompanham cada uma dessas formas. Sendo proposta em um ambiente escolar em que a forma espacial das relações tem um padrão relativamente rígido, entretanto, ela acarreta também, de forma inevitável, em um *estranhamento* proveniente do descolamento com relação ao que “se espera” de uma aula.

Nesse contexto, cabe perguntarmo-nos a respeito das leituras que, como docentes, tradicionalmente realizamos da “postura” física dos estudantes em sala de aula, relacionando-as a um suposto comprometimento ou descomprometimento, a um “bom” ou “mau” “comportamento”: por que é o corpo imóvel e sentado aquele que é associado à postura correta, enquanto uma movimentação mais livre do corpo e o posicionamento em pé é lido como um desafio à ordem instituída, como uma “bagunça”? Por que, ao contrário, uma organização corporal mais relaxada é frequentemente lida como apatia? Haverá possibilidade de experimentar outros sentidos, outras leituras da organização do corpo em sala de aula? No espírito do movimento de pensamento que associei à palavra *Relatividade*, não será possível propor uma negação amplificante do tipo de relação considerado natural em sala de aula, frontal, com estudantes todos sentados em carteiras, preferencialmente enfileiradas, voltados em direção a um professor que permanece na parte da frente da sala, eventualmente em um nível mais elevado¹.

As relações em sala de aula associam-se a um código relativamente rígido de expressão corporal. “A escola é um dispositivo cujas regras se reconhecem pelas formas e pelas distribuições corporais que produz e exhibe” (LARROSA, 2004, p. 173). No mesmo sentido do comentário

¹ Se é verdade que esse padrão já não é mais tão generalizado assim em nossas salas de aula “reais”, entretanto nosso imaginário do que seria o “correto”, o “organizado” parece seguir bastante vinculado a esta imagem. Essa questão comparece frequentemente nos relatórios de estágio dos estudantes que, ao analisarem a organização espacial das salas de aula, frequentemente utilizam adjetivos como “normal” e “organizado” a formas de estruturação desse tipo, mesmo quando notam que essas formas não são necessariamente as mais comuns, as que os alunos parecem aprender mais ou em que se mostram mais envolvidos. Por outro lado, também comparece nos relatórios de estágio dos estudantes o questionamento dessa ordem aparentemente “natural”. Por exemplo, na seção 2.1.2 na página 43, comentei a respeito da regência em estágio de uma estudante da disciplina, em que ela tirou proveito justamente da transformação de uma atitude que era lida pelos próprios estudantes como “bagunça” em uma reflexão perfeitamente inserida na discussão proposta por ela, envolvendo assim os alunos na discussão e provocando neles um estranhamento que instigou sua reflexão.

de Ira Shor, a que fizemos referência na seção 2.4 na página 67, a propósito da materialização das relações autoritárias em um certo “roteiro dramático” da sala de aula e em uma expressão vocal de docentes e discentes bastante assimétrica, refletimos aqui sobre a materialização dessas relações autoritárias na expressão corporal, também bastante assimétrica, de docentes e discentes.

Como disse, a proposição de começar a aula a partir de uma posição deitada, procurando desenvolver um estado de relaxamento, ocasionou, frequentemente, ao contrário do que era a proposta, um certo “desconforto” inicial. Ao procurar compreender sua origem, relaciono esta sensação de desconforto a um comentário queixoso que certa vez uma estudante fez a propósito da disciplina “Oficina de Projetos”. Ela disse que, nessa disciplina, ela nunca sabia o que “precisava fazer”. E o posicionamento deitado, de certa forma, pode provocar justamente essa sensação de insegurança com relação ao que “se deve fazer”, uma vez que, deitados (eventualmente de olhos fechados) não conseguimos ver o que o professor (que também está deitado) e os demais estão fazendo, qual a ordem que deve ser cumprida. Entretanto, é justamente essa a intenção do “relaxamento” proposto: abandonar uma relação de simples cumprimento de ordens e tarefas e envolver-se, ao invés disso, em uma pesquisa, mais autônoma, que tome como ponto de partida as sensações internas, a experiência de estar “de corpo e alma” *presente* naquele espaço particular, naquela relação particular com o lugar e com as pessoas.

Nesse mesmo sentido, experimentar, ao simplesmente contar uma história, novas possibilidades de posicionamento do próprio corpo em relação com o corpo dos que escutam (quadro 4) torna-se relevante para investigar possibilidades dessa negação amplificante da relação que se estabelece entre aquele que detém a palavra e aqueles que a ouvem. Não se trata de rejeitar, de forma absoluta, a possibilidade da relação mais tradicional em sala de aula, mas sim de compreendê-la como uma possibilidade entre outras, que, como as demais, carrega em si sentidos implícitos, conotações, não se justificando ou deixando de se justificar por uma consideração puramente utilitária, em termos da forma “mais prática” de todos olharem para a lousa, por exemplo.

O exercício descrito no quadro 4, proposto geralmente no início do semestre letivo, é interessante também por revelar as histórias escolares que marcaram os participantes, bem como as representações espaciais que são construídas a partir delas. Histórias que frequentemente narram situações de opressão, mas que também narram a vivacidade do encontro de um universo infantil e ingênuo com o mundo adulto, também narram momentos de “grandes” descobertas. Tanto o conteúdo das histórias como as relações espaciais criadas quase sempre envolvem um nível de exposição pessoal dos participantes muito maior do que o que é usual em ambiente escolar. Tanto é assim que algumas vezes, em uma forma de resistência à exposição envolvida

Quadro 4 Proposta de jogo: Narrativas em distintas relações espaciais.

- objetivos:** exercitar a variação das formas de relação espacial ao contar uma história, percebendo os efeitos dessa relação na forma como narramos e nas sensações que temos ao narrar e ao assistir; perceber relações – de reforço, contradição, etc – entre o espaço ficcional da narração e o espaço “real” da relação com o público.
- orientação:** cada jogador procura se lembrar, em todos os detalhes, de uma história escolar marcante que viveu como aluno da educação básica e irá narrar essa mesma história de duas maneiras. (1) Na primeira, ele escolhe uma relação espacial com o público, definindo tanto o seu próprio posicionamento como o posicionamento do público. (2) Na segunda, é o público quem define como deve se dar essa organização dos posicionamentos. A adoção de uma regra que impeça, a cada novo jogo, a repetição das formas anteriores de organização é útil para forçar os jogadores a criarem novas formas de relação espacial, entendendo a relação frontal como uma possibilidade entre tantas e tantas outras possíveis.
- foco:** contar a história, em todos os seus detalhes, mantendo-se *em relação* com o público.
- exemplos:** todos de pé em volta do narrador, sentado ao centro; todos de costas para o narrador; uns de frente uns aos outros, formando um corredor no meio do qual passa o narrador; o narrador muito distante; todos deitados de bruços, etc.
- observação:** a constituição de possíveis relações simbólicas entre o espaço que se estabelece entre os jogadores e o contexto da história que é narrada não precisa ser um foco proposto de antemão, parecendo mostrar possibilidades mais interessantes quando (e se) surge como um desenvolvimento natural do jogo.
- avaliação:** Que diferentes sensações teve ao narrar (e ao assistir) a mesma história em cada configuração? As narrações foram iguais nas duas situações propostas? Quais os detalhes diferentes que foram incluídos, excluídos ou transformados de uma configuração para a outra?
-

no foco proposto, os jogadores propõem posições corporais desconfortáveis ou que carregam uma conotação humilhante aos demais participantes, com a intenção explícita de “sacanear”. Como docente, não intervenho com julgamentos a respeito de nenhuma proposição e participo de todas elas, deixando que o jogo evolua movido por sua própria dinâmica. Ao longo do jogo, os estudantes sempre solicitam que eu também participe ativamente, contando uma história de acordo com as regras propostas. Como discuti anteriormente (seção 2.3 na página 62), entendo que há uma ética envolvida na proposição, como docente, de situações de maior exposição que se associa a também expor-se na mesma medida, evitando assim que o convite à exposição possa degenerar em uma imposição opressiva. Dessa forma, entendo esse tipo de demanda dos estudantes em associação com essa questão ética e procuro, sempre que possível (a não ser quando o tipo de jogo proposto demanda um olhar externo), participar dos jogos propostos, em igualdade de condições. Ao estabelecer uma relação natural com situações consideradas, em princípio, estranhas, as preocupações do grupo podem, aos poucos, evoluir para outras questões.

4.1.2 Jogos explorando a observação das relações espaciais em sala de aula

O desenvolvimento do pensamento a propósito de sentidos associados a diferentes organizações do corpo no espaço em sala de aula foi realizado também por meio da reflexão a respeito da experiência de estágio dos estudantes, como já comentei na seção 2.5.2 na página 88. Farei referência mais explícita aqui a dois jogos que se relacionam mais diretamente, na metáfora de Ira Shor, à reflexão a respeito de uma “dramaturgia” das relações autoritárias em sala de aula.

O primeiro jogo (quadro 5) corresponde, na verdade, a uma forma de preparação e aquecimento para o segundo. Ao experimentar moldar com as próprias mãos o corpo do colega, o jogador-“escultor” exercita dar forma – através da expressão corporal que produz no jogador-“escultura” – a uma situação que imagine, que pode incluir as sensações que essa situação provoca na “escultura” e o comentário que o “escultor” teria a fazer a seu propósito. Por outro lado, o jogador-“escultura” exercita disponibilizar o seu corpo para que o “escultor” o molde, procurando perceber, sem palavras, apenas pelo direcionamento que o “escultor” dá a seu corpo, a forma que seu corpo deve adquirir. A sempre divertida “exposição” posterior das “esculturas” produzidas possibilita a todos exercitar a “leitura” das situações que são comunicadas através da expressão corporal dos jogadores-“escultura”.

Como um desenvolvimento natural, o método de criação de estátuas é então utilizado para a criação, em grupos, de uma imagem associada a uma situação, escolhida pelo grupo, observada durante a experiência de estágio e que indique algum problema que eles gostariam de “deba-

Quadro 5 Proposta de jogo: estátua

aquecimento

objetivo: desenvolver a expressão corporal, compreendida como linguagem capaz de comunicar situações, pontos de vista, julgamentos, ironias, etc.

orientação: todos organizados aos pares, um parceiro “esculpe” o outro, posicionando cada parte do corpo do parceiro da maneira que deseja, com atenção a todos os detalhes do corpo, incluindo a expressão facial. O “escultor” não deve falar como quer que o outro se posicione, mas moldá-lo diretamente com as mãos.

ter” (quadro 6). Os jogadores que apreciam a situação criada devem, então, modificá-la sem, entretanto, utilizar palavras, mas apenas moldando o corpo dos jogadores-“escultura”, até chegarem a um consenso a respeito de qual seria a “solução” do problema, ou, em uma variante, a respeito de uma modificação de “ponto de vista” que faça com que o “problema” inicialmente apontado já não pareça mais um problema. Cria-se, dessa forma, um ambiente de discussão não-verbal, em que cada opinião diferente se expressa através da organização do corpo dos jogadores-“estátua”.

Gostaria de mencionar dois exemplos de situações propostas pelos estudantes nesse jogo. Em uma delas, o grupo formou uma imagem que continha um estudante sentado com os ouvidos tampados e com cara de extremo desconforto, um professor e, um pouco mais distante, como que “fora da sala de aula”, um operário com uma britadeira imaginária. Diga-se de passagem que o problema com o barulho provocado por obras realizadas na escola durante o período letivo é uma constante no próprio Instituto Federal. Foi interessante notar que as soluções apontadas pelos jogadores envolviam apenas a modificação da postura do professor, que era colocado então conversando com o operário. Apesar de os estudantes – pela sua própria experiência no Instituto – não terem ficado muito convictos de que aquela atitude solucionaria o problema, nenhuma outra solução proposta modificou a atitude do estudante, que permanecia sempre “indefeso” à espera de uma solução.

Na outra situação proposta, o grupo mostrou uma imagem em que o professor parecia um tanto desconsolado, enquanto os estudantes estavam todos mexendo com algum objeto eletrônico imaginário em suas mãos. Foi interessante que, quando procuramos – eu e os demais jogadores que observavam a imagem – verbalizar qual era o problema apontado pelo grupo, apontamos a apatia, o desinteresse, mas o grupo não ficava satisfeito, afirmando que era outro o problema que eles procuravam representar. Como não conseguíamos identificar a que eles se referiam, eles acabaram contando-nos que o problema a que eles se referiam era o uso do celular em sala de aula, que era proibido. Assim, a percepção a respeito de qual era o

Quadro 6 Proposta de jogo: Imagem – reconstrução.

objetivos: desenvolver a expressão corporal, entendida como uma linguagem que é capaz de comunicar não apenas uma situação, como também o julgamento que dela fazemos, o ponto de vista sobre a situação; refletir sobre problemas vivenciados durante o estágio através dessa linguagem corporal.

orientação: Cada grupo compõe uma “imagem congelada” – formada por seus corpos em “estátua” – correspondente a uma situação que tenha sido observada na experiência de estágio e que se associe, do ponto de vista dos jogadores, a algum tipo de problema ou de situação de opressão. Os demais jogadores, que observam a imagem criada pelo grupo, a modificam sem nunca utilizar a fala, mas moldando diretamente os corpos dos jogadores-“estátua”. São duas as possibilidades que experimentei para o objetivo dessas modificações: (a) *modificar o ponto de vista sobre a situação*: nesse caso, procura-se reconhecer qual é o ponto de vista que está sendo representado naquela imagem: do professor, do estudante, do diretor, do pai, do estagiário, etc. Então, modifica-se a imagem para que ela passe a representar um outro ponto de vista para a mesma situação. (b) *procurar “solucionar” o problema apresentado*: nesse caso, os observadores da situação modificam a imagem primeiro procurando representar como seria o “mundo ideal” associado àquela situação. A seguir, eles devem partir novamente da imagem inicial e modificá-la, propondo formas de solução do problema, quer dizer, formas de transição entre a imagem originalmente proposta e o mundo ideal imaginado.

observação: a variante (b) do jogo foi extraída de proposta de Augusto Boal (1975, p.143-7), associada ao trabalho que ele apelida de “teatro-imagem”.

“verdadeiro” problema era claramente distinta entre os participantes. As soluções apontadas, novamente, centraram-se na figura do professor: uma parcela (majoritária) procurava modificar a postura do professor, deixando-o mais agressivo ao colocar um aluno para fora, enquanto um outro jogador procurava aproximar mais o professor dos estudantes, buscando, de alguma forma, interessá-los. Os estudantes representados, porém, só mudavam de atitude em função das diferentes atitudes do professor. O apontamento das características aqui mencionadas, entre outras, pareceu-me interessante para, na discussão posterior, refletir a respeito da imagem que cada um de nós fazíamos de cada um dos personagens que participam da vida escolar e, em especial, de professores e alunos.

4.2 A ordenação vertical do mundo

Quando pensamos nas conotações simbólicas associadas às diferenças de altura, buscando relacioná-las às representações físicas do espaço, devemos lembrar que uma distinção absoluta entre alto e baixo prevaleceu dominante em nossa cultura científica até o advento da revolução Copernicana. O universo esférico Aristotélico, embora envolva a compreensão da relatividade da direção vertical, permite sempre uma ordenação absoluta dos lugares em termos de “acima” e “abaixo”, estabelecendo assim a tendência de movimento natural de cada corpo a partir da definição do elemento predominante que o compõe: os corpos compostos predominantemente pelos elementos terra e água direcionam-se “para baixo”, ou seja, em direção ao centro do universo, enquanto aqueles compostos predominantemente pelos elementos ar e fogo dirigem-se “para cima” (JAMMER, 1954, p. 16). Essa distinção envolvia também um simbolismo associado a regiões mais e menos nobres, de maneira que a biologia Aristotélica, por exemplo, associava às partes mais altas do corpo humano uma importância e nobreza maiores que às partes mais baixas (JAMMER, 1954, p. 81). A generalidade, em diversas culturas e períodos históricos, dessas diferentes valorizações é bastante evidente, de forma que o “superior”, no sentido de melhor, é associado ao mais alto, e tem conotações tanto religiosas (o céu como morada de Deus) como associadas à hierarquia social (edifícios e monumentos importantes são quase sempre os mais altos). O etnocentrismo também adquire ordenação vertical:

“Entre alguns povos, há também a crença, sem evidência geográfica, de que eles vivem no topo do mundo, ou de que seu lugar sagrado está no cume da Terra. As tribos nômades da Mongólia, em épocas passadas, acreditavam habitarem o topo amplo de um morro, cujas encostas estavam ocupadas por outras raças. Uma crença comum na literatura rabínica é que a terra de Israel está mais alta do que qualquer outra terra acima do nível do mar, e que a colina do Templo é o ponto mais alto de Israel. A tradição islâmica ensina que o santuário mais sagrado, a Caaba, não é apenas o centro e o umbigo do mundo, mas também o seu ponto mais alto” (TUAN, 1983, p. 44).

No que diz respeito ao sistema de mundo Aristotélico-Ptolomaico e às representações que a partir dele foram constituídas no contexto da história medieval, talvez uma das obras que melhor permita verificar o vínculo entre essa organização exterior, hierárquica do cosmos e uma organização interior, também hierárquica de valores seja o livro *A divina comédia*, de Dante, composto no início do século XIV.

O modelo Aristotélico-Ptolomaico, contando com o aperfeiçoamento introduzido pela contribuição muçulmana, que permitiu descrever a precessão dos equinócios², organizava o céu em nove esferas celestes (figura 4.3a). Embora, no universo finito e desprovido de vazio Aristotélico, além da última esfera celeste, que gira em torno da Terra imóvel, não houvesse nada, nem espaço, nem tempo, o imaginário cristão medieval passa a encontrar lá o lugar de Deus. Como afirma Dante em uma obra em prosa (Convívio, II, III):

“No entanto, para além de todas estas [esferas cristalinas], os católicos colocam o Céu Empíreo...; e sustentam que ele é imóvel porque tem dentro de si, em toda a parte, o que a sua matéria exige. E é esta a razão pela qual o *Primum Mobile* [ou nona esfera] se move com uma velocidade imensa: porque o desejo ardente de todas as suas partes de estar unidas com as deste céu quieto, o fazem girar com tanto desejo que a sua velocidade é quase incompreensível. E este céu sossegado e pacífico é a residência dessa Suprema Divindade que é a única que pode contemplar-se a si mesma com toda perfeição” (ALIGHIERI, apud KUHN, 2002, p.137).

Dante supôs, em sua obra, uma organização análoga para o interior da Terra – associado ao inferno – e para o Purgatório – associado a uma montanha cujo topo permitia o acesso aos Céus, dividindo cada um desses espaços em nove níveis hierárquicos. Sendo as virtudes e pecados, associadas a cada um desses níveis, forças que ameaçam ou protegem o destino de cada ser humano individual, vê-se que as qualidades que encontram sua morada na organização vertical do mundo exterior estão presentes também no universo interior de cada sujeito. Como explica o historiador Aron Gurevich, a relação do homem medieval com o mundo não era do tipo sujeito – objeto, mas de uma unidade profunda entre o interior e o exterior:

“Então, a relação do homem medieval com a natureza não era aquela de um sujeito com um objeto. Ao contrário, era uma relação de descoberta de si mesmo no mundo externo, combinada com uma percepção do cosmos como sujeito. No universo, o homem via em ação as mesmas forças que percebia em si. Nenhuma fronteira nítida separava o homem do mundo: encontrando

²Para descrever adequadamente o fenômeno da precessão dos equinócios - lento movimento do polo celeste (ou, do ponto de vista Copernicano, do eixo de rotação da Terra) em torno ao polo da eclíptica, de período igual a 26 mil anos - os astrônomos muçulmanos acrescentaram, às oito esferas do sistema ptolomaico, uma nona capaz de reproduzir este movimento. Esta esfera era posicionada antes da última esfera, o *Primum Mobile* que descreve o movimento diurno das estrelas, de forma que esta última passa a corresponder à nona esfera celeste (KUHN, 2002, p. 302).

(a) Representação medieval do universo Aristotélico-Ptolomaico (KOYRÉ, 1986, p. 11).

(b) Organização dos céus em associação às virtudes, em *A divina Comédia*.

(c) Organização do Monte Purgatório, em *A divina Comédia*.

(d) Organização do interior da Terra, associado às camadas do inferno, em *A divina Comédia*.

Figura 4.3: Organização da Terra, dos Céus e do “Monte Purgatório” em *A divina Comédia*, de Dante Alighieri. Figuras extraídas de Wertheim (2001, p.35-7).

no mundo uma extensão de si mesmo, o homem se descobre um análogo do universo. Um espelha ao outro” (GUREVICH, apud WILES, 2003, p. 44).

Tomada em sentido literal, a epopeia de Dante descreve a viagem do poeta através do Universo (KUHN, 2002, p. 135-7). A viagem começa na superfície da Terra esférica, em direção descendente, rumo ao centro da Terra, passando pelos nove círculos do inferno, criados em analogia às nove esferas celestes (figuras 4.3). No final dessa descida, encontra a mais vil e corrompida de todas as regiões, o centro do Universo, ocupado pelo Demônio e sua legião. Em seguida, Dante regressa à superfície da Terra e encontra a montanha do Purgatório, cuja base está sobre a Terra e cujo cume alcança as regiões aéreas que envolvem o globo terrestre. Conforme sobe os diversos níveis dessa montanha (também constituídos em analogia às nove esferas celestes), o poeta torna-se cada vez mais leve, até habilitar-se a entrar ao Céu. Vê-se assim que são os pecados que conferem peso ao homem. O poeta viaja por cada uma das Esferas Celestes, onde conversa com os espíritos que nela moram, até que o percurso culmina com a visão do trono de Deus, situado na mais elevada das esferas, o Empíreo.

Como conclui Kuhn, o homem medieval, ocupando, física e espiritualmente, um lugar intermediário entre a matéria mais deteriorada e o espírito mais puro:

“vive na sordidez e na incerteza e está muito perto do Inferno. Mas a sua localização central é estratégica, porque em todo lado está a ser visto por Deus. Tanto a natureza dupla do homem como a sua posição intermédia reforçam a escolha que constitui o drama do Cristianismo. Ele pode seguir a sua própria natureza corpórea e terrena descendo até ao seu lugar natural no centro corrupto, ou pode elevar-se seguindo a sua alma através das esferas até alcançar Deus” (KUHN, 2002, p. 136).

Frente a todo esse simbolismo hierárquico, podemos imaginar o impacto que a destruição, com a Revolução Copernicana, de qualquer possibilidade de ordenação vertical absoluta provocou, ao constituir um modelo de universo no qual a direção “para baixo” deixa de ter qualquer relação com o centro do universo. Não é a toa, dessa forma, que o novo modelo de universo Copernicano foi tantas vezes associado, metaforicamente, a uma completa subversão social, a uma completa transformação de valores, como na peça *Vida de Galileu*, de Brecht:

“E assim, na lei do preceito divino vão girando
Em torno dos de cima os inferiores
Em torno dos da frente os posteriores
Assim na Terra como no Céu.
E em torno do papa circulam os cardeais,
E em torno dos cardeais circulam os bispos,
E em torno dos bispos circulam os secretários,
E em torno dos secretários circulam os funcionários,
E em torno dos funcionários circulam os artesãos,

E em torno dos artesãos circulam os servos,
 E em torno dos servos circulam os cães, os frangos e os mendigos.
 (...)

 De um salto ergueu-se o douto Galilei,
 Botou fora a Bíblia, sacou do telescópio,
 Lançou um olhar ao Universo
 E disse ao Sol: parado, Sol! Parado!
 De agora em diante *a creatio Dei*
 Vai virar, virará pro outro lado.
 De agora em diante a moça fina, ei!
 Virará! Vai servir o seu criado” (BRECHT, 1991a).

De nossa discussão, podemos notar como, nessa dimensão expressiva, a afirmação do caráter isotrópico do espaço físico, longe de ser uma verdade evidente, ou uma simples definição relativamente neutra com relação a valores e visões de mundo, pode assumir um caráter altamente questionador, polêmico e até mesmo revolucionário.

4.2.1 Jogos e reflexões a propósito do formato da Terra

Embora o sistema de mundo Aristotélico-Ptolomaico permita, como vimos, a estruturação de uma hierarquia *vertical* absoluta, no sentido de que é sempre possível comparar dois lugares, estabelecendo qual deles é o mais alto e qual é o mais baixo, a compreensão que ele oferece de uma Terra esférica, localizada no centro de um Universo também esférico – centro este que é associado ao lugar natural dos corpos compostos predominantemente pelos elementos terra ou água – representa uma sofisticada construção intelectual que envolve, entre outros elementos, a noção de uma direção vertical relativa.

Talvez fosse mais fácil ao homem antigo ou medieval observar um modelo de seu sistema de mundo e localizar-se nele, compreendendo que a direção que ele associa ao “para baixo” é, na verdade, uma direção radial, voltada sempre para o centro do universo. Com a multiplicidade de centros própria do sistema heliocêntrico, talvez a dificuldade em associar a direção “para baixo”, que a pessoa vê e sente, com uma direção radial voltada para um centro móvel, que gira ainda em torno de um segundo centro, seja maior. Nesse sentido, é, talvez, compreensível que uma pessoa observe um desenho ou mesmo uma maquete do sistema heliocêntrico e sobreponha a eles uma organização vertical do espaço, “exterior” ao modelo, não compreendendo, por exemplo, como é possível que ela possa ficar “de cabeça para baixo”.

Um dos motivos que me levou a dar um certo destaque, no presente trabalho e na disciplina *Oficina de Projetos*, a essa questão da relatividade da direção vertical foi a percepção que fui adquirindo aos poucos, em meu cotidiano de trabalho docente, de que questões como essas não constituem um substrato de compreensão comum a todos os estudantes de um curso de

licenciatura em física, ao contrário do que era minha expectativa inicial. O trabalho de Cristina Leite (2006) me mostrou que, com alguma frequência, professores de ciências tem concepções incompatíveis com a noção de uma Terra esférica, aproximando-se da noção de uma Terra plana. Não deve ser uma surpresa, portanto, que haja também estudantes de um curso de licenciatura em física com dúvidas a propósito dessas questões. No contexto altamente desorganizado da educação brasileira, os estudantes são levados a percursos formativos altamente não-lineares e frequentemente travo contato com estudantes com conhecimentos mais avançados em uma área específica e algumas dúvidas em temas considerados muito mais fundamentais e elementares.

Quando um adulto sente-se desconfortável com “fatos” considerados, em nossa cultura, óbvios e auto-evidentes – como estes associados à esfericidade da Terra e também ao heliocentrismo – ele sente vergonha de suas dúvidas. A tendência à formação, então, de uma relação mais dogmática com o conhecimento se fortalece. Afinal: quem nunca viu uma foto da Terra, vista do espaço? Como é possível ter dúvidas de que ela é “redonda”? Claramente, mais difícil do que evocar evidências empíricas que “demonstrem” a esfericidade (ou ao menos o caráter não-plano) da Terra, é constituir uma compreensão do mundo capaz de abarcar a possibilidade de uma Terra esférica e móvel. E quão pouco evidente, ou melhor, quão evidentemente falsa é a proposição de que “massa” atrai “massa”? Se não estiver inserida no sistema simbólico associado à mecânica clássica, essa afirmação levanta uma infinidade de contestações, tais como: “*por que então não observamos a atração entre dois corpos quaisquer?*”; “*como pesar a Terra?*”; etc.

Dedicar assim um esforço considerável a propósito de questões consideradas “óbvias” visa desconstruir uma relação dogmática com o conhecimento, valorizar a atitude epistemológica de questionamento a propósito dos fundamentos de nossas convicções. De resto, sem esse tipo de atitude, temos poucas esperanças de rever todo um entulho de conhecimentos equivocados ou mal assimilados que aprendemos ao longo de nossa vida escolar e não-escolar³.

Como as demais formas de relatividade, a da direção vertical se opõe à experiência imediata. A abordagem aqui proposta vai na direção de explorar ao máximo essa tensão com o imediatamente evidente. Mais do que simplesmente negar o imediato, brincar com suas contradições e explorá-las poeticamente.

Com esse objetivo, propus um jogo de improvisação teatral em que os participantes deveriam “subverter a direção vertical”. Deveriam fazer-nos crer que a direção vertical deles não era a mesma que a nossa e, a partir daí, explorar as potencialidades dessa situação (quadro 7). Nas

³Posso encontrar registros dos efeitos desse trabalho por exemplo nas reflexões que estudantes publicaram no *blog* da disciplina a que fiz referência ao discutir a constituição de debates / julgamentos como forma de constituição de uma relação de estranhamento com relação ao conhecimento físico, na seção 2.5.2 na página 90.

Quadro 7 Proposta de jogo: “*subversão*” da direção vertical.

objetivos: “*Estranhar*” a distinção entre vertical e horizontal.

orientação: Construir um jogo de improvisação em que o “onde” ficcional tenha a direção vertical girada.

foco: Tornar real (fiscalizar) o lugar e a direção vertical ficcionais.

exemplos: Uma pessoa está sobre um banco, trocando uma lâmpada; o banco cai, mas a pessoa segue flutuando até ser salva por um anjo voador. Um halterofilista levanta com grande tranquilidade grandes pesos, mantendo-os inclusive suspensos no ar, se mostrando para uma moça que lê uma revista.

observação: A possibilidade de “brincar” com o caráter fantástico ou absurdo associado à construção dessa segunda verticalidade, se não surgir naturalmente, pode ser proposta em uma segunda repetição do jogo, constituindo assim, de forma mais explícita, as relações de estranhamento pretendidas.

avaliação: Conseguimos ver e crer no lugar e na direção vertical propostos?

ref. vis.: figura 4.4.

figuras 4.4, estão expostas fotos extraídas do registro em vídeo dessa atividade (a operação da câmera e seu posicionamento também ficou a cargo dos alunos-jogadores). Ao longo do semestre, outras explorações dessa proposta foram realizadas autonomamente por alguns estudantes e postadas no *blog* da disciplina. Nas figuras 4.5 e 4.6, vemos a montagem de uma fotografia e a criação de um vídeo que brincam com a subversão da direção vertical. Para dialogar com essas produções dos estudantes, eu postei registros de obras do artista plástico brasileiro Tiago Judas e da bailarina americana Trisha Brown que também criam a partir do jogo com essa mesma questão (figuras 4.7 e 4.8). Enquanto o vídeo de Tiago Judas trabalha com a mesma ilusão criada pelas imagens dos alunos, realizando movimentos que parecem impossíveis devido à ilusão criada, a bailarina Trisha Brown propõe o contrário, ou seja, não cria uma ilusão, mas realiza um deslocamento que seria uma simples caminhada não fosse pelo fato de que ela é realizada trocando, de fato, a vertical pela horizontal. Na figura 4.9, vemos a referência à “Casa Maluca”, trazida por um aluno, instalação do Museu Catavento que, pela organização das paredes e objetos, cria ilusões com relação a verticalidade. Por fim, na figura 4.10, vemos uma colagem realizada por uma estudante que questiona o sentido da noção de vertical em escala astronômica. O seguinte texto acompanha as imagens:

“Quem foi que disse que o céu está acima de nós? Ou que estamos abaixo de um céu inteiro? Estamos de pé ou de ponta cabeça?
Quem decide isso somos nós! Afinal, tudo depende do referencial. E o seu referencial, qual é?”
(Contribuição de estudante, publicada no *blog* da disciplina).

Figura 4.4: Instantâneos extraídos de vídeos realizados em aula a partir da proposta de operar uma *subversão* da direção vertical.

Figura 4.5: Foto elaborada por aluno da disciplina, intitulada “Vertical ou horizontal?” e foto mostrando os “bastidores” da montagem.

Figura 4.6: Instantâneos extraídos de vídeo elaborado por aluno da disciplina, intitulado “De horizontal a vertical”

Figura 4.7: Instantâneos extraídos do vídeo da instalação “Matiz vertical” do artista plástico Tiago Judas.

Figura 4.8: Fotos de trabalhos da bailarina Trisha Brown. A esquerda “Man Walking Down the Side of a Building” (1970).

Figura 4.9: Fotos tiradas por aluno na “Casa Maluca” do Museu Catavento.

Figura 4.10: Colagem realizada por estudante a partir da imagem de Galáxia e boneco, compondo as fotografias de nome “Norte, sul, para cima, ou para baixo?”

Figura 4.11: Conjunto de imagens postadas por estudante em reflexão intitulada "Quase todas as imagens são baseadas em algum engano".

Entre os comentários que foram feitos a respeito dessa postagem, cito um:

“É uma discussão interessante, pois a Terra gira constantemente, então se o céu esta acima e o inferno abaixo, nós ficamos de dia no céu e à noite no inferno, que dureza. Porém o que é céu e o que é inferno?, não temos uma explicação clara sobre isso e por isso não há como relacionar a nossa posição espacial a coisas imaginarias. A montagem foi bem interessante, o fundo preto fez parecer que era uma imagem fotográfica da galáxia e que o boneco tinha sido inserido na imagem, mas até a imagem foi construída no fundo preto. Muito bem montado”.

(Comentário de estudante, publicado no blog da disciplina).

É interessante que os jogos em torno à relatividade da verticalidade tenham levado os estudantes, nessa última contribuição e comentário, a refletir justamente a respeito da representação da verticalidade em escala astronômica e de suas repercussões no universo simbólico associado às representações religiosas, mostrando como o o espaço simbólico que se expressa n’*A divina comédia* de Dante mantém-se presente – embora não na mesma forma – em nossas representações espaciais atuais.

Outra contribuição que podemos remeter às reflexões associadas à relatividade da verticalidade intitulava-se “Quase todas as imagens são baseadas em algum engano” e mostrava, entre outras, as figuras 4.11. A apresentação de uma imagem “invertida” do mapa mundi leva ao questionamento da associação entre “norte” e “sul” e “acima” e “abaixo”, correspondência que ilustra os “enganos” em que são baseadas “quase todas as imagens”, segundo o título. Um texto acompanhava a contribuição, do qual extraio um fragmento:

“Se refletirmos apenas um pouco ao observar essa imagem [figura 4.11b], podemos tirar várias conclusões, como por exemplo, que a versão [de mapa mundi] que conhecemos seja apenas uma forma de enxergar o mundo e que podem existir muitas outras, como os exemplos de mapas abaixo [figura 4.11c]. Mas será que é só um acaso o mapa nos ser apresentado desde crianças tal como o conhecemos? Ou será que também é o que o ‘autor’ quer nos transmitir?”

Quadro 8 Proposta de jogo: Debate sobre o formato da Terra

- objetivos:** desenvolver a percepção a respeito dos fundamentos de nossas convicções; exercitar a escuta de argumentos lógicos e a elaboração, em tempo presente, de contra-argumentos; estabelecer vínculos entre a representação abstrata do espaço astronômico e a percepção concreta do espaço vivencial.
- orientação:** os jogadores dividem-se em três grupos e preparam uma argumentação inicial: os defensores de uma Terra plana, os defensores de uma Terra esférica e um grupo de jurados. No jogo, cada grupo será representado por um jogador, que poderá, a qualquer momento ser substituído, por solicitação própria, de algum membro de sua equipe ou por sinalização do professor. Os demais jogadores permanecem em um público, prontos para realizar a substituição indicada a qualquer momento. O diálogo entre os três representantes das equipes se desenvolve no espaço de acordo com a seguinte dinâmica: o jogador que deseja falar se desloca pelo espaço até uma nova posição (explorando os planos baixo, médio e alto), da qual ele fala e na qual ele permanece até a próxima vez em que for se manifestar. Ao final do debate, os jurados, que a todo tempo puderam formular questionamentos, dão o seu parecer, definindo a tese vencedora.
- foco:** na convicção associada ao grupo a que pertence (na crença no caráter plano da Terra, ou em seu caráter esférico ou na ausência de posicionamento prévio, mantendo-se em um estado de indecisão); na escuta dos demais grupos e no desenvolvimento de contra-argumentos.
- avaliação:** Em que medida os grupos conseguiram permanecer convictos na posição que deveriam defender ou, no caso dos jurados, conseguiram se manter sem um posicionamento prévio?
-

(Fragmento de contribuição de estudante, publicada no blog da disciplina).

Debate sobre a esfericidade da Terra. Ao longo dos semestres em que desenvolvi a disciplina “Oficina de Projetos”, experimentei diferentes formas de organização de debates, buscando utilizar as ferramentas propiciadas pela dinâmica de jogos teatrais. O risco que procurei evitar nessas proposições é o de transformar o debate em uma disputa passional em que o exercício da escuta e da argumentação fosse substituído por uma simples repetição mecânica e enfática das teses que deveriam ser defendidas por cada grupo, sem uma progressiva qualificação do debate. Ao mesmo tempo, um objetivo mais difícil do qual procurei me aproximar – não só nessa atividade, como também na grande maioria dos jogos propostos – refere-se ao estabelecimento de relações entre um espaço abstrato, teórico, associado, nesse caso, à representação astronômica da Terra e o espaço mais próximo de nossa vivência corporal. Apresento no quadro 8 a última forma em que experimentei a proposição deste jogo. Por compreender a capacidade de manter-se em um estado de atenção, escuta e contra-argumentação não apenas

como um estado “mental”, mas como um estado no qual o corpo está envolvido integralmente, as regras do debate procuraram provocar este estado de envolvimento integral dos jogadores na ação de debater. Para isso, ao invés de todo o grupo participar ao mesmo tempo do debate, a dinâmica envolvia a participação de três jogadores a cada vez. A possibilidade de a qualquer momento substituir os jogadores visa criar em todos um estado de prontidão e de envolvimento com o debate. Além disso, a adoção de uma regra que intercala a movimentação do jogador até um ponto e uma posição de sua escolha e a emissão de discurso e posterior escuta dos demais, em pausa nessa posição, pretendia de alguma forma aproximar a argumentação teórica da partitura de movimentação criada. Como o uso da lousa não era previsto, as imagens envolvidas na discussão precisavam ser criadas com o corpo, “no espaço”.

Realizei debates a propósito do formato da Terra, com grupos distintos, por três vezes consecutivas, alcançando algumas vezes um envolvimento maior, outras menor, com o jogo. Uma parcela dos estudantes permanece pouco confortável com esse tipo de proposição, não compreendendo bem o sentido de realizar um debate entre uma doutrina “errada” e uma “certa”. Uma outra parcela, em compensação, costuma envolver-se com o desafio – especialmente se ele se associa à defesa da doutrina “errada” – e esforça-se bastante na construção da argumentação. Alguns elementos gerais que pude identificar nesses debates estão sintetizados a seguir:

- Foi frequente a construção de uma defesa relativamente ingênua da doutrina de uma Terra esférica. Em particular, a justificação da existência de uma força de atração gravitacional entre “corpos com massa” foi algumas vezes pressuposta como verdadeira e evidente, sem nenhuma justificação, e outras vezes foi justificada como uma conclusão evidente que se pode obter da queda de um objeto na Terra. Além do mais, algumas vezes, também os defensores da Terra plana se deixaram convencer por esse tipo de demonstração.
- Na única vez em que a doutrina da Terra plana saiu vitoriosa do debate, o grupo que a defendia (em particular, uma integrante desse grupo), aderiu com bastante veemência não apenas a argumentos empíricos em defesa da doutrina, como também e principalmente a uma visão de mundo que a justificasse.
- Em alguns momentos, o juri já apresentava de antemão uma preferência pela doutrina da Terra esférica, mas, de maneira geral, ele conseguiu manter uma postura não-tendenciosa.
- Argumentos empíricos em defesa da Terra esférica tais como a forma gradual de desaparecimento de um barco no horizonte, ou a sombra da Terra na Lua em um eclipse foram utilizados com pouca frequência.
- As diferenças do horário e de duração do dia ao longo da Terra foram um argumento mais

frequente em defesa da Terra esférica.

- A adoção de um modelo em que o sol, como um poste em uma rua, iluminasse distintamente diversas partes da Terra devido ao fato de algumas partes estarem mais próximas e outras mais distantes foi um modelo comum em defesa da Terra plana e em resposta ao tipo de questionamento evocado no item acima.
- A impossibilidade de perceber a curvatura da Terra em um experimento *in loco* foi um argumento frequente em defesa da Terra plana.
- A possibilidade de dar uma volta ao mundo foi também bastante utilizada em defesa da Terra esférica. Entretanto, os defensores da Terra plana responderam dizendo que também em um plano é possível descrever um círculo.
- Compreender como não caímos de uma Terra esférica e, por outro lado, porque a água da Terra não escorre pelo “fim do mundo” em uma Terra plana foram desafios para os dois grupos.
- Modelos “mistos”, tais como uma Terra plana de um lado e “redonda” do outro (um hemisfério) ou uma Terra plana e circular foram eventualmente propostos.

Uma postura frequente nesses debates, especialmente entre os mais resistentes a essa proposta de jogo, envolvia a crença de que era “óbvia” e evidente a esfericidade da Terra e o desprezo a priori por qualquer argumentação em sentido contrário. Isso, evidentemente, não impedia que esses jogadores eventualmente “se traíssem”, demonstrando modelos de mundo incompatíveis com uma Terra esférica. Por exemplo, ao invocar o “experimento” de Eratóstenes, frente à solicitação de explicá-lo, certa vez, os jogadores, um pouco inseguros sobre como proceder, fizeram um desenho análogo ao da figura 4.1c na página 171, explicando as diferentes inclinações observadas da incidência solar através de uma imagem análoga à de um poste em uma rua plana, modelo que se mostra incompatível com a esfericidade da Terra. Tornar mais explícitas essas incongruências associa-se assim à intenção de combater uma relação dogmática com o conhecimento, relação que, em alguma medida, está presente em todos nós.

Ao mesmo tempo, mostrar o caráter “difícil” da argumentação envolvida na demonstração de um fato aparentemente tão banal vincula-se ao desejo de mostrar que não é apenas a física do século XX que se revela complexa e sofisticada, mas que essa é uma característica de todo o pensamento científico (e também do não-científico). Como discutiremos a seguir, as diferenças e as semelhanças entre planos e esferas revela uma sutileza muito maior do que a que transparece à primeira vista.

4.3 Retas e círculos como elementos de estruturação do espaço

Ao discutirmos a verticalidade, já fomos remetidos à organização Aristotélica do cosmos em esferas concêntricas e à forma como a verticalidade se articula em uma Terra esférica. Entretanto, pouco tratamos, até agora, de sentidos atribuídos a essa organização circular do espaço.

A narração de um evento vivido por mim na disciplina *Oficina de Projetos* talvez seja uma forma interessante de iniciar essa reflexão. Em uma ocasião, tivemos um semestre que, mal iniciou, foi interrompido pela eclosão de uma greve. No primeiro dia de aula após o término da greve, solicitei aos estudantes que formassem um círculo para conversarmos. Então, um estudante, que fala de forma bastante espontânea, disse que odiava aquele tipo de formação, pois parecia uma reunião dos “*Alcoólicos Anônimos*”. Já um pouco acostumado a certas manifestações de estranheza por parte dos estudantes – o que considero parte integrante do trabalho a que me proponho – respondi contando que a preferência pela organização circular era uma tradição importante do pensamento ocidental, falei da organização do espaço teatral em forma de “*Arena*”, da organização do sistema planetário Ptolomaico em esferas concêntricas, da resistência de Galileu em aceitar a proposição de Kepler de um movimento planetário elíptico. Disse ainda que uma das conotações que essa organização circular adquiria associava-se a uma tradição democrática, em que, pela própria simetria da figura, todos têm a mesma importância, estando essa organização associada à constituição das “*Assembleias*” em Atenas e que, portanto, aquela forma geométrica era a mais indicada para o assunto que tínhamos a discutir naquele momento, que era o calendário de reposição de aulas. O estudante respondeu apreciando minha disposição democrática e dizendo que só restava descobrir se aquela disposição era mesmo “para valer”. Entretanto, aquela pequena discussão foi para ele (e também para mim) tão significativa que, até o final do semestre, ele continuou se referindo ao que apelidou de “círculo democrático” e disse, por diversas vezes, que esse tipo de postura, associado ao “círculo democrático”, era um aprendizado do qual ele não iria se esquecer.

As distintas formas geométricas seguramente têm um papel na estruturação do espaço, conferindo-lhe “substância”, conferindo-lhe alguma forma de “existência”, ainda que essa existência seja de natureza, para alguns, meramente relacional, associada às relações de posicionamento que os corpos estabelecem uns com os outros. Nesse sentido, a forma circular ou esférica estrutura o espaço de uma maneira distinta daquela que as formas retas ou planas o fazem. Podemos opor, à organização em esferas concêntricas de um mundo finito e fechado (representada nas figuras 4.3 na página 187), uma organização espacial através de três retas perpendiculares (figura 4.12), característica do espaço (infinito, aberto) moderno, representação

tradicionalmente associada à figura de René Descartes.

Figura 4.12

Da mesma forma, podemos opor concepções “circulares” de tempo, predominantes em civilizações “arcaicas” – tais como os caldeus, as culturas meso-americanas pré-colombianas, a Índia, China, Egito e Grécia antigas – a concepções “lineares”, que predominam em nossa cultura (REDONDI, 2010, p. 30). A utilização dos adjetivos “linear” e “circular”, para qualificar a experiência do tempo, se deve à distinção *topológica* que se verifica entre essas duas figuras: enquanto a reta se configura como um conjunto aberto e ilimitado, a circunferência corresponde a um conjunto fechado – no sentido de

que se “fecha” sobre si mesma – mas também ilimitado, já que, tal como ocorre com a reta, se a percorrermos, jamais encontramos o seu “final”. Nesse sentido, a noção de um tempo “circular” associa-se a uma intuição que se dá conta, acima de tudo, dos processos cíclicos da natureza, compreendendo-os como característica geral do desenvolvimento temporal, em um processo de “*eterno retorno*”. Já a sua compreensão associada à imagem de uma “reta” remete a um tempo que nunca se repete, mas tampouco jamais começa ou termina. Assim, talvez a compreensão predominante de tempo em nossa cultura associe-se mais a um segmento de reta ou a uma semi-reta...

Em um olhar talvez um tanto grosseiro para o desenvolvimento histórico do pensamento científico – mas não por isso inválido – podemos perceber, ao comparar as representações de espaço e tempo Aristotélicas e aquelas associadas à mecânica clássica Newtoniana, uma superação da hegemonia das formas circulares pela das formas retas. Podemos exemplificar essa interpretação através da discussão dos movimentos naturais. Na física Aristotélica, os movimentos naturais associavam-se a movimentos retos ou circulares, mas os movimentos circulares eram os mais perfeitos, uma vez que se associavam ao mundo incorruptível supra-lunar, que apresentava apenas movimentos uniformes, cíclicos. Já na mecânica Newtoniana, também haverá um movimento “natural”, quer dizer, que ocorre sem necessidade de forças, mas este movimento terá uma única forma possível: será *retilíneo e uniforme*⁴. Um espaço capaz de abarcar um movimento dessa natureza terá de ser, também, um espaço *infinito, aberto* tal como demanda a topologia de uma reta.

É interessante notar que essa *antinomia* – como apelidou Lévy-Leblond (2004) – entre o *reto* e o *curvo* ressurge com bastante vigor na história da física e da matemática a partir do

⁴Galileu parece representar um interessante “meio de caminho” a esse propósito, uma vez que, ainda preso à hegemonia do círculo, rejeita por exemplo a proposição por Kepler de um movimento planetário elíptico, permanecendo, nesse sentido, ainda preso às concepções Aristotélicas ao considerar que os movimentos planetários (“naturais”) deveriam ser circulares.

século XIX. Podemos comparar, por exemplo, a proposição de argumentos que procuraram, com sucesso, demonstrar empiricamente a curvatura da Terra a argumentos que procuraram, sem sucesso, identificar empiricamente a curvatura, não da Terra, mas do próprio espaço, no contexto da descoberta das geometrias não-euclidianas. Comparamos assim, a observação, já realizada pelos gregos (CREASE, 2006, p. 19), da forma como um barco desaparece no horizonte (do casco para cima) com os experimentos propostos por Lobachevski, no século XIX, associados à medida da soma dos ângulos de triângulos envolvendo distâncias astronômicas (JAMMER, 1954, p. 145,8)⁵. Da mesma forma, é relevante notar que, com a relatividade geral, o movimento natural – quer dizer, aquele que ocorre na ausência de forças – novamente não será necessariamente retilíneo, podendo assumir diversas formas, dependendo da *curvatura* do espaço-tempo. Por fim, a estruturação topológica do espaço, o questionamento a respeito de seu caráter aberto ou fechado, volta a ser, no século XX, uma questão científica em aberto:

“A distinção entre o caráter aberto ou fechado do espaço físico está na base da maior parte das grandes interrogações sobre a natureza do nosso universo. (...) Assim, a passagem, anteriormente, de um mundo plano para uma Terra redonda é um arquétipo de mutações intelectuais recentes ou futuras. Perguntar-se se o universo é fechado ou aberto corresponde a se interrogar sobre o caráter respectivamente circular ou linear das três dimensões do espaço” (LÉVY-LEBLOND, 2004, p. 72).

Vemos, com essas observações, quão sofisticado e “atual” pode se tornar um debate a respeito do formato da Terra. Interessa-nos abordar a distinção entre o reto e o curvo, em associação com sentidos oriundos de outros empreendimentos culturais. Pretendemos, a partir daí, tornar mais significativa e expressiva a reflexão a propósito da transição entre distintos modelos científicos de organização espacial. Concentraremos-nos, nas próximas seções, na comparação entre as concepções Aristotélicas – também em sua releitura medieval – e aquelas associadas à revolução Copernicana e seus desdobramentos.

⁵Como nota Lévy-Leblond (2004, p. 69), o fato de a curvatura da Terra ter sido percebida, através de observações análogas a esta do desaparecimento de um barco, muito antes de ser possível observá-la “de fora” ou de nela dar uma volta completa, ilustra uma distinção *local* entre o reto e o curvo. Da mesma forma, a verificação da soma dos ângulos de um triângulo também permite, localmente, distinguir uma superfície “reta” de uma superfície “curva”, em uma medida *intrínseca* de sua curvatura, quer dizer, independente de esta superfície estar ou não imersa em um espaço dimensionalmente superior. Segundo o autor, essa distinção local é complementada pela distinção global associada ao caráter fechado do círculo e aberto da reta, a que já fizemos referência acima.

4.4 O mundo fechado e seus contornos

O círculo no espaço teatral antigo.

Se é verdade, como afirmamos há pouco, que uma forma geométrica permite estruturar, dar forma e substância a um espaço, há, por outro lado, também outros elementos que permitem realizar esse tipo de estruturação. Em um livro em que procura associar a organização espacial das mais diversas manifestações de natureza teatral ao contexto filosófico-cultural de cada período histórico, o historiador do teatro David Wiles (2003) elenca, para pensar a origem da organização do espaço teatral, algumas características de lugares que a cultura ocidental reconhece como sagrados: a primeira é a referência a uma região natural, tipicamente uma pedra, uma árvore antiga ou uma nascente; a segunda, a associação com uma tumba, região em torno da qual os cultos antigos frequentemente eram centrados; a terceira diz respeito aos pontos cardeais e em especial à direção Leste. O caráter sagrado de um local é conquistado, em geral, em função do desenvolvimento de um ritual. Reciprocamente, os espaços tornam as performances sagradas, em um processo cíclico de reforço:

“O lugar sagrado surge espontaneamente onde os atos sagrados deixam para trás seus vestígios: aqui uma fogueira, lá manchas de sangue e óleo sobre a pedra – rudimentos de altares de diferentes tipos e com diferentes funções” (RAFFAN, apud WILES, 2003, p. 27).

A distinção entre a representação teatral e o ritual é uma premissa fundamental da estética ocidental, podendo ser encontrada em Aristóteles, para quem o ritual associa-se ao sagrado enquanto a representação teatral à imitação da realidade. Wiles (p. 29-32) remete a construção dessa distinção à separação dos espaços destinados ao ritual e à performance teatral. O teatro da vila de Ikarion, que, segundo a lenda, é associada às origens do teatro, consistia de um templo em homenagem a Apolo (que era suplantado por Dionísio nos meses de inverno, destinados às manifestações teatrais), um altar e uma área irregular, com forma definida pela topografia, destinada à performance teatral. Não era muito mais que um lugar de chegada de uma procissão. Enquanto a maior parte do público assistia às representações das encostas, o espaço era organizado de forma a que a estátua do deus no templo “olhasse”, através da porta do templo, na direção do espaço de representação.

Essa organização do espaço se transforma em Atenas, onde, a partir de uma estrutura similar à de Ikarion, a encosta destinada ao público é escavada de forma a ficar em uma inclinação mais conveniente e é construído um edifício com colunas separando o santuário da área teatral. Com a construção, no século IV a.C., de um auditório circular de pedras na área teatral, surge uma nova representação para o espaço sagrado, associada à perfeição das relações geométricas

internas à própria organização espacial, ao invés de associada à ligação com o templo.

A paixão pelo círculo é, segundo Wiles (p. 163), uma marca característica da tradição dramática ocidental, capaz de carregar sentidos bastante diversos, como por exemplo aqueles associados a uma tradição democrática, representando o caráter igualitário, simétrico de todos os integrantes, ou associados a uma noção de correspondência harmônica entre micro e macrocosmo, em que o espaço teatral é capaz de reproduzir alguma ordem universal. Este último sentido pode ser encontrado no Timeu de Platão, em que o universo, com a Terra esférica rodeada por sete esferas concêntricas em rotação, sustentando a Lua, o Sol e outros cinco planetas, emitindo uma música perfeita, inaudível aos nossos ouvidos, é descrito como uma espécie de corpo e, ao mesmo tempo, o corpo é uma versão em miniatura do universo. Como comentamos anteriormente, essa correspondência macro-microcosmo se explicita também na leitura que Dante faz do universo esférico Aristotélico-Ptolomaico.

A circularidade do espaço teatral ateniense inicial devia servir principalmente ao ditirambo, uma dança circular sagrada, para cinquenta pessoas. O auditório circular no mundo helenístico servia não apenas à tragédia e à comédia como era também espaço para as assembleias políticas, funcionando, dessa forma, como corporificação da estrutura social (WILES, 2003, p. 168). A construção de um palco, chamado *Skene* (que deu origem à palavra Cena), atrás da área circular (chamada Orquestra), permitiu a criação de um espaço de exposição mais frontal para a tragédia e a comédia. A presença de um altar, com uma pedra sagrada⁶, no centro da Orquestra, dá ao lugar seu caráter absoluto (figura 4.13). Por outro lado, as diferentes direções da plateia são reservadas às diferentes tribos, com a direção central reservada aos chefes de cada grupo. O espaço teatral simboliza, assim, tanto a ordem da *polis*, quanto a harmonia cósmica e humana da mente, corpo e ambiente, sendo que o espaço político, associado à tragédia, é mais frontal do que o sagrado-ritualístico, associado à dança circular.

No teatro do período helenístico, os atores ficavam como que em relevo no estreito palco da *Skene* e o espaço vazio da Orquestra circular criava uma relação de distanciamento estético, com os sons do coro ajudando a separar os imitadores da vida daqueles que são imitados (WILES, 2003, p. 212). A pintura de painéis que criavam a ilusão de tridimensionalidade incrementavam a sensação do palco como um espelho bidimensional da vida. Porém, como veremos a seguir, diferentemente do que viria a ocorrer no Renascimento, a ilusão de tridimensionalidade que a pintura grega criava não definia, em uma localização tão singular e precisa, o ponto de vista associado àquela representação, de forma que ela conseguia satisfazer, de forma aproximadamente igual, a todos os espectadores, independentemente de sua localização na plateia.

⁶Essa descrição refere-se ao teatro de Epidauro, segundo Wiles (2003, p. 168).

Figura 4.13: Representação esquemática do Teatro de Epidauro (século IV a.C.).

A relação entre a organização circular do teatro e a exposição frontal da *Skene* nos remete ao diálogo entre formas retas e curvas. Adicionalmente, a utilização de painéis *planos* que nos dão a sensação de ver, através deles, uma cena em profundidade nos remetem ao tipo de construção característico da pintura em perspectiva renascentista. Mas a “perspectiva antiga” é, como veremos, bastante diferente da renascentista.

A profundidade no espaço pictórico antigo.

As figuras 4.14 e 4.15 podem nos servir de referência para discutirmos algumas semelhanças e diferenças entre essa “perspectiva antiga” e a perspectiva renascentista. Nas duas imagens, vemos que os artistas propõem uma representação em que a superfície pictórica deve ser imaginada como uma espécie de janela através da qual vemos uma cena que possui volume, profundidade. Esse procedimento ilusionista, pelo qual cremos “ver através”, é o ponto que nos permite, acompanhando a definição do historiador da arte Erwin Panofsky (1999), associar esse tipo de representação a uma forma de perspectiva. O fato, entretanto, de existirem muitas possibilidades de criar esse tipo de ilusão faz com que Panofsky conceba a possibilidade de múltiplas formas de perspectiva e associe-as, no mesmo espírito que aqui tentamos proceder, a formas simbólicas que expressam distintas visões de mundo:

“Se a perspectiva não é um momento artístico, constitui, no entanto, um momento estilístico e, utilizando o feliz termo criado por Ernst Cassirer, deve servir à história da arte como uma daquelas ‘formas simbólicas’ através das quais ‘um particular conteúdo espiritual se une a um signo sensível e se identifica intimamente com ele’. E é, neste sentido, essencialmente significativa para as diferentes épocas e campos artísticos, não só enquanto tenham ou não perspectiva, mas com relação ao tipo de perspectiva que possuam” (PANOFSKY, 1999, p. 24-5).

Figura 4.14: Jarro com figuras negras, segunda metade do século IV a.C (PANOFSKY, 1999, p. 57).

Figura 4.15: Ulisses nos infernos, século I a.C. De Via Grazioza, Esquilino (PANOFSKY, 1999, p. 61).

Ao contrário do que ocorrerá a partir do Renascimento, a representação antiga da profundidade se dá de maneira aparentemente não-sistemática, de maneira que, particularmente quando o espaço inter-corporal é posto em foco (figura 4.15), as figuras e o intervalo entre elas parecem não estabelecer uma proporção consistente, e a imagem torna-se quimérica, contraditória, irreal:

“As ortogonais convergem, mas não convergem nunca em um horizonte unitário e menos ainda em um centro unitário. As dimensões, de maneira geral, diminuem em direção ao fundo, mas esta diminuição não é de modo algum constante, mas continuamente interrompida por figuras ‘fora de proporção’. As mudanças que a forma e a cor acusam, devido à distância e ao meio interposto, estão representadas com tal audácia que o estilo destas pinturas é como um fenômeno precursor ou paralelo ao impressionismo moderno com relação à utilização de uma ‘iluminação’ unitária. Assim, inclusive ali onde o conceito de perspectiva como um ‘ver através’ começa a ser levado a sério, tanto que cremos estar vendo uma cenografia paisagística contínua através dos intervalos de uma série de pilastras [figura 4.15], o espaço representado se converte em um espaço de agregados e não no espaço que a época moderna exige e realiza: um espaço sistemático” (PANOFSKY, 1999, p. 26).

Essa ausência aparente de um procedimento sistemático de representação faz alguns autores, diferentemente de Panofsky, não reconhecerem nessas pinturas um tipo de perspectiva, palavra que reservam ao procedimento técnico constituído no Renascimento. É como se posiciona, por exemplo, William Ivins, para quem:

“A perspectiva é algo muito diferente do escorço. Tecnicamente, ela é a projeção central de um espaço tridimensional em um plano. De maneira não técnica, é a maneira de fazer uma figura em uma superfície plana de tal maneira que os vários objetos representados nela aparentem ter os mesmos tamanhos, formas, posições, relativamente uns aos outros, que os verdadeiros objetos localizados no espaço real teriam se vistos pelo observador a partir de um ponto de vista singular. (...) É uma ideia que os gregos desconheciam” (IVINS, apud SHLAIN, 1993, p. 53).

O elemento central dessa polêmica parece girar em torno ao questionamento se há, realmente, apenas uma forma correta de perspectiva ou se, ao contrário, há muitas, com cada uma delas se apoiando em distintas convenções. Parte dessa polêmica pode ser resolvida notando simplesmente que a resposta a essa pergunta depende evidentemente da definição proposta para a palavra: se “perspectiva” significa a projeção de um espaço tridimensional em um plano, então só existe uma forma de perspectiva; porém, se essa palavra significa uma forma de criar a ilusão de “ver através”, então são muitas as possibilidades de sua realização. A outra parte do problema, mais complexa, é justificar porque uma ou outra definição seria mais adequada. Parece-me que só se justificaria a definição mais restritiva se pudéssemos dar um passo além

e afirmar que essa “projeção de um espaço tridimensional em um plano” corresponde à forma como “verdadeiramente” enxergamos. Uma identificação desse tipo, entretanto, parece hoje em dia muito pouco justificável, entre outros motivos, porque, como afirma Panofsky, não enxergamos com um olho só, mas com dois, que não permanecem em repouso, mas “varrem” constantemente o campo visual, “focalizando” detalhes de interesse; a retina não é uma superfície plana, mas curva e a imagem que formamos origina-se de um complexo processo psíquico que muito pouco tem a ver com uma leitura passiva de uma imagem projetada em sua superfície. Dessa forma, associar a pergunta a propósito da existência ou não de representação em perspectiva em um certo período histórico ao tipo de perspectiva desenvolvido e amplamente utilizado a partir do Renascimento parece uma forma excessivamente restritiva de olhar para o tema.

Outra questão é interrogar-se com relação ao tipo de metodologia envolvido nessa “perspectiva antiga”. Teria ela alguma relação com o pensamento matemático da época? Panofsky traz à tona alguns elementos interessantes. O livro “Óptica” de Euclides (EUCLIDES; BURTON, 1943) desenvolve uma série de teoremas que permitem compreender como se transforma a “aparência” de um objeto de acordo com o seu posicionamento com relação ao olho do observador. Por exemplo, o fato de que as partes mais distantes de um plano horizontal localizado abaixo do observador parecem mais altas do que as partes mais próximas é um teorema demonstrado por Euclides através da construção exibida na figura 4.16a, construção que é muito similar àquelas que os teóricos do Renascimento utilizariam mais de 1500 anos depois, como nota Brownson (1981, p.180). Essa construção permite notar que os “raios visuais” (que, aparentemente, na visão de Euclides, partiam dos objetos em direção ao olho do observador) interceptam um plano perpendicular em posições tanto mais altas quanto mais afastados estão os objetos. Entretanto, os teóricos do Renascimento compreenderão essa figura de uma forma diferente e realizarão nela um acréscimo extremamente significativo. Este plano perpendicular passará a ser associado ao plano pictórico do quadro⁷ e, ademais, a representação, na figura, de uma reta horizontal paralela ao plano “observado” permitirá determinar a aparência visual de um objeto infinitamente distante, noção aparentemente inconcebível para Euclides (figura 4.16b).

Mas Panofsky localizará em um outro elemento a distinção técnica mais importante entre a “perspectiva antiga” e a perspectiva “linear” renascentista. Euclides define a “aparência” de um objeto pela medida do *ângulo visual* formado pelo cone cujo vértice é o olho (representado

⁷Não é muito claro qual o significado desse plano perpendicular para Euclides. Ele não parece ser mais do que um expediente que permite verificar as alturas crescentes dos raios visuais, em consonância com a sua definição 5: “Que as coisas vistas em uma área visual mais alta parecem mais altas, enquanto as coisas vistas em uma área visual mais baixa parecem mais baixas” (BROWNSON, 1981, p. 167).

Figura 4.16: (a) Construção de Euclides, que permite demonstrar que, “em uma superfície horizontal posicionada abaixo do olho do observador, as partes mais remotas parecem mais altas”; (b) Construção similar, no contexto da perspectiva “linear” renascentista: o acréscimo da linha horizontal permite inferir que um ponto “infinitamente distante” se localizaria na altura do olho do observador (BROWNSON, 1981, p. 180); (c) Comparação entre a medida da “aparência de um objeto” pelo ângulo visual ou pela projeção em um plano: quando o mesmo objeto passa da posição 1 para a posição 2, que está ao dobro da distância do olho do observador (representado pelo vértice E), o ângulo visual β não diminui pela metade, ou seja, $\beta > \alpha/2$. Em compensação, a projeção do objeto na reta tracejada p (que representa o plano de projeção) diminui pela metade.

como um ponto matemático) e a base é o objeto. Essa definição da “aparência” de um objeto, entretanto, produzirá resultados diferentes daquela que a associa à *projeção do objeto tridimensional em um plano*, como o faz a perspectiva do Renascimento. Imaginemos, por exemplo, que um objeto dobre a sua distância com relação ao observador: de x para $2x$. Sua aparência visual diminuirá pela metade: de y para $y/2$? Se associamos a aparência visual à projeção do objeto em um plano, evidentemente sim, como se pode demonstrar por duas simples semelhanças de triângulos. Mas isso não é verdade se a associamos, como faz Euclides, ao ângulo visual. Essa questão fica visualmente evidente na figura 4.16c e se justifica matematicamente pelo fato de que $\tan(\alpha/2) \neq 1/2 \cdot \tan \alpha$. Euclides demonstra esse fato em sua proposição de número 8: “objetos de mesmo comprimento e paralelos, se colocados em distâncias desiguais com relação ao olho, não são vistos na mesma proporção que as distâncias” (BROWNSON, 1981, p. 181)⁸.

Para Panofsky, essa compreensão da aparência visual em associação com o ângulo visual permite a Euclides – e aos artistas antigos – perceber características do espaço visual que passarão mais despercebidas no Renascimento, como, por exemplo, a aparente curvatura e encontro de retas paralelas, mesmo quando elas não se dirigem ao fundo, mas se estendem em um plano perpendicular à direção da profundidade, fenômeno que ele chama de “aberração marginal”

⁸É importante mencionar que Brownson alude a essa proposição (assim como às demais da Óptica de Euclides) com a intenção de criticar a formulação de Panofsky, e de outros que lhe seguiram, de uma incompatibilidade entre a Óptica de Euclides e a perspectiva renascentista. Afinal, argumenta ele, é evidente que, da determinação dos ângulos, é possível obter o comprimento da projeção em um plano e vice-versa. Parece-me, porém, que, ao argumentar dessa forma, o autor não compreende corretamente em que sentido Panofsky alude a uma incompatibilidade. Não se trata de uma incompatibilidade entre duas geometrias – uma vez que, até o século XIX, só existe uma – mas de uma incompatibilidade entre as definições do que seja a “aparência visual”. Dessa forma, não consigo ver incompatibilidades fundamentais entre as interpretações de Brownson e de Panofsky.

(PANOFSKY, 1999, p. 16).

Qual a relevância dessa discussão mais técnica para a reflexão que vínhamos desenvolvendo? Parece, da argumentação desenvolvida por Panofsky, que o caráter aparentemente não-sistemático da “perspectiva antiga” advém de uma compreensão de espaço com certas características: (i) uma diferença com relação ao tratamento dado aos objetos e ao espaço entre eles (os cones visuais de Euclides são sempre delimitados pelo contorno dos objetos); (ii) uma compreensão do tamanho aparente *dos objetos* associada ao ângulo visual, o que induziria a imaginação de uma semi-esfera em associação com o campo visual total e não de um plano⁹; (iii) um tratamento não-sistemático dos intervalos entre os corpos; (iv) a consideração apenas de objetos a uma distância *finita* do observador, parecendo ser inconcebível a possibilidade de distâncias infinitas. Considerando essas características, podemos supor que o que impediu os gregos de darem passos matemáticos relativamente simples em direção a uma representação sistemática do espaço tridimensional em um plano pictórico foi uma distinta concepção de espaço: um espaço finito, limitado, “circular”. Além disso, ao invés de um espaço anterior aos corpos, como uma espécie de “pano de fundo”, uma abordagem dual dos corpos e do intervalo entre eles, sem reduzi-los a uma unidade comum e “anterior”. Como afirma Panofsky, ao perguntar-se por que a antiguidade “não deu esse passo em aparência tão pequeno, como é realizar a intersecção plana da pirâmide visual, que a haveria levado à construção de um espaço verdadeiramente sistemático e exato?”:

“Não o fez, porque aquela forma de intuir o espaço, que buscava sua expressão na arte figurativa, não exigia em absoluto um espaço sistemático; e assim como os artistas da Antiguidade não podiam representar um espaço sistemático, tampouco os filósofos da Antiguidade podiam concebê-lo (...). Por variadas que fossem as teorias antigas do espaço, nenhuma delas realizou defini-lo como um sistema de meras relações entre altura, largura e profundidade, resolvendo (*sub especie* de ‘um sistema de coordenadas’) a diferença entre adiante e atrás, aqui e ali, corpos e não-corpos no conceito mais alto e mais abstrato da extensão tridimensional” (PANOFSKY, 1999, p. 27).

Concepções filosóficas de espaço antigas.

Somos remetidos, assim, a uma reflexão a respeito de pelo menos algumas das distintas concepções de espaço antigas. Um primeiro questionamento, a propósito desse tratamento aparen-

⁹Panofsky chega a sugerir, sem afirmar categoricamente, que um possível procedimento “exato” utilizado na “perspectiva antiga” pudesse se associar à projeção dos objetos não em um plano, mas em uma esfera, aproximando depois os arcos pelas cordas correspondentes (PANOFSKY, 1999, p. 21). O caráter não-sistemático da perspectiva antiga derivaria, dessa forma, da impossibilidade de corresponder uma esfera a um plano. A sugestão, entretanto, não parece ter encontrado suporte posterior.

temente dual entre corpos e não-corpos, que transpareceu de nossa discussão anterior, refere-se às concepções antigas de vazio. Segundo o historiador da ciência Max Jammer (2010), a escola pitagórica acreditava na existência do vazio e, portanto, de um espaço sem matéria. Entretanto, a noção de espaço pitagórica era bastante associada a uma materialidade e, segundo J. Burnet, em uma fase inicial, alguns pitagóricos associavam o ar atmosférico ao vazio (BURNET, apud JAMMER, 2010, p. 33). O espaço, de qualquer maneira, não era desprovido de todas as qualidades, mas funcionava como uma espécie de “atmosfera primordial”, dotado de pressão e tensão.

Já no atomismo de Demócrito, o vazio, ao contrário, não exercia nenhuma influência sobre o movimento da matéria. Ironicamente, ao afirmar a existência de um vazio incorpóreo, opondo-se à escola de Parmênides, os materialistas da escola atomista foram “os primeiros a dizer claramente que uma coisa podia ser real sem ser um corpo” (BURNET, apud JAMMER, 2010, p. 37). Torna-se relevante, então, perguntar se essa concepção de vazio dos atomistas implicava ou não na compreensão de um espaço vazio contínuo, tridimensional, *no qual* os corpos seriam colocados. Jammer demonstra que não. Ao contrário, o espaço, identificado com o vazio, associava-se apenas ao intervalo entre os átomos, em uma estrutura porosa:

“Leucipo e Demócrito sustentaram a existência do vazio como uma consequência lógica da estrutura atomística da realidade. Nesse caso, o vácuo ou vazio significava claramente o espaço não ocupado. O Universo era o cheio e o vazio. O espaço, nesse sentido, era complementar à matéria e limitado pela matéria; matéria e espaço eram mutuamente excludentes. Essa interpretação adquire um peso maior se observamos que o termo vazio [kenon] era frequentemente empregado como sinônimo de espaço; obviamente, ‘vazio’ implicava apenas o espaço não ocupado. O uso explícito que Leucipo fez do adjetivo ‘poroso’ [manon] na descrição da estrutura do espaço forneceu provas disso, o que indica que ele tinha em mente os intervalos entre as partículas da matéria, e não o espaço ilimitado” (JAMMER, 2010, p. 35)¹⁰.

A concepção de espaço presente no *Timeu* de Platão é de interpretação bastante obscura e polêmica. Segundo Jammer (2010, p. 39), Platão pretendia identificar o mundo dos corpos físicos ao mundo das formas geométricas, reduzindo assim a matéria ao espaço. O historiador Keimpe Algra (1994, p. 73) afirma que, embora o debate em torno as concepções espaciais de Platão tenha se centrado em estabelecer se o “*Receptáculo*” de Platão deveria ser descrito como espaço ou como matéria, essas duas asserções não são necessariamente incompatíveis e

¹⁰Jammer refere-se também a Epicuro, que descrevia reiteradamente “o Universo em termos de corpo e vácuo”, mas parece encontrar uma exceção, nessas concepções, no pensamento de Lucrecio, que afirmaria que os corpos são “colocados no vazio”, indicando uma concepção de espaço contínuo e anterior aos corpos. Entretanto, Inwood (1981) afirma que há um equívoco nesta interpretação, uma vez que Lucrecio compreende o “lugar” no qual um corpo está da mesma forma que Aristóteles, ou seja, como o meio de seu entorno e não como o volume interno à superfície que o limita. Permaneceria, assim, a concepção “porosa” de espaço na qual “um átomo não ocupa estritamente o espaço; ele é simplesmente envolvido pela ausência de corpo” (INWOOD, 1981, p. 275).

o *Timeu* contém pistas que apontam tanto em uma direção como em outra, não sendo possível estabelecer uma interpretação plenamente consistente da concepção platônica de espaço. De qualquer forma a compreensão geometrizar de Platão pode ser ilustrada por sua associação dos quatro elementos a quatro dos cinco sólidos perfeitos característicos do espaço tridimensional (JAMMER, 2010, p. 39): a terra é identificada com o cubo, a água com o icosaedro, o ar com o octaedro e o fogo com o tetraedro. Assim, as propriedades desses elementos poderiam ser explicadas através da análise de sua forma. A terra, por exemplo, devido à forma cúbica, seria a menos suscetível à movimentação, concentrando-se no centro do universo. Evidentemente, porém, uma leitura muito literal e “empírica” dessas imagens não faria justiça ao pensamento de Platão e a sua filosofia idealista¹¹.

A noção de *lugar* de Aristóteles parece bastante interessante em comparação com a nossa discussão anterior a propósito dos espaços teatral e pictórico – sendo, também, fundamental para entender a posterior contraposição com as concepções de espaço associadas à revolução Copernicana – razões pelas quais nos debruçaremos sobre ela com um pouco mais de detalhe. Segundo Algra (1994, p. 190), Aristóteles parte, em sua análise do espaço, de concepções associadas aos fatos aparentes, ou seja, de pontos de vista do senso comum ou de filósofos individuais e, por meio de um procedimento dialético, rejeita progressivamente concepções que não resistem à análise. Seu procedimento pode ser associado a um processo de “conjecturas e refutações”, em uma progressiva depuração da linguagem comum, em que as definições vão tornando cada vez mais precisa a compreensão:

“As relações entre os nomes e as definições jogarão alguma luz nessa questão; porque o nome dá uma indicação não-analisada da coisa (‘círculo’ por exemplo), mas a definição evidencia alguma ou algumas de suas propriedades características. Uma variante da mesma questão pode ser notada nas crianças, que começam a chamar a qualquer homem de pai e a qualquer mulher de mãe, até que aprendem a distinguir a relação especial à qual esses termos se aplicam propriamente” (ARISTÓTELES, apud ALGRA, 1994, p. 174,5).

Através dessa metodologia, Aristóteles, em longa argumentação, conclui que há quatro possibilidades de definição para o que seja o lugar de um corpo: (1) a sua forma, (2) a sua matéria, (3) algum tipo de extensão entre as suas extremidades, ou (4) a superfície de contorno imediato do corpo (ARISTÓTELES, 1962, p. 211^a). Ele explicará porque as três primeiras possibilidades são impossíveis, impondo a quarta definição como a única correta. Enumero algumas razões apresentadas, sem nenhuma pretensão de exaurir a discussão realizada por ele. A primeira e segunda definições, na medida em que associam o lugar do corpo a uma característica

¹¹ Heisenberg (2008, p. 23) comenta sobre seu espanto inicial com essa associação de Platão entre os elementos e as formas geométricas e reflete sobre sentidos dela, em uma leitura menos literal, que poderiam dialogar com debates que adquiriram destaque no contexto da mecânica quântica.

do próprio corpo, não podem corresponder ao seu lugar, uma vez que o lugar deve ser separável do próprio corpo. Quando vertemos a água de uma garrafa, por exemplo, o ar toma o lugar que anteriormente era o da água, o que seria impossível se o lugar do corpo correspondesse a uma característica própria sua. A terceira definição, por sua vez, implicaria uma sucessão infinita de lugares em uma mesma coisa, uma vez que seria necessário associar um lugar ao próprio lugar da coisa e assim sucessivamente.

Aristóteles rejeita assim, entre outras, a definição – que, aos olhos de hoje, pareceria a mais “natural” – do lugar de um corpo em associação com um volume tridimensional “por trás” do corpo e adota, ao invés disso, a compreensão de que ele corresponde à superfície que contém o corpo, possuindo as seguintes características: (1) não é parte ou característica da coisa em si, mas aquilo que a abarca; (2) não é nem maior nem menor do que o corpo contido; (3) é separável do próprio corpo, podendo ser abandonado pelo corpo; (4) todos os lugares podem ser ordenados em termos de “acima” e “abaixo”, de forma que todas as substâncias naturais possuem uma tendência natural de se mover para cima ou para baixo, rumo ao seu lugar próprio (JAMMER, 2010, p. 41). A identificação entre o lugar de um corpo e a superfície que o abarca dá ao *meio* em que o corpo está um papel ativo importante para os movimentos que ele sofre, uma vez que ele serve de ponto de partida e de chegada para cada movimento (JAMMER, 1954, p. 77,8).

Na medida em que consigo me despir de certas imagens que condicionam fortemente meu olhar sobre o espaço (tais como a figura 4.12 na página 200), passo a achar essa compreensão do lugar como contorno extraordinariamente adequada a um mundo finito, fechado, que não admite o vazio nem muito menos concebe a possibilidade de um espaço – vazio – *no qual* os corpos pudessem ser posicionados. Com ela “em mãos” re-observo a organização do espaço teatral em termos de seu contorno circular, ou a maior “solidez e harmonia” com que se realiza a representação pictórica dos contornos dos corpos em associação com o caráter “contraditório e irreal” dos intervalos entre eles, ou a própria estruturação da organização esférica do universo Aristotélico-Ptolomaico e sinto-me mais próximo de “compreender”, de “atribuir sentidos” à intuição de espaço envolvida aqui.

4.5 Da borda para dentro do círculo.

“Repentinamente”, parece-me muito pouco “natural” a sobreposição de duas entidades que assumimos ao afirmar que “um corpo ocupa lugar no espaço”. Se, ao olharmos para concepções antigas, o primeiro estranhamento que temos se associa à dificuldade em aceitar que certas concepções estejam ausentes, em um segundo momento – mais interessante – o estranhamento

se refere ao questionamento sobre as nossas próprias concepções e à forma como elas se originaram: “como é possível que tenhamos chegado a achar que o espaço, infinito, existe antes dos corpos que irão ocupá-lo?” Procuro por respostas a essa pergunta não em busca de uma causa determinista, mas de uma ampliação de sentidos que remete-me, de novo, à maneira como certos empreendimentos culturais lidaram com a organização do espaço. Dessa forma, por exemplo, a movimentação dos espectadores de um teatro de suas bordas em direção ao seu interior, ocupando o “vazio” anteriormente reservado à Orquestra parece-me significativa a propósito dessa transição do lugar como contorno para o lugar como volume. Procuro por movimentos análogos na pintura e em concepções filosóficas a propósito do espaço. E não deixa de ser surpreendente que seja possível encontrá-las. O exercício da “interpretação” torna-se prazeroso quando encontra “*indícios*” de origens diversas que parecem se complementar e se confirmar mutuamente. . . Tentemos abordar cada um desses “*indícios*”.

O círculo do espaço teatral antigo ao medieval.

Enquanto o espaço teatral grego está inserido em um espaço externo, ao qual sempre se remete, seja na relação com a polis, seja na relação com o templo e o espaço natural, o teatro romano compõe uma espécie de todo fechado, uma espécie de universo autônomo, dotado inclusive de uma cobertura removível para proteção do Sol (figura 4.17). A divisão entre um semi-círculo destinado ao público e um diâmetro destinado ao palco frontal, pode ser associada à divisão entre o dia e a noite, em que apenas metade do zodíaco e metade de cada esfera planetária é visível a cada momento. Enquanto no teatro grego, comunidades autônomas eram amalgamadas no espaço destinado ao público, no romano, se estabelece referência a uma cidadania global, homogênea. A distinção entre a espacialidade helenística, centralizada, mas inserida em um contexto que ela é capaz de organizar e harmonizar e a espacialidade romana, fechada, organizada numa relação dual de tensão palco-plateia, reflete duas visões de mundo distintas:

“O teatro grego se desenrola em torno a um ponto central, definido pela pedra sagrada, criando uma sensação de repouso (...) e refletindo a ideia de que a Terra, a matéria no centro do universo, é inerentemente estável. O teatro romano, por outro lado, estabelece-se por uma tensão entre duas metades em equilíbrio, refletindo a visão estoica de que o universo está em um estado de tensão física constante, com a vida humana e o cosmos ligados pelo princípio instável da *pneuma*, da respiração” (WILES, 2003, p. 184).

Vimos como o teatro grego é marcado pela necessidade de proximidade com o templo, sendo eventualmente importante inclusive que o palco ficasse na linha de visão da estátua de uma divindade. Com relação ao teatro romano, Vitruvius explicitou, em um tratado dedicado

Figura 4.17: Representação do teatro de Pompeia - 55 a.C. (WILES, 2003, p. 35).

a Augusto, que os templos de Apolo e Liber (o Dionísio romano) deveriam estar próximos a um teatro, de forma que as estátuas relevantes pudessem ser levadas para assistir à performance (WILES, 2003, p. 37). Em contraposição, o período medieval é marcado pela existência de um Deus onipresente de quem nada se podia ocultar, a tal ponto que Ele se confundia com a própria noção de espaço. De fato, segundo Jammer (2010, p. 54), a palavra “lugar” (*makom*) era um nome utilizado para Deus no judaísmo palestino do primeiro século (associada, talvez, à noção de lugar sagrado), em contraposição ao pensamento grego, que era estranho a esse tipo de associação, e, conforme a religião foi se tornando cada vez mais abstrata e universal, a palavra se transformou em um nome de Deus sem a implicação de qualquer limitação espacial, uma vez que a ideia de onipresença divina se tornou fundamental. É o que aparece, por exemplo, no Salmo 139:

“Para onde irei afastado do teu espírito ou para onde fugirei da tua presença? Se subir aos céus, ali estarás; se fizer minha cama em meu sepulcro, eis que lá também estarás. Se tomar as asas da aurora e habitar nos confins dos mares, Ainda lá tua mão me conduzirá e tua destra me sustentará. (...) Minha substância não te foi ocultada quando no mistério fui formado, e curiosamente entretecido nas profundezas da terra” (JAMMER, 2010, p. 55).

Se os espectadores da antiguidade clássica, de certa forma, compartilhavam com os deuses a propriedade de possuir uma localização e ponto de vista particulares, sendo importante nos teatros a garantia de linhas de visão adequadas, no período medieval, os assistentes estavam sempre sendo assistidos por um Deus invisível e boas linhas de visão não eram nunca prioridade: o importante era organizar um espaço teatral que refletisse a ordem de Deus (WILES, 2003, p. 41). Como já comentamos, a relação do homem medieval com o mundo não era do tipo sujeito observador - objeto observado, mas de descoberta de si mesmo no mundo e vice-versa.

Como exemplo de representação medieval, tomamos a descrição de “O Castelo da Perseverança”, texto encenado provavelmente na década de 1420, importante por vir acompanhado

(a) Representação da encenação de O Castelo da Perseverança (WILES, 2003, p. 188).

(b) Reconstrução da encenação de O Castelo da Perseverança, realizada por Richard Southern.

Figura 4.18

de um desenho (figura 4.18a) que demonstra sua encenação, em uma arena construída na época para este fim (WILES, 2003, p. 187). O espaço é organizado dentro de um círculo, cujo perímetro consiste em uma vala escavada, preenchida com água. A organização espacial adquire um caráter absoluto pela orientação de acordo com os pontos cardeais e os distintos espaços de representação são formados por andaimes: o andaime que representa o Espaço Divino fica a Leste, enquanto aquele que representa o Mundo fica a Oeste; no eixo Norte-Sul, encontram-se representações dos pecados e do inferno, com os pecados da Mente localizados na direção Norte e os do Corpo na direção Sul. Os espectadores são proibidos de ocupar o andaime central, que representa o *Castelo da Perseverança*, e, assim, devem ocupar as regiões dos demais andaimes, incorporando-se na ação dramática.

Sinteticamente, a peça trata da vida inteira de seu herói, a *Espécie Humana* (*Mankind*), que, ao nascer, se deixa levar pelos anjos do pecado, sendo depois protegida pela *Confissão* e *Penitência* no Castelo da Perseverança. A principal ação dramática consiste nos cercos realizados ao Castelo pelos anjos do demônio. A *Espécie Humana* fica em dúvida frente às ofertas da *Cobiça*, quando é atingida pelo dardo da morte e fica presa no Inferno, mas acaba sendo perdoada por Deus e pode se dirigir ao paraíso.

A não distinção sujeito-objeto, a sensação de integração em um mundo em que todos estão sob os “olhos” de Deus, a ausência de preocupação em garantir linhas de visão claras a todos, criando na encenação um clima de mistério perante às questões divinas estão exemplificadas na encenação descrita acima. Como nota Wiles (p. 189),

“O público grego sentava fora e acima do círculo, capaz de contemplar a sua beleza. O público romano só podia experimentar meio círculo cósmico. O

público medieval sentava dentro do círculo, com uma intensa sensação de envolvimento que compensava as linhas de visão bloqueadas”.

Espaço pictórico medieval.

Se, acompanhando a leitura de Panofsky, reconhecemos na pintura antiga uma forma particular de perspectiva, ao observar quadros medievais como os da figura 4.19 e 4.20, reconhecemos que, nesse caso, não está presente nenhuma forma de perspectiva, no sentido que não se pretende, nesses quadros, criar a ilusão de que vemos através do plano pictórico do quadro. Nessas imagens, vemos que as figuras estão posicionadas no próprio plano pictórico e não atrás dele. O que terá ocorrido? Um retrocesso, característico da “Idade das Trevas”? Felizmente, é para nós, no século XXI, muito pouco defensável (embora não incomum) uma concepção dessa natureza uma vez que a arte do século XX procedeu consciente e programaticamente um rompimento semelhante com a representação em perspectiva, “voltando” a ater-se à superfície bidimensional do quadro¹². De fato, já em 1901, o historiador e crítico de arte Alois Riegl achava “incompreensível que se pudesse chegar a falar de ‘decadência’ ante obras como os mosaicos de San Vitale, pois cada linha testemunha uma clara reflexão e uma vontade positiva artística” (RIEGL, apud FEYERABEND, 1996, p. 137,139).

Como já insistimos anteriormente – mas vale a pena reiterar – não é um suposto “nível de realismo” que nos interessa na reflexão a respeito de uma obra de arte, mas a sua expressividade, o tipo de relação sensível que ela estabelece com o mundo. De resto, como também já enfatizamos, a premissa de que a representação em perspectiva renascentista é “melhor” ou “mais realista” por reproduzir a forma como “realmente vemos” não se justifica, uma vez que nossa percepção visual do mundo é muito mais complexa e muito distinta daquela associada à leitura passiva de uma projeção em uma superfície plana.

Do ponto de vista da pergunta que nos propusemos, associada à origem de uma concepção de espaço contínuo e anterior aos corpos, essas imagens nos trazem elementos interessantes. Se a referência à dimensão da profundidade parece ter se perdido, ao mesmo tempo, a ruptura com a perspectiva ilusionista dá ao espaço uma conotação material e homogênea ao identificar-se com a própria tela da pintura. Para Panofsky, o primeiro passo associado à criação de um “espaço sistemático” tridimensional característico da perspectiva renascentista consistiu na recusa medieval em criar a ilusão de tridimensionalidade, atendo-se novamente à materialidade da tela.

¹²Que esse rompimento, de natureza anti-ilusionista, tenha sido consciente e programático, pode ser notado por exemplo na seguinte declaração de Maurice Denis em 1890: “Lembrar que um quadro - antes de ser um cavalo de guerra, uma mulher nua ou uma anedota qualquer - é essencialmente uma superfície plana recoberta de cores combinadas numa certa ordem” (CHIPP, 1988 apud TASSINARI, 2001).

Figura 4.19: Abraão que acolhe aos anjos. Mosaico do século VI d.C, Ravenna (PANOFISKY, 1999, p. 62).

Figura 4.20: L'imperatore Giustiniano I e il suo seguito. Mosaico do século VI d.C, Basílica de San Vitale, Ravenna (FEYERABEND, 1996, p. 142).

Um exemplo desse abandono da tela como um “plano figurativo” *através* do qual se vê pode ser notado na figura 4.19, onde a paisagem e a vegetação se adaptam à forma da tela, mostrando que elas são concebidas como pertencentes à tela e não como vistas através dela. A materialidade da tela fornece assim uma unidade ao conjunto, remetendo-nos a uma concepção de espaço mais “substancial” e anterior aos corpos, distinta, portanto, da concepção Aristotélica. Em especial, o estilo “Românico”, que atingiu sua maturidade por volta do século XII, realizou com bastante completude essa transformação da herança clássica:

“Agora a linha é só linha, ou seja, um meio gráfico de expressão *sui generis* cuja função é a de limitação e ornamentação de superfícies; e por seu lado, a superfície é só superfície, quer dizer, não é já uma espécie de vaga alusão a uma espacialidade imaterial, mas a superfície necessariamente bidimensional de um plano pictórico material. (...) Quando a pintura românica reduz de um mesmo modo e com igual decisão os corpos e o espaço à superfície, está consolidando e confirmando realmente, pela primeira vez, a homogeneidade entre este e aqueles, transformando assim a sua elástica unidade óptica em uma unidade sólida e substancial: a partir daqui, os corpos e o espaço permanecerão unidos indissolúvelmente e quando, posteriormente, o corpo volta a liberar-se dos vínculos com a superfície, não pode crescer sem que o espaço cresça simultaneamente e em igual proporção” (PANOFSKY, 1999, p. 32, 33).

A figura 4.21 revela essa união indissolúvel entre espaço e matéria também no âmbito da escultura. As figuras “nascem” da própria matéria arquitetônica da Catedral. O espaço entre as figuras é feito da mesma matéria que as preenche. A pedra esculpida simboliza, dessa forma, o espaço anterior à matéria.

4.6 O espaço infinito, em sua estruturação linear

4.6.1 Representações artísticas

Em uma imagem do século XIII (figura 4.22), já é possível reconhecer certos elementos da representação em perspectiva, tais como a convergência das linhas de profundidade das paredes laterais em um ponto comum. Mas o teto e o chão não são tratados e, como nota Panofsky, se interpretamos o quadro de forma realista, o jantar parece desenrolar-se em um ambiente aberto.

Já no quadro de Ambrogio Lorenzetti, do século XIV (figura 4.23), notamos não apenas a convergência em um ponto de fuga como a progressiva diminuição dos tamanhos quando miramos mais ao fundo. Por um lado, a convergência em um ponto de fuga simboliza o próprio “descobrimento” do infinito. Por outro, a organização dos ladrilhos do piso nos fornece os primórdios do que, em contextos científicos, se tornará um “sistema de coordenadas”: é possível localizar um ponto no solo pela contagem do número de ladrilhos (supostos idênticos)

Figura 4.21: Relevô com a Santa Ceia. Aprox. 1260, Naumburg. (PANOFISKY, 1999, p. 73)

Figura 4.22: A Santa Ceia. Mosaico da segunda metade do século XII. Catedral de Monreale (PANOFISKY, 1999, p. 74).

Figura 4.23: Ambrogio Lorenzetti, A anunciação, 1344 (PANOFSKY, 1999, p. 78).

em cada direção que ele dista de uma origem, antecipando assim a construção matemática análoga. Parece, assim, que a organização sistemática do espaço em um sistema tridimensional de coordenadas surge em primeiro lugar como uma forma expressiva. Vale a pena citar mais longamente os comentários de Panofsky:

“A importância de um quadro como *A Anunciação* (...) reside, por um lado, no fato de que todas as ortogonais visíveis do plano de base estão pela primeira vez orientadas sem dúvida alguma, e com plena consciência matemática, a um ponto (porque o descobrimento do ponto de fuga como ‘imagem do ponto infinitamente distante de todas as linhas de profundidade’ é ao mesmo tempo o símbolo concreto do descobrimento do próprio infinito); e, por outro lado, na importância totalmente nova que é atribuída ao plano de base, enquanto tal. Este não é mais a superfície de base de uma caixa espacial fechada à direita e esquerda que acaba nas bordas laterais do quadro, mas uma franja de espaço que, mesmo que ainda limitada atrás pelo velho fundo dourado e adiante pela superfície do quadro, pode no entanto ser pensada, com relação aos lados, tão ilimitada quanto se deseje. E o que é ainda mais importante: a superfície de base serve agora para apreciar mais claramente tanto as medidas como as distâncias dos diferentes corpos que sobre ela se ordenam. A organização dos ladrilhos (...) desliza agora efetivamente sob as figuras e se converte por isso em índice dos valores espaciais tanto para os corpos como para os intervalos. (...) Não é exagero afirmar que a utilização do pavimento de ladrilhos neste sentido (motivo figurativo repetido e manejado de agora em diante com um fanatismo totalmente compreensível) estabelece de certo modo o primeiro exemplo de um sistema de coordenadas e ilustra o moderno ‘espaço sistemá-

tico' em um âmbito concretamente artístico antes que o abstrato pensamento matemático o postulasse" (PANOFSKY, 1999, p. 40).

Apesar dos “avanços” representados pela construção de Lorenzetti, não podemos considerar ainda que a perspectiva linear renascentista, enquanto técnica “exata” de representação, já tivesse sido completamente “descoberta” / “inventada” neste momento. A imagem não nos permite, devido ao posicionamento das duas personagens, saber como se comportariam as linhas mais à esquerda e à direita. Outras obras de Lorenzetti da mesma época, entretanto, não estabelecem uma completa convergência de todas as linhas de profundidade em um mesmo ponto, diferenciando, por exemplo a convergência das linhas de base em um ponto e a das linhas associadas aos planos laterais em outros. É como se, no dizer de Panofsky, os artistas hesitassem em atribuir uma inclinação tão grande às linhas laterais como a que seria necessária para que elas convergissem no mesmo ponto que as linhas centrais. Por outro lado, e de forma mais significativa, o não estabelecimento de uma convergência de *todas* as linhas, mas de uma espécie de convergência por regiões demonstra uma inversão de ordem que realizarão as construções renascentistas posteriores. Ao invés de a organização das relações espaciais se estabelecer após a disposição dos objetos, será necessário, para construir um quadro segundo as regras exatas da perspectiva renascentista, definir o espaço e sua relação com o observador, pelo posicionamento do ponto de fuga, *antes* de posicionar qualquer objeto. É significativa, nesse sentido, a afirmação de Pomponio Guaricus, em 1504: “O lugar existe antes que os corpos que nele se encontram e por isto é necessário estabelecê-lo graficamente antes que eles” (PANOFSKY, 1999, p. 40-1). Vê-se, assim, como se consolida a noção de um espaço vazio *no qual* os corpos são posicionados.

O fato de não pretendermos compreender a perspectiva renascentista como a representação da forma como vemos não significa que os próprios “pioneiros” desta construção, assim como as sucessivas gerações que a compreenderam como única forma “correta” de representação, não concebessem dessa forma a “descoberta” da perspectiva linear. Ao contrário, esse momento histórico marca uma significativa aproximação entre pintura e ciência. Em 1425, Brunelleschi teria realizado um “experimento”

que demonstrava a “correção” da representação em perspectiva (FEYERABEND, 1996, p. 123-4). Ele desenhou o Batistério de Florença, visto de fora. Posicionou um pequeno orifício através do qual se podia ver, com um único olho, o exato ponto de vista de onde realizou o desenho ou, pelo posicionamento de um espelho, sua representação, vista da distância que permitia uma superposição exata das imagens (figura 4.24). Como aponta Feyerabend (1996, p. 126), este

Figura 4.24

acontecimento possui todas as propriedades de um experimento científico:

“Em primeiro lugar, realiza-se uma *comparação* entre um objeto produzido pelo homem, a imagem desenhada por Brunelleschi e a ‘realidade’. Em segundo lugar, a comparação não fica ao arbítrio do experimentador: ele não olha a coisa simplesmente, mas a examina sob condições determinadas estritamente: deve situar-se em um ponto calculado com exatidão, a uns nove pés com relação à entrada da catedral, mantém o aparato a uns cinco pés de altura, olha através de uma abertura no centro da imagem e situa o espelho a uma distância também calculada exatamente. (...) Em terceiro lugar, o objeto que será julgado, quer dizer, a imagem, não foi pintado simplesmente, mas foi *construído de acordo com regras*”.

No norte da Europa, a construção de uma técnica matematicamente “correta” de representação em perspectiva se processou de forma mais gradual e “empírica”, com desenvolvimentos que não foram necessariamente reconhecidos e valorizados pela “comunidade artística”, a ponto de, na Alemanha, não se encontrar quadros construídos “corretamente” em todo o século XV até que “graças a Albrecht Dürer, adotou-se a teoria dos italianos fundamentada na exatidão matemática” (PANOFISKY, 1999, p. 43). Na Itália, em compensação, essa forma “correta” de representação da tridimensionalidade parece ter sido “descoberta” de maneira mais “teórica” entre 1420 e 1430, influenciando de maneira mais imediata os artistas. Essa “descoberta” teórica foi publicada por Leon Batista Alberti em 1435 em um tratado no qual expressa sua definição, que será fundamental para todas as épocas posteriores: “o quadro é uma intersecção plana da pirâmide visual” (PANOFISKY, 1999, p. 43-4).

O significado da afirmação de Alberti está ilustrado na figura 4.25a, para a representação de um paralelepípedo (por exemplo uma sala limitada por cinco superfícies e uma sexta, transparente, que corresponde à exata medida do quadro). O primeiro passo para a construção do quadro é a escolha da posição do observador, definindo assim a sua “pirâmide visual”. A partir daí, define-se a posição de qualquer elemento no quadro pela sua projeção na superfície correspondente ao quadro.

Definido o significado da representação em perspectiva como obtenção de uma “intersecção plana da pirâmide visual”, fica evidente a origem do “ponto de fuga”: ele nada mais é do que a projeção do olho do observador no plano do quadro. E todas as linhas de profundidade, ou seja, aquelas que são perpendiculares ao plano do quadro, convergirão para o ponto de fuga, de maneira que ele representa também o infinitamente distante. Portanto, o olho do observador e o infinitamente distante associam-se ao mesmo ponto.

Mesmo conhecendo a convergência das linhas de profundidade, restava entretanto pelo menos um problema crucial: um método para medir com precisão a diminuição das distâncias

(a) Ilustração da perspectiva como regra de projeção de uma “pirâmide visual” em um plano, correspondente ao quadro. O quadro é representado pela superfície cinza. A superfície vermelha é projetada nessa superfície, considerando que ela é observada por um observador monocular localizado no ponto aonde convergem as linhas. O resultado obtido é representado na ilustração 4.

(b) Construção proposta por Alberti para desenhar um piso em perspectiva. A construção auxiliar 2 permite definir a projeção dos pontos a, b, c, d, e, determinando os tamanhos A, B, C, D, E correspondentes, que são então representados no quadro (PANOFSKY, 1999, p. 45). Comparar com construção semelhante de Euclides na figura 4.16a na página 208.

Figura 4.25

na direção perpendicular ao plano figurativo, ou seja, na direção das linhas de profundidade (PANOFSKY, 1999, p. 44).

Como a geometria analítica ainda não havia sido desenvolvida, as soluções para todos esses problemas envolviam construções geométricas¹³. Alberti propõe a seguinte regra de construção, que pode servir para a representação de um piso de ladrilhos por exemplo (figura 4.25b). Em primeiro lugar, definimos a posição do ponto de fuga (relacionada à posição do observador) e traçamos as linhas de profundidade do piso. A seguir, através de uma construção auxiliar que represente uma “vista lateral” do quadro, do observador e dos objetos observados, traçamos a projeção de cada ponto na reta que representa a superfície do quadro. Essas distâncias são então transportadas para o quadro. Como comentamos anteriormente, essa construção é muito semelhante a algumas utilizadas por Euclides mais de 1500 anos antes (figura 4.16a na página 208), apenas com “pequenas” e fundamentais diferenças, a saber: (i) naquele caso, o plano

¹³Não resisto a, utilizando uma linguagem matemática atual, expressar o problema em questão. Vemos que a definição de perspectiva como “intersecção plana da pirâmide visual” é suficiente para determinar a posição que cada ponto do espaço tridimensional deve ocupar no espaço bidimensional do quadro. Imaginando o observador em um ponto $(x_o, y_o, -d)$ do espaço e supondo que o quadro esteja no plano $z = 0$, temos que o ponto de fuga estará no ponto (x_o, y_o) e o observador estará a uma distância d do quadro. Dessa forma, calculamos como um ponto (x, y, z) do espaço será projetado no quadro (através da intersecção entre o plano $z = 0$ e a reta que passa por $(x_o, y_o, -d)$ e (x, y, z)). O resultado é o ponto $(x_o + \frac{d}{z+d}(x - x_o); y_o + \frac{d}{z+d}(y - y_o))$ da superfície do quadro.

Figura 4.26: Jan Van Eyck, A Madona do Chanceler Rolin, 1435 .

perpendicular não era associado ao plano de um quadro em cuja superfície dever-se-ia projetar o mundo observado; e (ii) a noção de um ponto que representasse o infinitamente distante não fazia qualquer sentido.

A existência do ponto de fuga na perspectiva central é um elemento extremamente representativo da visão de mundo nascente na época. Por um lado, ele é a própria representação da infinitude do espaço. Afinal, as linhas de profundidade convergem para esse ponto apenas “no infinito”. Quanto mais distante do observador estivermos, mais próximos do ponto de fuga estaremos, sem, entretanto, nunca alcançá-lo. É a própria noção da operação matemática de limite. Por outro lado, o ponto de fuga significa a posição de onde o plano figurativo do quadro foi observado. Não é possível construir uma representação independente do observador. De certa forma, o quadro contém em si não apenas o objeto observado como também o observador, sendo uma representação, mais que do objeto, do próprio ato da observação. As figuras 4.26, 4.27 e 4.28 são exemplos de posicionamentos do observador, respectivamente, bem ao centro, à direita, em uma vista superior mais distanciada, e à direita em uma vista bem próxima da personagem, quase como se estivéssemos de frente para ela, no meio daquele ambiente e não fora dele, de maneira que a Igreja se estende para além do quadro, para a nossa direita e atrás

Figura 4.27: Jan Van Eyck, Ofício Fúnebre. Entre 1415 e 1417 (PANOFSKY, 1999, p. 84).

Figura 4.28: Jan Van Eyck, A virgem na Igreja, 1432-4 (PANOFSKY, 1999, p. 85).

Figura 4.29: Meister Bertram de Minden, Criação dos astros. Grabow, 1379. (PANOFISKY, 1999, p. 81)

de nós, que a observamos.

A técnica anterior à do uso do ponto de fuga, baseada em um “eixo de fuga” de retas de profundidade paralelas, que pode ser apreciada na figura 4.29, não problematiza o papel do observador ou a infinitude do espaço. O preço a pagar pelo contorno dessas questões é “um problema” na região central do quadro, no caso da presente figura, espertamente evitado pelo posicionamento do pé da personagem na região problemática. É interessante notar que até hoje utilizamos o método do “eixo de fuga”, para representar objetos em um sistema de coordenadas por exemplo. Por esse método, realizamos uma projeção ortogonal no plano figurativo: ao invés das linhas de projeção convergirem no ponto correspondente ao olho do observador, elas são paralelas umas às outras. É como se, por esse método, abstraíssemos a existência do observador, posicionando-o a uma distância infinita do plano figurativo. A própria figura 4.25a utiliza esse método para demonstrar a construção em perspectiva, numa mescla de técnicas que demonstra o aspecto convencional de cada uma delas.

O reconhecimento da importância do observador e da forma como a representação se transforma pelo seu deslocamento deu origem a toda uma série de necessidades de tomada de posição, relacionadas a essa tensão sujeito-objeto (PANOFISKY, 1999, p. 49, 50). Pode-se por exemplo optar por pintar um teto, aceitando todas as consequências do giro de 90° que o plano figurativo sofre, adequando a representação à posição do observador, ou, ao contrário, definir

a “posição correta” de onde determinada obra deve ser observada, adequando o observador à obra. Em qualquer caso, a possibilidade de observar de outro a representação de um certo ponto de vista é uma possibilidade perceptiva nova que nada tem a ver com uma “reprodução do real”, mas sim com a sua recriação. Esse despertar da sensibilidade para as transformações da percepção devido à mudança em como se vê (diferentes “perspectivas” de uma mesma realidade) abre o flanco para uma relativização das experiências sensíveis associadas à espacialidade¹⁴.

A aquisição de um caráter prioritário para a visão e a possibilidade de, através dela, penetrar o interior de um espaço, revelando sua natureza são, segundo Wiles, características distintivas da espacialidade renascentista em contraposição à medieval. É, nesse sentido, significativa a afirmação de Leonardo da Vinci:

“a alma se contenta em ficar aprisionada no corpo humano, pois, através dos olhos, as diversas coisas da natureza são representadas para a alma. Aquele que perde seus olhos deixa sua alma em uma prisão escura, sem esperança de ver novamente o sol, a luz de todo o mundo” (WILES, 2003, p. 216).

O teatro italiano, organização espacial que surge no contexto do Renascimento e permanece como modelo dominante de organização do espaço teatral até, pelo menos, o final do século XIX é caracterizado pela construção de uma cena “emoldurada”, em consonância com os princípios da representação em perspectiva e o seu princípio de ver o mundo através da janela plana e retangular do plano figurativo. Essa organização espacial é utilizada para permitir a representação e a visualização do espaço interior, acompanhada de todo o simbolismo que associa a visão do interior à percepção da verdadeira essência das coisas, concepção ausente no teatro medieval.

A combinação de uma plateia organizada ainda em uma forma circular e um palco frontal organizado de acordo com um eixo central, no contexto do neo-platonismo renascentista, é interpretada por Wiles em analogia ao mito da caverna de Platão: o auditório representa a caverna escura e o palco, com suas possibilidades de desvendamento do interior das coisas e sua organização em um espaço matemático, perspectivico, permite uma rota de saída rumo às verdadeiras essências.

Uma tela no fundo de cena, pintada de acordo com as regras perspectivicas (figura 4.30), dá ao espaço uma maior ilusão de tridimensionalidade, de interioridade e de perfeição matemática.

¹⁴As relações entre essas concepções e o desenvolvimento da física clássica, assim como do rompimento com elas operado pelas vanguardas artísticas do século XX e as rupturas ocorridas na física do mesmo século já foram discutidas no trabalho de José Cláudio Reis (2002), que pôde propor, também, a partir daí, novas possibilidades de estratégias no ensino de física, em uma abordagem que privilegiasse sua dimensão cultural.

Figura 4.30: Sebastiano Serlio: Cena Cômica (1545). É interessante notar a presença da porta de uma igreja no ponto de fuga da pintura. Conforme Wiles (2003, p. 217).

Figura 4.31: Cena de *Cinna*, de Pierre Corneille (~1640). Pintura de Julien Alexandre, conforme Wiles (2003, p. 220).

Evidentemente, porém, devido à adoção, na construção da imagem em perspectiva, de um ponto de vista centralizado, a criação da ilusão não é igualmente boa para todos os espectadores e a diferença de pontos de vista adquire uma conotação social: à burguesia é oferecida a visão idealizada do palco, enquanto aos demais cabe um ponto de vista de um ângulo inferior, assumindo vicariamente o ponto de vista burguês. A figura 4.31 mostra o ponto de vista de um membro do público, vendo a cena desse ângulo específico, que coloca em exposição, também, outros espectadores (a esquerda), que vêm a cena do próprio palco. Na parte mais baixa do teatro, abaixo do palco, local correspondente no teatro greco-romano ao Coro, estão os lugares mais desprestigiados, em que os espectadores originalmente ficavam de pé, constituindo um ruidoso público e tornando a representação muito mais complexa e dinâmica.

Galileu e a perspectiva. Segundo Edgerton (2006, p. 163), Galileu possuía grande habilidade artística e era um profundo conhecedor da técnica do desenho em perspectiva, a ponto de, aos 24 anos, em 1588, ter postulado o cargo de professor desta técnica na prestigiosa *Accademia del Disegno* e de, em 1613, ser eleito membro desta Academia. Quando, em 1612, o artista Cigoli, seu amigo, solicitou que Galileu se posicionasse a respeito de qual expressão artística seria superior, se a pintura ou a escultura, sua resposta foi a seguinte:

“A estátua não tem o seu relevo em virtude de ser larga, longa e profunda, mas em virtude de ser clara em alguns lugares e escura em outros. Como

prova disso, podemos notar que apenas duas das três dimensões são expostas de fato ao olho: comprimento e largura (que são as superfícies ... quer dizer a periferia ou circunferência). Porque, dos objetos que aparecem e são vistos não vemos nada a não ser suas superfícies; sua profundidade não pode ser percebida pelo olho porque nossa visão não penetra os corpos opacos. (...) Nós sabemos da profundidade, não como uma experiência visual em si e de forma absoluta, mas apenas por acidente e em relação com o claro e o escuro. E tudo isso está presente na pintura da mesma forma que na escultura (...) Mas a escultura recebe a luz e a sombra da Natureza enquanto a pintura as recebe da Arte”(GALILEI, apud EDGERTON, 2006, p. 163-4).

O conhecimento de Galileu a respeito da pintura de sua época foi de grande importância, ainda segundo Edgerton, para que ele, ao olhar para o céu com seu *perspicilli* (ou tubo perspectívico: o telescópio que construiu para si a partir do conhecimento de sua invenção pelos holandeses), pudesse reconhecer na Lua crateras e montanhas gigantescas, cujo tamanho foi capaz de estimar. A má qualidade óptica dos telescópios da época, a estreiteza do campo visual que eles propiciavam, permitindo a visualização de no máximo um quarto da superfície da lua a cada vez, tornavam o reconhecimento das características de sua superfície muito difícil. Prova disso é o fato de que, pouco antes de Galileu, o inglês Thomas Harriot também olhou para a Lua com um telescópio, mas, pelo que podemos concluir da análise de seus desenhos (figura 4.32), viu a mesma Lua conhecida até então, de superfície lisa, “vaporosa”, com manchas. Os registros de Galileu, ao contrário, demonstram que ele foi capaz de enxergar e representar uma outra Lua, em que os matizes de luz e sombra representavam as diferenças de profundidade que, como o próprio Galileu explicitou na citação acima, não podem ser vistas diretamente pelos olhos, mas apenas deduzidas por acidentes e pelas relações de claro e escuro. Teria sido ele capaz de enxergar essa mesma Lua se não estivesse imerso no contexto da cultura renascentista italiana de época?

Na figura 4.33, podemos comparar diferentes representações dos céus e da Lua nas obras artísticas da época, notando a influência das observações de Galileu em uma delas, assim como o desprezo dessas mesmas observações na outra. Ao contrário do que poderíamos pensar, as transformações provocadas pelas observações de Galileu não correspondem a detalhes sem grandes consequências: trata-se, novamente, da destruição do espaço heterogêneo e hierárquico, dividido entre o mundo imperfeito e mutável sub-lunar e a perfeição eterna supra-lunar. E Galileu defenderá a beleza e perfeição inerentes a essa nova visão de mundo:

“Não posso sem grande admiração, e direi grande repugnância para meu intelecto, ouvir atribuições de grande nobreza e perfeição aos corpos celestes e integrantes do universo serem impassíveis, imutáveis, inalteráveis, etc., e ao contrário considerar grande imperfeição ser alterável, capaz de gerar, mutável, etc.: julgo a Terra nobilíssima e admirável pelas tantas e tão diversas alterações, mutações, gerações etc. que nela incessantemente ocorrem; (...) e o

(a)

(b)

Figura 4.32: (a) Representação, provavelmente desenhada por Galileu, de suas observações da lua através do telescópio. (b) Acima, representação de Thomas Harriot de observações da lua através de um telescópio, realizadas antes das observações de Galileu. Abaixo, representação, também de Harriot, realizada após ter acesso às observações de Galileu (EDGERTON, 2006, p. 167, 170, 176).

mesmo digo sobre a Lua, Júpiter e todos os outros globos do mundo.” (GALILEI, apud CALVINO, 2007, p. 96)

4.6.2 Jogos e reflexões em torno à visão e à noção de “*ponto de vista*”

Devido ao valor especial que o sentido da visão possui para a construção do espaço clássico, a experiência visual é particularmente relevante com o objetivo de experienciá-lo. A percepção do “*ponto de vista*” próprio e a experiência da construção do ponto de vista alheio correspondem a operações particularmente relevantes no contexto da mecânica clássica (assim como da relativística). A impossibilidade de ter acesso à totalidade de um objeto ou de uma situação, sendo-nos possível apenas acessar aspectos, projeções desta realidade e buscar relacioná-los entre si traduz o caráter parcial, relativo e questionável de nossas percepções, fundamental não apenas para a construção da física clássica como, acredito, de quase todas as ciências modernas, sendo esta capacidade de “localizar” o próprio ponto de vista e de “construir”, a partir dele, outros, particularmente importante para a compreensão de conflitos sociais humanos.

Entre os exercícios práticos que propus, apenas um lidou, de maneira mais literal e direta, com o tipo de relatividade associado ao ponto de vista e à “projeção perspectiva” daí decor-

Figura 4.33: Virgem sobre a lua. À esquerda, em uma pintura de Bartolomé Estabán Murillo (1617-82), vemos a representação de uma lua lisa, “vaporosa”. À direita, afresco de Cigoli de 1612 para a Basílica de Santa Maria Maggiore em Roma, vemos uma lua sólida e irregular (EDGERTON, 2006, p. 168, 177).

rente. Trata-se do exercício descrito no quadro 9, que envolve a representação de pontos de vista de um objeto por dois procedimentos distintos: através de uma observação livre e por uma observação através de um “*perspectógrafo*”, instrumento que consiste em uma superfície transparente quadriculada através da qual se vê um objeto de uma posição bem definida, copiando as “coordenadas” de sua aparência para uma folha (figura 4.34). Em particular, a proposição, neste exercício, de desenhar um ponto de vista alheio do objeto, sem observá-lo diretamente dessa posição, visa problematizar a possibilidade de realizar essa “mudança de ponto de vista”, pela qual se *infere* como é o ponto de vista de outro, possibilidade que se torna mais viável no caso de um objeto simétrico do que de um assimétrico¹⁵. Embora considere este um exercício bastante relevante, por dificuldades logísticas, realizei-o com os estudantes em apenas uma oportunidade. Por isso, é com surpresa que notei que, mesmo quando não propus este exercício, houve contribuições livres de estudantes ao *blog* da disciplina que problematizaram justamente o tipo de relatividade envolvido aqui.

Refiro-me, no que segue, ao diálogo que os estudantes estabeleceram a esse propósito no segundo semestre de 2011. A primeira problematização mais explícita do tema apareceu com

¹⁵Essa operação de mudança de “ponto de vista” é uma analogia com a operação associada, na física, a uma “mudança de referencial”. A simetria do objeto, que permite proceder a mudança, associa-se, nessa analogia, às simetrias do espaço-tempo, que permitem determinar as equações de transformação entre dois referenciais.

Quadro 9 Exercício de observação e representação de pontos de vista de um objeto multifacetado e de um simétrico

objetivos: desenvolvimento da consciência do caráter projetivo e fragmentário da percepção visual dos objetos; experimentação da descoberta do ponto de vista do outro e das relações entre os pontos de vista.

orientação: utilizando objetos comuns da sala (cadeiras, mesas, objetos diversos), construir dois objetos multifacetados: um simétrico e outro assimétrico; os grupos experimentam o registro dos objetos construídos (por outro grupo) através dos seguintes procedimentos: (1) projeção de sombras do objeto; (2) através de um perspectógrafo (figura 4.34), registro de um ponto de vista escolhido do objeto; (3) sem o perspectógrafo, registro “livre” de um ponto de vista escolhido do objeto; (4) a partir de um ponto de vista, procura-se construir o registro de como seria um outro ponto de vista escolhido do objeto, mas de forma que o desenhista permanece em sua posição original, quer dizer, ele não observa o objeto deste último ponto de vista, mas apenas o imagina.

observação: Na oportunidade em que foi realizado, por falta de tempo, utilizou-se apenas um objeto (assimétrico) e a variante (1) de representação (por projeção de sombras) não foi desenvolvida.

Figura 4.34: Representação da utilização de um perspectógrafo, superfície transparente e quadriculada, que permite o transporte para uma folha das coordenadas de um objeto, observadas a partir de um ponto de vista. Figura extraída de Edgerton (2006, p. 162).

Figura 4.35: Foto de desenho criado na rua pelo artista Julian Beever. Postado por aluno no *blog* da disciplina.

a imagem da figura 4.35. Ao observá-la, com pouca atenção, não reconheci inicialmente que se tratava de uma intervenção no espaço urbano, criando a ilusão de uma paisagem subterrânea na realidade inexistente. Só compreendi a imagem ao ler o comentário que outro estudante realizou a respeito:

“Bacana. A primeira obra do tipo que vi foi de Edgar Müller, ‘A fenda’. É impressionante, esse tipo de art, quando eu estava no fundamental me pediram para desenhar o mapa do Brasil numa quadra e foi extremamente difícil, pois sendo a primeira vez eu não tive preparo algum. Mesmo traçando linhas no papel e no chão para me orientar eu via o desenho final distorcido, justamente, por causa do ângulo em que eu o analisava. Até entender isto e perceber que não havia correção passou-se uma longa tarde. E a cada ângulo e posição que se observa a imagem ela estará distorcida. Na época se conhecesse tais trabalhos eu poderia prover uma solução”.

(leitura proposta por estudante, publicada no blog da disciplina).

A obra a que o estudante faz referência (figura 4.36), publicada por ele no *blog*, esclarece, quase sem necessidade de comentários adicionais, a imagem anterior e as dificuldades por ele testemunhadas ao tentar desenhar um mapa em uma quadra. Eu apenas enfatizaria que o princípio envolvido nesses trabalhos é o mesmo das representações renascentistas em perspectiva, a saber, a criação de uma ilusão de “ver através” de um plano pictórico, que se realiza pela projeção neste plano de uma “pirâmide visual”, associada a um “ponto de vista” particular. A

Figura 4.36: Instantâneos extraídos de vídeo mostrando a elaboração de “A fenda”, do artista Edgar Müller. Publicado por aluno no *blog* da disciplina.

(a)

(b)

Figura 4.37: Exemplos de utilização da técnica de “desenho anamórfico”. Publicado por aluno no *blog* da disciplina.

Figura 4.38: Exemplos de utilização da técnica de “desenho anamórfico”. Publicado por aluno no *blog* da disciplina.

impressão que temos, ao observar essa obra, de uma fenda só se realiza do ponto de vista específico de onde a foto foi tirada. Essa posição específica é definida pela localização do ponto de fuga da composição, ou seja, do ponto aonde as diversas linhas desenhadas no chão convergem, de forma que ele parece representar um ponto infinitamente profundo.

O comentário de um segundo estudante à imagem anterior, da figura 4.35, seguido pela publicação das imagens das figuras 4.37 e 4.38, foi igualmente esclarecedor:

“Essa técnica é muito interessante, realmente está parecendo que ele está no topo de um prédio. Eu conhecia essa técnica, mas não com essa ilusão de ótica 3d, como uma forma de transformar uma imagem em outra mudando o ponto de vista, o interessante dessa postagem é que lembra a aula da subversão da vertical mas sendo um tipo de subversão da perspectiva, uma imagem 2d dando a sensação de uma 3d. Muito legal”.

(leitura proposta por estudante, publicada no blog da disciplina).

Na análise das figuras 4.37 e 4.38, mais uma vez, foi a publicação dos comentários dos estudantes que me esclareceu que não se tratava de alguma técnica de manipulação digital de uma imagem, mas sim de um mesmo desenho, visto de ângulos distintos, realizado, no caso da figura 4.37, nas paredes e chão do espaço físico e que criam, dependendo do ângulo com o qual o vemos, distintas ilusões, formando figuras diferentes. Acompanhemos uma das explicações dos próprios estudantes a propósito da figura 4.38:

“Fazendo uma leitura da imagem em questão tanto da parte 1 [figura 4.38a] como da parte 2 [figura 4.38b], ambas representam o desenho de uma montanha cujas extremidades são mais altas e entre essas extremidades há um lugar mais plano no qual possibilita a passagem de pessoas, que neste caso encontram-se na lateral esquerda desta. A imagem/parte 1 é muito interessante, pois mesmo estando explícito que este desenho é bidimensional, o modo como foi desenhado passa uma sensação de profundidade, mesmo apresentando aquela estrutura cilíndrica que se encontra na extremidade superior da

imagem. No entanto, esta estrutura cilíndrica denota de maneira diferente quando o desenho é olhado de cima (parte 2 da figura), parecendo a lua por exemplo, e não um cilindro. Além de representar uma técnica diferente aplicada à imagem, creio que pode se enquadrar também a frase na qual foi discutida ontem em sala de aula, pois não existe uma visão/realidade única sobre uma observação, o que se torna explícito nessas duas imagens”.

(leitura proposta por estudante, publicada no blog da disciplina).

De todas essas contribuições dos estudantes, notamos que um tema adicional de reflexão, associado a este dos múltiplos pontos de vista, se refere ao tema das ilusões. A medida de nossa confiança no que vemos (na recíproca da necessidade de “ver para crer”) é também a medida da frequência com que nos enganamos frente a “miragens”, a “ilusões de óptica” em geral. O fato de algumas dessas ilusões, como as apresentadas nas contribuições dos estudantes e toda a pintura em perspectiva, poderem ser produzidas intencionalmente demonstra a possibilidade que o pensamento racional tem de, ao revelar seus mecanismos de produção, compreender sua origem e evitar se deixar enganar pelas “falsas aparências”. As ilusões visuais, dessa forma, podem servir como uma metáfora do movimento epistemológico associado à submissão das aparências a um sistema racional que lhes confira o “verdadeiro” sentido. É significativo que Galileu tenha se valido frequentemente dessa metáfora, como na citação abaixo, em que Sagredo explica a Simplicio porque, embora o modelo heliocêntrico pareça contradizer a experiência, uma vez que vemos diariamente os corpos caírem em movimento retilíneo e não curvo, como seria de se esperar se a Terra se movesse, esses “resultados experimentais” não passam de uma ilusão:

“[Salviati] (...) Sr. Simplicio, porque, assim como eu, que sou indiferente a essas opiniões e somente à guisa de ator uso a máscara de Copérnico, jamais vi, nem me aconteceu de ver, cair aquela pedra de outro modo que perpendicularmente, assim acredito que aos olhos de todos os outros, se represente o mesmo. (...) [Sagredo] (...) gostaria de lembrar-lhe um fenômeno que certamente ele já viu mil vezes com o qual, em conformidade com isto que estamos tratando, pode-se compreender como outros podem facilmente *enganar-se com a simples aparência, ou queremos dizer, representação dos sentidos*. E o fenômeno é o de dar a impressão àqueles que de noite caminham por uma estrada de estarem sendo seguidos pela Lua com idêntico passo, enquanto a vêm rasar as pontes dos telhados sobre os quais lhes aparece, exatamente daquela maneira que faria uma gata que, realmente caminhando sobre as telhas, se mantivesse atrás deles: aparência de que, quando não intervesse o raciocínio, muito manifestamente enganar-se-ia a visão” (GALILEI, 2004, p. 338-9, grifo meu).

Dessa forma, uma ilusão que se deve à não-consideração de que a nossa percepção visual das posições dos objetos depende da posição em que estamos – de nosso *ponto de vista* – é comparada por Galileu a uma ilusão que se deve à não-consideração de que a nossa percepção espaço-temporal da trajetória associada a um movimento depende do nosso “*estado de movimento*” – o referencial o nós associado.

4.6.3 Representações filosófico-científicas

O desmonte do espaço Aristotélico e a construção da espacialidade Newtoniana.

A construção da noção de espaço característica da física clássica surge, em grande parte, da crítica às concepções Aristotélicas, transformadas porém pela releitura destas concepções operada ao longo de todo o período medieval. Segundo Kuhn (2002, p. 130), a partir do século IV, Aristóteles, Ptolomeu e outros pensadores gregos foram duramente atacados pela Igreja devido ao conflito entre suas concepções cosmológicas e as Escrituras. A partir do século XIII, através de uma “releitura” tanto das sagradas escrituras quanto dos textos antigos (redescobertos através das fontes árabes, responsáveis pela reconstituição e aperfeiçoamento da ciência grega), foi possível construir uma nova teologia, em que a estrutura física e cosmológica do mundo fosse essencialmente Aristotélica. Os textos sagrados são tratados, muitas vezes, como possuindo um sentido metafórico apropriado ao conhecimento da população a que eram dirigidos, enquanto o universo Aristotélico, originalmente existente desde toda a eternidade, é adaptado à ideia de um mundo criado por Deus.

Assim como a doutrina Aristotélica foi reformulada no sentido de unificar-se ao cristianismo, ela também serviu como ponto de partida para a investigação escolástica, associada às Universidades, novo tipo de instituições eruditas europeias. Segundo Kuhn (p. 140), o próprio ardor com que eram estudados os textos de Aristóteles garantia a rápida detecção de incongruências, que muitas vezes se convertiam no fundamento de novas realizações criativas.

No que se refere à questão da última esfera móvel celeste (o *primum mobile*), o debate escolástico também produziu questionamentos. À luz da doutrina Aristotélica de lugar, que, como vimos na seção 4.4, não se associava a um substrato anterior aos corpos, mas estava relacionada à própria superfície que continha um determinado corpo, a existência dessa última esfera, após a qual não existe nada, tornava-se problemática (JAMMER, 1954, p. 53). Qual era o seu lugar? Uma solução comumente adotada pelos comentadores medievais consistia em “repartir” esta esfera celeste em múltiplas partes e associar o lugar de cada parte ao seu entorno na própria esfera celeste. Entretanto, já no século VI, Filopono, comentarista cristão que registra o primeiro confronto com a teoria Aristotélica, nota que isto levava a uma inconsistência, uma vez que a esfera deveria girar. Ao girar, suas partes deveriam mudar de lugar constantemente, mas isso, por essa definição de lugar, não ocorria, uma vez que as partes se moviam solidariamente. Teríamos, assim, o paradoxo de um movimento sem mudança de lugar.

O universo Copernicano, ao abolir, no século XVI, o movimento da última esfera celeste, forneceu, de certa forma, uma solução para essa dificuldade associada à definição Aristotélica

Figura 4.39: Diagrama do universo infinito de Thomas Digges, 1576 (KOYRÉ, 1986, p. 41). Comparar com a figura 4.3a na página 187.

de lugar (JAMMER, 1954, p. 71). Por outro lado, esta imobilização da última esfera celeste tornou sem efeito também um forte argumento Aristotélico contra a infinitude do universo, a saber: a impossibilidade de as estrelas da esfera celeste percorrerem distâncias infinitas ao redor da Terra (KOYRÉ, 1986, p. 33). Ao imobilizar a esfera celeste, dessa forma, Copérnico abriu o flanco para a sua abolição, tornando o universo potencialmente infinito, passo que não foi dado por ele, mas sim por Thomas Digges, algumas décadas depois (figura 4.39) e, a seguir, por Giordano Bruno com a formulação não só de um universo infinito como também infinitamente povoado, com infinitos mundos.

Se, por um lado, a construção do modelo heliocêntrico dá margem ao desmonte do Universo finito Aristotélico, a própria noção Aristotélica de lugar, que Copérnico não questiona, é uma outra “frente” de batalha importante na construção da espacialidade característica da física clássica. O contexto do Renascimento, sob influência de uma filosofia de caráter neoplatônico, que atribui à matemática um papel importante, mais próximo ao mundo das ideias e formas perfeitas, dá margem à construção desse espaço matemático substancial, anterior às coisas que nele estão. Como já discutimos anteriormente (página 214), a noção de onipresença divina, substancializada na forma de luz ou de espaço, fornecem um pano de fundo teológico para essa nova concepção de espaço. Podemos encontrar essa imagem tanto na literatura e arte renascentistas, como no contexto filosófico. Por exemplo, Marsilio Ficino, grande figura da academia humanista de Florença do século XV, escreveu:

“Nada revela a natureza do Bem [que é Deus] mais completamente do que a Luz [do Sol]. Primeiro, a luz é o mais brilhante e claro de todos os objetos sensíveis. Segundo, não há nada que se espalhe tão fácil, ampla e rapidamente como a luz. Terceiro, como uma carícia, ela penetra em todas as coisas sem fazer mal e muito gentilmente. Quarto, o calor que a acompanha cria e alimenta todas as coisas e é o gerador e movimentador universal (...) Talvez a própria luz seja o sentido da vista do espírito celeste, ou o seu acto de ver, operando à distância, unindo todas as coisas ao céu, nunca deixando no entanto o céu nem se misturando com as coisas exteriores” (FICINO, apud KUHN, 2002, p. 154).

No contexto mais filosófico, Francesco Patrizi, matemático, pensador neo-platônico do século XVI e ácido crítico da doutrina Aristotélica, defende que o espaço é a primeira coisa criada por Deus, sendo independente e superior a todos os outros existentes, sem o qual nada existiria (EDELHEIT, 2009, p. 244). Em oposição à doutrina escolástica substância - acidente, ele constrói uma hierarquia de existentes de acordo com a seguinte ordem: espaço, lugar, corpo, qualidade. O lugar é idêntico ao espaço vazio, exceto porque ele passou a ser ocupado por um corpo. E o que é o espaço? Uma distância, uma separação, uma extensão, um intervalo, uma interrupção e uma pausa. Uma quantidade anterior às quantidades, sua fonte e origem. Uma substância nem corpórea, nem incorpórea, mas intermediária a essas duas possibilidades, que inclui as três dimensões: comprimento, altura e profundidade, mas não oferece resistência aos corpos¹⁶.

Segundo Jammer (1954, p. 88), através dos trabalhos de Patrizi, Telesio e Campanella, a filosofia natural italiana do século XVI deve ser responsabilizada pela emancipação do conceito de espaço do esquema escolástico substância - acidente. Além de anterior aos corpos, o espaço torna-se homogêneo, indiferenciado, capaz de ser ocupado sem resistência pelos corpos e está livre das diferenciações entre alto e baixo, que são agora associadas à relação entre os corpos e não ao espaço.

A característica mais evidente e unânime da nova concepção de espaço é o seu caráter matematizado, tridimensional, redutível à definição de três grandezas, associadas a largura, altura e profundidade. Entretanto, outras características suas não serão de forma alguma tão claras e a polêmica sobre a real natureza do espaço continua viva na fundação da mecânica clássica. Em especial, seu caráter distinto, independente e anterior à matéria, por um lado, e, por outro, passivo, sem ação direta sobre os corpos serão questões polêmicas, debatidas intensamente por figuras fortemente associadas à revolução filosófica e científica em curso.

¹⁶Edelheit (2009, p.250-1) mostra como Patrizi constrói sua noção de espaço pelo jogo com as próprias noções Aristotélicas associadas à doutrina das Categorias. Apresento aqui apenas algumas de suas respostas, sem a pretensão de dar conta de sua argumentação. Chama a atenção, de qualquer forma, a nós que estamos habituados à ideia de um espaço matemático anterior aos corpos, a dificuldade em construir essa noção no contexto escolástico, como se pode depreender da necessidade de múltiplas e sucessivas definições complementares para esta noção.

A crítica à independência entre espaço e matéria foi realizada principalmente por Descartes. Ao identificar espaço e matéria, Descartes, porém, acentua fundamentalmente o caráter “espacial” dos corpos, que são despojados de características sensíveis, tais como peso, dureza ou cor, e são reduzidos a sua extensão, “geometrizando” a matéria:

“a verdadeira ideia que temos de um corpo consiste tão somente nisto, em que percebemos distintamente que é uma substância extensa em longitude, largura e profundidade. (...) [Portanto,] as palavras lugar e espaço não significam nada distinto *realmente* do corpo que dizemos que se encontra em algum lugar e denotam tão somente sua magnitude, sua figura e o modo como está situado entre outros corpos” (DESCARTES, apud KOYRÉ, 1986, p. 98).

O Universo material Cartesiano, em sua abordagem geometrizante, é “indefinidamente extenso” (a palavra “infinito” sendo reservada somente a Deus). Ao realizar a identificação entre espaço e matéria, Descartes evidentemente rejeita a possibilidade de existência de um espaço vazio:

“E já que apenas de que um corpo seja extenso em longitude, largura e profundidade temos razões para concluir que é uma substância, já que concebemos que é impossível que o que não é tenha uma extensão, temos que concluir o mesmo acerca do espaço supostamente vazio: a saber, que já que nele há alguma extensão, há também necessariamente alguma substância” (DESCARTES, apud KOYRÉ, 1986, p. 98).

Henry More, pensador com intensa preocupação religiosa, que exerceu grande influência sobre Newton (JAMMER, 1954, p. 40), criticou a posição Cartesiana, afirmando a não redutibilidade da matéria à extensão. A matéria, afirma ele, além de ser extensa possui também a propriedade da separabilidade e da impenetrabilidade. Em oposição à matéria, dessa forma, existe também uma outra substância de natureza espiritual, também extensa, porém dotada das propriedades de penetrabilidade e inseparabilidade (KOYRÉ, 1986, p. 125-6). O espaço é, para ele, distinto tanto da matéria quanto do “espírito da natureza”, que o preenche, atua sobre a matéria e é o responsável por toda sorte de efeitos que não podem ser remetidos a causas puramente mecânicas, dentre os quais a gravidade é o mais importante. Assim, o espaço infinito, que não se identifica nem aos corpos materiais nem ao “espírito da natureza”, tende a ser identificado por More à própria extensão de Deus.

A noção Newtoniana de espaço comunga o caráter matemático tridimensional dos autores previamente citados, sendo, além disso, independente e anterior aos corpos materiais:

“O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa permanece sempre similar e imóvel. (...) Lugar é uma parte do espaço que o corpo ocupa (...). Refiro-me a *uma parte do espaço, não à situação, nem*

à superfície externa do corpo. (...) Assim, em um navio que está navegando, o lugar relativo de um corpo é aquela parte do navio que o corpo ocupa; (...) repouso relativo é a permanência do corpo naquela mesma parte do navio ou de sua cavidade; repouso real, absoluto, é a permanência do corpo na mesma parte daquele espaço imóvel, no qual o próprio navio, sua cavidade e tudo o que ela contém se move” (NEWTON, 1974, p. 7-8, grifo meu).

Entretanto, como se depreende das questões que, em 1706, Newton acrescenta à edição de seu livro “Óptica” (KOYRÉ, 1986, p. 191), o espaço Newtoniano não é um mero receptáculo passivo para os corpos, mas possui ação ativa sobre eles. De fato, segundo Newton, se não fosse pela ação ativa, através do espaço, de Deus sobre o mundo, o Universo tenderia espontaneamente a colapsar pela progressiva perda de movimento que vemos ocorrer o tempo todo, por exemplo no choque dos corpos rígidos. O espaço absoluto, dessa forma, é identificado, numa linha de pensamento próxima à de More, ao “Sensório de Deus”:

“não pode dever-se mais que à sabedoria e habilidade de um agente poderoso e eterno que, ao estar em todas as partes, é muito mais capaz de mover com a sua vontade os corpos que se encontram em seu sensório uniforme e ilimitado [o espaço infinito], formando e reformando as partes do Universo, do que nós somos capazes com nossa vontade de mover as partes de nossos corpos” (NEWTON, 1977 apud KOYRÉ, 1986, p. 203).

4.7 O tempo substancial, linear, anterior ao movimento

Martins e Zanetic (2002) apontam o caráter secundário que o tempo, na física Aristotélica, possuía: caracterizado como o aspecto numerável do movimento, era utilizado para medir o movimento assim como o movimento era utilizado para medi-lo; dependente da existência de uma alma que conte, ele não possuía existência autônoma, mas era dependente tanto do movimento quanto da consciência que o mede e quantifica.

De fato, o significado do intervalo “uma hora” para gregos e romanos dependia tanto do período do dia considerado (as “horas diurnas” eram diferentes das “horas noturnas”) quanto da época do ano - a “hora diurna” era mais longa no verão e mais curta no inverno, enquanto ocorria o inverso com a “hora noturna” (REDONDI, 2010, p. 42). A razão dessa variação está evidentemente associada à definição de uma “hora diurna” e uma “hora noturna” como correspondentes respectivamente a um doze avos do período diurno e do período noturno. Como a forma predominante de medida do passar das horas associava-se, durante o dia, à utilização das *meridianas*, instrumento através do qual se media a sombra projetada no chão por uma estaca (o *gnomon*) e, durante a noite, à utilização da *esfera armilar*, artefato de forma esférica

que reproduzia a esfera celeste e permitia saber as horas através do ajuste de sua orientação de acordo com a posição do céu noturno, parece compreensível esse caráter variável da duração das horas. Afinal, como o eixo de rotação das esferas celestes em torno à Terra é inclinado, os dias e noites variam de acordo com a variação dessa inclinação ao longo do ano.

Entretanto, chama a atenção o fato de que o pensamento antigo não considerou relevante operar ajustes simples no funcionamento desses aparatos, de forma a tornar a duração das horas uniforme. Apenas no século XVI passou-se a orientar o gnomon paralelamente ao eixo de rotação das esferas celestes ou, em termos heliocêntricos, paralelamente ao eixo de rotação terrestre, tornando assim constante ao longo do ano a duração das horas medidas através desse aparato. Gregos e romanos utilizavam também outros aparatos que permitiam uma medida uniforme do tempo, como as clepsidras, nome genérico de aparatos que permitem a medida do passar do tempo pelo acompanhamento do escoamento de uma certa quantidade de água em um recipiente. Entretanto, ao invés de utilizar esses aparatos para medir horas uniformes, ao contrário, projetaram “aperfeiçoamentos” nesses instrumentos, que atrasavam ou adiantavam seu funcionamento, de forma a reproduzir as horas variáveis de acordo com a estação do ano (REDONDI, 2010, p. 45). Como conclui Pietro Redondi,

“Tudo isso vem a confirmar que, para os antigos, as horas ‘verdadeiras’ eram as horas mutáveis do tempo cósmico, e não as durações, artificialmente iguais, que sinalizavam as subidas e descidas da água graças à intervenção da mão humana. As horas desiguais da sombra das meridianas marcavam no solo o tempo natural, inscrito na perfeição da eternidade celeste. Em compensação, as clepsidras ou relógios de água eram um artifício, um instrumento social para medir períodos com fins práticos” (REDONDI, 2010, p. 45).

Em uma reflexão mais especulativa, Szamosi (1988) aponta as dificuldades envolvidas na metrificação do tempo. Ao contrário do que ocorre com o espaço, o ser humano não possui em seu corpo nenhum padrão métrico constante que possa servir como unidade de tempo (os batimentos cardíacos e a respiração não possuem, para medidas temporais, a constância característica do palmo, da plegada ou do pé para medidas espaciais). Além disso, os próprios fenômenos astronômicos do sistema solar têm serventia limitada no que se refere à metrificação: não há como definir um ano que possua um número inteiro de meses, nem um mês com um número inteiro de dias (em outras palavras, os períodos de rotação da Terra em torno de seu eixo, da Lua em torno da Terra e da Terra em torno do Sol não são múltiplos uns dos outros). O dia, menor desses intervalos, como acabamos de discutir, tampouco possui uma duração constante que lhe permita servir como padrão métrico. Mesmo o surgimento dos primeiros relógios mecânicos na Europa, no início do século XIV, dada a precisão que conseguiam alcançar, não alteraram significativamente a situação, especialmente no que se refere à medida de tempos curtos.

Figura 4.40: Exemplo de metrificação da duração dos sons (esquerda) e do silêncio (direita) em uma notação moderna.

Szamosi defende que, para a construção de um tempo mensurável, foi fundamental o lento desenvolvimento, desde o século XI até o fim do século XVI, da chamada *música polifônica*, na qual “melodias genuinamente diferentes são cantadas ou executadas ao mesmo tempo, de acordo com um sistema conscientemente organizado” (SZAMOSI, 1988, p. 103). A construção, extremamente difícil, desse estilo musical envolveu o desenvolvimento de um sistema de representação das durações – com a definição de unidades de duração, seus múltiplos e submúltiplos e a representação, ao longo de uma linha, da sucessão temporal da peça musical – além da mensuração precisa desses intervalos, feita não por um instrumento de medida exterior, mas pelo próprio ouvido humano, com uma precisão que, segundo Szamosi, só foi superada pelo aparecimento de instrumentos eletrônicos no século XX. Em particular, a metrificação dos silêncios na música pode ser comparada à noção de um espaço sem matéria, correspondendo a um tempo independente e anterior ao movimento (figura 4.40). Assim, a educação musical, que, juntamente com a aritmética, a geometria e a astronomia, constituía o chamado *quadrivium* e fazia parte da educação científica de todos os estudantes, contribuiu decisivamente para a constituição de uma noção de tempo mensurável, independente e anterior ao movimento.

Com essa proposição, Szamosi realça uma dimensão expressiva associada à concepção de tempo, raramente levada em conta em reflexões a respeito da noção científica de tempo. Pensar que a mensuração de uma grandeza se dê, de forma precisa, sem um instrumento de medida, mas através de recursos subjetivos é realmente surpreendente. Entretanto, como duvidar que um músico bem treinado seja capaz de “contar” tempos curtos com grande precisão? Podemos, de fato, testemunhar essa possibilidade ainda nos dias atuais, ao escutar uma orquestra.

Da mesma forma que, anteriormente, destacamos a influência das religiões monoteístas na construção de uma concepção de um espaço infinito e anterior aos corpos, podemos reconhecer essa influência também na concepção de um tempo anterior ao movimento. De fato, em suas *Confissões*, Santo Agostinho, já no início do século V d.C., rejeitou a caracterização Aristotélica do tempo como o aspecto numerável do movimento, fosse ele um movimento qualquer ou o movimento astronômico:

“Ouvi de certo homem douto que o movimento do Sol, da Lua e das estrelas é o tempo; mas não assenti. Por que não seria então o tempo o movimento de todos os corpos? Acaso se parassem os luminares do céu e se movesse a roda de um oleiro não haveria tempo com que pudéssemos medir as voltas que ela daria e

dizer que tardava o mesmo em umas e em outras, ou que se movia umas vezes mais devagar e outras mais rápido, que umas duravam mais e outras menos? (...) Mas não trato agora de investigar o que é o que chamamos ‘dia’, mas o que é o tempo, com o qual, medindo o percurso do Sol, pudéssemos dizer que ele tivesse dado uma volta em metade do tempo que costuma fazer, se o tivesse feito em um espaço de tempo equivalente a doze horas; (...) Portanto, sendo uma coisa o movimento do corpo, outra aquilo com que medimos a sua duração, quem não vê qual dos dois deve ser associado ao tempo com mais propriedade? Porque se um corpo se move umas vezes mais ou menos rapidamente e outras vezes está parado, não medimos apenas o tempo de seu movimento como também o tempo de seu repouso” (AGOSTINHO, apud REDONDI, 2010, p. 178-80).

É interessante perceber a referência de Agostinho à possibilidade de dias com maiores ou menores durações, que poderiam durar mais ou menos horas, justificando assim que o tempo não deva ser identificado com o movimento do Sol ou da Lua. A sua argumentação tende a tratar em igualdade de direitos o mundo supra e sub-lunar e neste ponto percebe-se a influência da visão de mundo cristã. Tendo sido igualmente criados por Deus, os céus deixam de representar a imagem móvel da eternidade. Se Deus assim o desejar, pode fazer com que o Sol dê uma volta em torno à Terra na metade do tempo que “costuma fazer”, assim como, na milagrosa batalha de Gibeão, Sol e Lua se detiveram por ordem divina e, mesmo assim, “estava quieto o Sol e caminhava o tempo, porque aquela luta se executou e terminou no espaço de tempo que era necessário” (AGOSTINHO, apud REDONDI, 2010, p. 179). Como afirma Redondi, a imagem de um tempo cíclico, vinculado aos movimentos cíclicos celestes se rompe porque:

“Todas as civilizações anteriores haviam se sentido parte da natureza e de seus ritmos cósmicos cíclicos; em compensação, as sociedades monoteístas se sentiam parte de uma história, a história de sua aliança com Deus, iniciada com a criação” (REDONDI, 2010, p. 69).

Ao se perguntar como é possível a medida do tempo, uma vez que o passado “já não é”, o futuro “ainda não é” e o presente “não se detém nem um instante sequer”, Santo Agostinho conclui que a única alternativa possível é que o tempo seja mensurado pela alma, que é o que permanece, é aonde se registram as afecções do acontecido. Ressalte-se que o autor, ao referir-se a essa contagem de tempo pela alma, trata com especial atenção a medida da duração das sílabas na leitura de um poema, dos silêncios que se estabelecem em uma leitura ou canção, mostrando, em apoio à tese de Szamozsi, que, já bem antes do desenvolvimento da música polifônica, a experiência do tempo no exercício da música era relevante para refletir a respeito da possibilidade de existência de um tempo anterior ao e independente do movimento (e do som), que segue seu fluxo mesmo quando há o repouso (e o silêncio):

“Em ti, alma minha, meço os tempos. Não queiras me perturbar, que assim é; nem queiras te perturbar com os turbilhões de tuas afecções. Em ti – repito –

meço os tempos. A afecção que em ti produzem as coisas que passam – e que, mesmo quando elas já passaram, permanece – é a que eu meço presentemente, não as coisas que passaram para produzi-la: é a ela que eu meço quando mensuro os tempos. Portanto, ou ela é o tempo ou eu não meço o tempo. E por acaso quando medimos os silêncios e dizemos: aquele silêncio durou tanto tempo quanto durou aquela outra voz, não estendemos acaso o pensamento para medir a voz como se soasse, a fim de poder determinar a duração dos intervalos de silêncio no espaço de tempo? (...) Suponhamos que vou recitar um canto por mim conhecido. Antes de começar, minha expectativa se estende por todo ele; (...) Embora minha atenção seja presente, por ela passa o que era futuro para fazer-se pretérito” (AGOSTINHO, apud REDONDI, 2010, p. 182-3).

Vale ressaltar que Agostinho faz constantemente referência à *medida do tempo* pela alma. Não se trata apenas da sensação de passagem do tempo, mas de uma medida quantificada em termos de “o dobro”, “a metade”, etc. É como se, de certa forma, o padrão métrico para medidas de tempo ficasse de alguma forma registrado “na alma”.

As observações historiográficas mais rigorosas de Redondi (2010, p. 80) confirmam as observações de Szamosi com relação à baixa eficácia dos relógios mecânicos no que se refere a uma mensuração precisa do tempo. Sofrendo atrasos de um quarto de hora ao dia e possuindo, até o final do século XVII, apenas o ponteiro indicador das horas (sem divisão de minutos, portanto), cada relógio precisava de um empregado “encarregado do relógio”, que deveria recarregar os pesos motores, lubrificar as engrenagens e ajustar o relógio de acordo com a hora correspondente ao meio dia, indicada pelas meridianas. Anteriores ao estudo do pêndulo por Galileu, o funcionamento desses relógios baseava-se na operação do *escape*, mecanismo que, por variadas formas, freava o movimento do peso motor, tornando-o aproximadamente uniforme. Compreender, dessa forma, o que motivou a construção, com fundos públicos, a partir da segunda metade do século XIV, de gigantescas e custosas máquinas em praticamente todas as grandes cidades europeias, tornou-se um enigma e um motivo de polêmica para a historiografia a partir da segunda metade do século XX (REDONDI, 2010, p. 83).

O conflito entre um tempo mais complexo e artificial, associado à cidade, e um tempo mais em acordo aos ciclos naturais, associado ao campo é uma das linhas de interpretação apontada por Redondi para justificar a elevação, nas cidades, desses verdadeiros monumentos mecânicos do tempo. Ao mesmo tempo, o próprio mecanismo de funcionamento do relógio, em particular do escape, ao frear um movimento que se precipita, adquire uma conotação simbólica associada a valores de equilíbrio, certeza, austeridade e auto-controle, como podemos notar por exemplo na figura 4.41, em que a alegoria associada à virtude da *Moderação* aparece cercada por relógios. Pietro Redondi aprofunda essa interpretação a respeito do simbolismo associado ao relógio, levando em conta que a imagem do universo como um mecanismo de relógio tornar-se-

á extremamente significativa a partir da Revolução Copernicana. Com forte teor ideológico, os relógios públicos, para ele, tinham no registro das horas uma função muito secundária. Além da sua indicação, os relógios reproduziam, com maior ou menor detalhe, o movimento celeste, indicando o Sol, as fases da Lua, o zodíaco e às vezes alguns movimentos das esferas dos planetas. Esta representação astronômica era rodeada ou coroada pela parte religiosa, formada por um teatro de autômatos, que representavam momentos cruciais da história da Salvação (REDONDI, 2010, p. 92). Essa mescla de motivos astronômicos e religiosos foi, segundo Redondi, uma constante na construção dos relógios públicos, demonstrando sua função ideológica. Acompanhem a descrição do relógio de Estrasburgo (figura 4.42), “o astrolábio-altar mais complexo, famoso e admirado do final da Idade Média”:

Construído em meados do século XIV, sua parte astronômica incluía um calendário das festas móveis e um astrolábio com os movimentos anuais e diurnos do Sol, as fases da Lua e os movimentos dos planetas. Sobre a parte astronômica se erguia, como era de hábito, a figura da Virgem com o Filho, ante a qual, ao meio dia, desfilavam em procissão as figuras mecânicas dos Reis Magos ao som do carrilhão. Outros mecanismos acionavam o autômato de um galo que cantava e batia as asas, enquanto a representação da Morte se afastava a cada quarto de hora da figura de Jesus Cristo, cujo autômato abençoava a cada meia hora os apóstolos que desfilavam à sua frente e simbolizavam a Igreja. Este fantástico relógio de Estrasburgo, apesar da notável precisão de seu funcionamento, não foi concebido, em princípio, para marcar a hora. Era, sobretudo, uma máquina concebida para transmitir conhecimentos e sentimentos edificantes. Seu imenso quadrante astronômico era um autêntico livro aberto da natureza criada, esse livro no qual, segundo os Salmos, ‘os céus proclamam a glória de Deus, o firmamento apregoa a obra de Suas mãos’” (REDONDI, 2010, p. 95).

O universo como um grande autômato criado pelo relojoeiro Deus. A imagem do autômato, de um mecanismo que reproduz a dinâmica do Universo e da vida repercute fortemente sobre o pensamento científico na medida em que propõe uma compreensão do “*funcionamento*” do Universo baseada em *mecanismos*, evitando o recurso à vontade, mesmo que seja a vontade divina. A vontade divina, por assim dizer, se expressaria através de mecanismos. Tal imagem servia também, de qualquer forma, para justificar o universo Ptolomaico. Tanto assim que os relógios públicos propagandeavam esse modelo. Tendo em vista esse contexto simbólico, porém, não será uma surpresa notar que o próprio Copérnico defenda seu modelo afirmando que é mais conveniente utilizar o mínimo de engrenagens para produzir os movimentos de um relógio (REDONDI, 2010, p. 106), ou que Kepler pretenda demonstrar que a máquina celeste é um relógio, “pois todas as variedades de movimento se transportam mediante uma única e simples força magnética do corpo solar, da mesma forma que, em um relógio, todos os movimentos nascem de um simples peso” (REDONDI, 2010, p. 110), ou que Descartes afirme:

Figura 4.41: Miniatura do manuscrito *Horloge de Sapince* de Heinrich Seuse, 1450. A virtude da Moderação conversa com o autor da tradução de *Horlogium sapientiae*, cercada por instrumentos de indicação do tempo (REDONDI, 2010, p. 90).

Figura 4.42: Representação da Catedral de Estrasburgo, gravada por autor anônimo em 1611 (REDONDI, 2010, p. 96).

“não reconheço nenhuma diferença entre as máquinas que fazem os artesãos e os diferentes corpos que compõem a natureza, exceto pelo fato de que (...) os tubos e molas que causam os efeitos dos corpos naturais costumam ser demasiadamente pequenos para que nossos sentidos possam percebê-los. (...) Por exemplo, quando um relógio marca as horas por meio das rodas de que é feito, isto não é menos natural do que é para uma árvore produzir seus frutos” (DESCARTES, apud REDONDI, 2010, p. 103).

Notamos assim que, tanto de um ponto de vista mais subjetivo, associado ao desenvolvimento da habilidade de reconhecimento e medida da passagem do tempo através de um “pulso interno”, quanto de um ponto de vista mais objetivo, associado ao reconhecimento do próprio mundo como um grande relógio, a dimensão temporal adquirira uma relevância desconhecida no mundo antigo.

Galileu Galilei jogará um importante papel na consolidação do tempo como protagonista no teatro associado à máquina do Universo (MARTINS; ZANETIC, 2002). Por um lado, sua descoberta, em 1602, do caráter isocrônico das oscilações de um pêndulo, independentemente da amplitude de seu movimento: segundo ele, as vibrações de um pêndulo, não importa se grandes, medianas, pequenas ou pequeníssimas se fazem sempre em tempos iguais. Além do mais, Galileu determinou a relação matemática precisa de dependência do período do pêndulo com relação ao seu comprimento, afirmando a proporcionalidade entre o seu período e o quadrado de seu comprimento, feito que significou a descoberta em pleno mundo sub-lunar de uma lei matemática precisa que se pensava poder encontrar apenas em fenômenos associados ao mundo supra-lunar (REDONDI, 2010, p. 112). Com isso, tornou-se possível a definição de um padrão métrico preciso para o tempo, abrindo novas perspectivas para a construção de relógios precisos. Essa possibilidade só pôde ser plenamente realizada, porém, através dos trabalhos de Huygens, 70 anos depois, ao identificar que as oscilações de um pêndulo simples não eram tão perfeitamente isocrônicas como pensava Galileu e ao propor uma adaptação de seu movimento, através da curva cicloide, que garantiria um verdadeiro isocronismo, mesmo para grandes amplitudes de oscilação.

Por outro lado, como aponta Martins no artigo citado acima, ao estudar os movimentos de queda, Galileu constrói uma abordagem na qual o tempo não apenas possui existência independente e anterior ao movimento como é a variável da qual as demais grandezas físicas dependem. É assim que Galileu descarta sua hipótese inicial de que corpos em queda possuiriam velocidades que aumentariam uniformemente de acordo com a *distância* percorrida e chega finalmente à sua definição de movimento uniformemente acelerado, como aquele no qual as velocidades aumentam de acordo com o *tempo* de percurso:

“(...) O que entenderemos facilmente, se considerarmos a estrita afinidade existente entre o tempo e o movimento: do mesmo modo, com efeito, que a

uniformidade do movimento se define e se concebe com base na igualdade dos tempos e dos espaços (...), assim também, mediante uma divisão do tempo em partes iguais, podemos perceber que os aumentos de velocidade acontecem com simplicidade; concebemos no espírito que um movimento é uniforme e, do mesmo modo, continuamente acelerado, quando, em tempos iguais quaisquer, adquire aumentos iguais de velocidade” (GALILEI, 1988 apud MARTINS; ZANETIC, 2002, p. 165).

A concepção geométrica tanto do espaço quanto do tempo pode ser notada quando acompanhamos a demonstração de Galileu de como, no movimento em que a velocidade cresce uniformemente com o tempo, as distâncias percorridas crescerão de acordo com o quadrado dos tempos. Nesta demonstração o tempo é representado como um segmento de reta, sua medida é associada ao comprimento do segmento e pode-se tranquilamente formar triângulos em que um dos lados representa o tempo de percurso e o outro representa a velocidade ao final daquele tempo, associando-se ainda a área do triângulo à distância percorrida. Além do mais, a explicação de Galileu, quando ele é confrontado com o argumento de que um corpo em movimento ascendente demoraria um tempo infinito para que sua velocidade diminuísse continuamente até o repouso, uma vez que há infinitos graus de velocidade entre o repouso e uma velocidade qualquer, demonstra sua concepção de tempo como um contínuo geométrico:

“Salviati - É isso o que aconteceria, Sr. Simplicio, se o móvel se detivesse durante algum tempo em cada grau de velocidade; acontece, porém, que ele simplesmente passa sem demorar mais que um instante. E, visto que em todo intervalo de tempo, por menor que seja, existem infinitos instantes, estes são suficientes para corresponder aos infinitos graus de velocidade que diminui” (GALILEI, 1988 apud MARTINS; ZANETIC, 2002, p. 167).

Espaço, tempo e velocidade são dessa forma concebidos como grandezas contínuas, que podem ser, todas, divididas infinitamente sem nunca alcançar um elemento atômico indivisível. Assim como o espaço absoluto, o tempo absoluto, anterior aos corpos, será consagrado pela definição Newtoniana, que será lida pelas gerações futuras de físicos:

“O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano” (NEWTON, 1974, p. 7).

4.7.1 Jogos e reflexões em torno à experiência do tempo

A exposição realizada acima a propósito da progressiva importância que a noção de tempo adquiriu em nossa cultura, sendo compreendido como anterior a e independente do movimento, demonstra uma certa ambiguidade de valores. Por um lado, em sua dimensão mais exterior, a imagem do “universo como um mecanismo de relógio” – imagem símbolo da visão de mundo mecanicista – remete-nos ao papel que a experiência do tempo adquiriu progressivamente em nossa cultura de controle tirânico de nossos ritmos, de redução dos homens a um conjunto de autômatos, do que dão testemunha, entre tantas e tantas outras, as imagens das figuras 4.43 e 4.44. Por outro, a imagem, fornecida por Santo Agostinho, do tempo que se registra “na alma” e a importância da experiência musical do *tempo rítmico* remete-nos a uma experiência de tempo que não se dá (apenas ou necessariamente) por uma imposição de um tempo externo e alheio, mas envolve também o encontro de ritmos em defasagem, síncope, contra-tempos, estabelecendo o desafio de manter um “pulso interno”, ao invés de ser simplesmente submetido a um tempo externo, o desafio de “ocupar” o tempo presente ao invés de ser simplesmente “arrastado” por seu fluxo “inflexível”.

Esse último sentido de ocupação e preenchimento do tempo presente associa-se diretamente a diversos princípios de trabalho que me orientaram ao longo de toda a pesquisa e do desenvolvimento da disciplina *Oficina de Projetos*. Em particular, a busca pela constituição da *experiência* – no sentido forte da palavra que abordamos – e a constituição de jogos de *improvisação*, que demandam a criação coletiva no próprio momento de realização do jogo, em *tempo presente*, e não em obediência cega a uma pauta de ações pré-determinada relacionam-se com esse movimento. Nesse sentido, todos os jogos que envolveram uma exposição em tempo presente (como a organização de debates, os jogos de subversão da vertical e do movimento) enfocaram essa questão.

Entretanto, jogos que colocassem mais explicitamente em questão o tema da percepção e experiência do tempo foram relativamente raros. Os quadros 10, 11 e 12 descrevem proposições de jogos que visam focar o tema. Entretanto, em parte por achá-los muito difíceis e em parte por ter priorizado os jogos que dialogavam com o tema das relatividades, acabei por utilizar apenas o jogo descrito no quadro 10, ainda assim em uma versão modificada¹⁷. Neste jogo, que utilizei com bastante frequência como forma de aquecimento e treinamento da “escuta” do grupo, a proposição de que os jogadores parem de se movimentar um a um, sem uma ordem pré-determinada e sem que duas pessoas parem ao mesmo tempo, visa desenvolver formas de

¹⁷ Opto por descrever e discutir brevemente esses jogos, apesar de não tê-los experimentado plenamente, com a intenção de registrar proposições que dialogam com a pesquisa de contexto histórico realizada e que podem servir a experimentações futuras, minhas e de outros que venham a se interessar pela pesquisa.

Figura 4.43: Fidelidade. Alberto Savino, 1949 (REDONDI, 2010, p. 22). O vazio emocional presente na relação do casal se exprime pela substituição de seus rostos por relógios, o que condiciona atitudes tão “corretas” quanto “automáticas”, “sem vida”, realizadas por uma submissão a uma dinâmica ditada exteriormente.

Figura 4.44: Cena do filme *Metrópolis* (1927), de Fritz Lang. A imagem representa a luta entre um operário e os ponteiros de um relógio, cuja circunferência contém apenas as dez horas associadas à jornada de trabalho da fábrica (REDONDI, 2010, p. 20).

Quadro 10 Proposta de jogo: Movimentação e pausa.

aquecimento

objetivos: fazer com que o grupo construa espontaneamente um pulso comum de movimentação; fortalecer a relação de comunicação tácita, dentro do grupo.

orientação: todos caminhando, é proposto que encontrem um pulso comum de movimentação, que deve surgir espontaneamente do movimento do grupo e não ser imposto por qualquer membro do grupo. A partir do estabelecimento deste pulso, as pessoas do grupo devem pausar uma a uma, até que todos tenham parado de se movimentar. As pausas de cada pessoa devem ocorrer a tempos regulares, por exemplo: a cada 5 pulsos, uma pessoa para. Se duas pessoas pausarem ao mesmo tempo, o exercício recomeça; não é permitido combinar de qualquer forma a ordem em que as pessoas irão pausar. Quando o grupo inteiro consegue pausar, então cada pessoa deverá recomeçar a movimentar-se, seguindo as mesmas regras estabelecidas para o processo de pausa.

observação: o jogo foi realizado em uma versão que não previa a necessidade de que os gestos de movimentação e pausa ocorressem sempre a tempos regulares, o que transforma bastante o exercício, na medida em que não é mais necessário estabelecer um pulso comum de movimentação.

atenção e “escuta” internas ao grupo, de comunicação tácita, ou seja, que ocorre de forma implícita, sem qualquer sinal, seja ele verbal ou não-verbal. Na versão modificada com que trabalhei, entretanto, não era necessário que essas paradas ocorressem a tempos regulares, de forma que justamente o segundo objetivo envolvido no jogo, associado ao estabelecimento de um pulso comum de movimentação se perdeu. Ao invés desse pulso regular, entretanto, estabelecia-se um pulso irregular, associado a intervalos algumas vezes muito curtos, outras muito longos, mas bastante vivos pela conjugação de duas incertezas: a incerteza sobre *quem* irá parar e a propósito de *quando* essa pessoa irá parar o seu movimento.

Na forma como está originalmente descrito no quadro 10, o jogo propõe, além desse desenvolvimento da escuta, o estabelecimento de um pulso inicial através da movimentação, ou seja, através de movimentos que se dão sempre no mesmo ritmo. Em um segundo momento, mais difícil, quando o grupo está inteiro parado e trata-se de voltar a mover-se, o pulso *coletivo* deve ser mantido, mesmo na ausência de movimentação, representando assim a noção de um tempo que flui “independentemente de qualquer movimento”.

O jogo do quadro 11 é similar, tanto em objetivos como em procedimentos, ao jogo que acabamos de discutir, sendo apenas, talvez, um pouco mais simples por não envolver um objetivo final a ser alcançado, nem a regra de, em caso de “erro”, retomar o jogo do início.

Por fim, o jogo de “pular corda”, descrito no quadro 12, estabelece a dimensão de con-

Quadro 11 Proposta de jogo: Movimentação em grupo, sob um pulso comum.

aquecimento

objetivos: fazer com que o grupo construa espontaneamente um pulso comum de movimentação; fortalecer a relação de comunicação tácita, dentro do grupo.

orientação: todos caminhando, é proposto que encontrem um pulso comum de movimentação, que deve surgir espontaneamente do movimento do grupo e não ser imposto por qualquer membro do grupo. A partir do estabelecimento deste pulso, o grupo pode realizar atos coletivos: quando uma pessoa pausa, todos devem pausar; quando uma recomeça a caminhar, todos devem recomeçar, etc.

observação: esse jogo não foi, ainda, experimentado na prática.

Quadro 12 Proposta de jogo: pulando corda.

aquecimento

objetivo: estabelecer um pulso comum que reja as partituras de movimentação e oralidade construídas. Trata-se de um exercício com múltiplas possibilidades, algumas das quais são bastante difíceis e só serão alcançadas se o exercício for aplicado múltiplas vezes, como uma forma de treinamento.

orientação: (1) entrar e sair de uma corda que é “batida” continuamente; (2) estabelecer o número de vezes que cada pessoa pula a corda e a duração da pausa entre uma entrada e outra; diminuir continuamente esses números de pulsos até seus valores mínimos (0 pulsos de pausa entre cada pessoa e 0 pulos de corda por pessoa); (3) procurar realizar alguma partitura de movimento enquanto pula a corda; (4) procurar ler um texto, em grupo, enquanto pula corda (cada pessoa que entra continua o texto de onde ele parou).

observação: esse jogo não foi, ainda, experimentado.

flito com um pulso externo e o desafio de estabelecer uma “sintonia” entre o “pulso interno”, com que realizamos uma série de ações, e o “pulso externo” (e “inflexível”) com que a corda bate. O conflito entre esses dois pulsos, como comentamos, parece representar uma condição extremamente atual de nossa vivência social.

4.8 O movimento e sua relação com o “ponto de vista”

Embora o vínculo entre a relatividade do movimento com relação ao referencial e a relatividade da aparência de objetos com relação ao ponto de vista seja, como vimos, bastante estreito e significativo, o não-esclarecimento dos limites envolvidos nessa analogia engendra também, como veremos, muitos obstáculos. Em particular, a associação da relatividade do movimento

a uma *impressão* visual é particularmente problemática já que nossas impressões visuais muito mais frequentemente demonstram o caráter absoluto que relativo do movimento. É nesse sentido que Galileu enfatizou a importância de “fazer intervir a razão” para evitar “enganar-se com a simples aparência, ou queremos dizer, representação dos sentidos”.

O procedimento pedagógico através do qual se procura demonstrar as contradições de certas concepções para então reconhecer a importância de “submeter” as impressões sensíveis ao filtro fornecido pela racionalidade científica tem, portanto, uma longa história, que remonta, no que diz respeito à questão da relatividade do movimento, pelo menos ao próprio Galileu. Se essa frente de trabalho tem, então um mérito evidente, por outro lado, ela pode ser lida com um sentido de depreciação da experiência dos sentidos como se esta experiência se associasse a uma forma “bruta”, ingênua de conhecimento sobre o mundo. Dessa forma, podemos ser levados a negligenciar a importância que a experiência sensorial do mundo tem na constituição do próprio pensamento científico e as possibilidades de refinamento dessa experiência que não têm a ver com um movimento de filtragem racional, mas sim com um aprofundamento expressivo, como é, por exemplo, o caso da experiência de tempo na música a que fizemos referência e a sua importância para a própria representação científica desse conceito. Assim, sem invalidar o procedimento de crítica racional, nossa abordagem, entretanto, procura conjugar essa primeira “frente de trabalho” com outra que, apenas aparentemente, vai em sentido oposto: a de busca do aprofundamento das impressões sensíveis, explorando as suas contradições com as construções científicas mais abstratas de maneira lúdica, poética, remetendo-as a distintos níveis de percepção e compreensão do mundo. Nessa “segunda frente”, a contradição entre distintas leituras do mundo aparece da mesma forma, mas a ênfase recai também sobre a experiência, em sua dimensão sensível e não apenas sobre a sua crítica.

4.8.1 Problematização inicial

Antes de descrevermos os jogos que procuramos desenvolver a propósito da relatividade do movimento, façamos um rápido apanhado de algumas questões problemáticas que pretendemos abordar através dos jogos. A disciplina *Oficina de Projetos* costuma iniciar com algumas questões que visam inventariar concepções espaciais dos estudantes. Entre as questões, há esta que segue:

“Escolha um movimento mecânico qualquer, descreva-o e analise-o completamente do ponto de vista de *dois* referenciais distintos. Deixando claro: para cada referencial, há uma descrição e uma análise distinta”.

(Questão proposta aos estudantes)

Realizar um estudo sistemático de todas as respostas que foram fornecidas a esta questão

está além dos objetivos deste trabalho¹⁸. Entretanto, mesmo sem essa pretensão sistemática, utilizarei a seguir algumas dessas respostas para demonstrar certas concepções que interessará problematizar através dos jogos propostos.

(A) Relatividade como impressão. A compreensão da relatividade do movimento como uma impressão e não como uma verdadeira equivalência entre referenciais parece ser quase universal entre os estudantes. Mas ela se expressa com intensidades distintas. Há casos em que esse caráter ilusório aparece de forma mais sutil, como por exemplo:

“Dois carros estão em movimento retilíneo uniforme com velocidade de 30m/s. Para um referencial externo fixo estarão se movendo com velocidade 30m/s, porém se considerarmos um referencial em movimento retilíneo uniforme no mesmo sentido com velocidade de 25m/s, os dois carros estarão se movendo com velocidade de 5m/s, da mesma forma, se for considerado um dos carros como referencial, o outro carro não apresentará velocidade alguma, pois como os dois estão com a mesma velocidade, para quem estiver dentro de um dos carros e olhar para o outro, terá a sensação de que os dois carros estão parados”. (Fragmento de resposta de estudante à questão formulada).

Podemos notar, neste fragmento que há um referencial que vê as coisas como realmente são, enquanto os outros dois têm “*impressões*” distintas. O texto inclusive explicita que, segundo o referencial de um dos carros, o outro “não apresentará velocidade alguma” apenas porque os dois carros “estão com a mesma velocidade”, de maneira que a percepção do referencial do carro é apenas uma “sensação”. Talvez esse tipo de observação pareça exageradamente preciosista. Há casos, porém, em que a associação da relatividade do movimento a uma impressão se dá de forma muito mais forte e comprometedora, como neste caso:

“um carro passando por um ciclista ambos na mesma direção para o carro o ciclista está parado, porém para o ciclista o carro está apenas mais rápido que ele, a diferença entre ambos, é dada pela velocidade que é maior para o carro”. (Fragmento de resposta de estudante à questão formulada).

Neste exemplo, embora a velocidade seja concebida como diferente para um ou outro referencial, não há o domínio de uma regra operatória que permita realizar essa transformação e a possibilidade de o ciclista, que se move para frente com relação ao solo, movimentar-se, segundo outro referencial, para trás, é inconcebível. O máximo que o autor concede é que o ciclista seja considerado como “parado” para o referencial que se move “mais rapidamente” que ele. Como as transformações que ocorrem ao realizar a mudança de referencial permanecem em um nível intuitivo, vinculado à sensação que a pessoa tem do movimento, sem regras claras,

¹⁸Um exemplo de levantamento sistemático de “concepções alternativas” a propósito da relatividade do movimento pode ser encontrado em Ramadas, Barve e Kumar (1996a, 1996b).

o autor não concebe que a velocidade do ciclista segundo o referencial do ciclista ou do carro segundo o referencial do carro sejam nulas. Afinal, é evidente que o ciclista em movimento percebe que está em movimento e não em repouso.

(B) Associação com o *ponto de vista*. A referência da relatividade do movimento a um *ponto de vista*, localizado em um *ponto* determinado “do espaço”, comparece nas respostas dos estudantes especialmente através da distinção entre um movimento que é associado a uma *aproximação* para um referencial, mas é associado a um *distanciamento* para outro. Por exemplo:

“O salto de paraquedas no referencial do avião se observa apenas o paraquedista se afastando do avião isso, antes da abertura do paraquedas e desconsiderando o atrito com o ar. Num referencial no solo (em repouso na relação com o avião) o paraquedista tanto se aproxima do solo como segue o mesmo movimento do avião”.

(Fragmento de resposta de estudante à questão formulada).

Novamente, não parece tão grave esse tipo de associação e o leitor pode considerar essa constatação desnecessária e excessivamente rigorosa. Entretanto, creio que a relevância dessa observação se deva, principalmente, a dois fatores: por um lado, a referência a um *ponto de vista* e a compreensão desse *ponto de vista* como uma “sensação subjetiva” levou frequentemente, nos jogos propostos, os estudantes a distinguirem o movimento segundo o referencial de um observador “próximo” do movimento segundo o referencial de um observador “distante”, afirmando, por exemplo, que a velocidade de um carro era maior para o observador próximo porque “parecia”, deste ponto, que ele se movia mais rapidamente.

Adicionalmente, no contexto da relatividade Einsteiniana, a associação do referencial a um observador em um ponto particular do espaço leva à interpretação, por exemplo, da relatividade da simultaneidade como devida ao fato de que a luz demora mais para chegar no observador de um ponto distante que de um próximo, dando a ele a “sensação” de que dois eventos “verdadeiramente” simultâneos ocorrem em instantes distintos. A afirmação de equivalência entre referenciais e de impossibilidade de definição absoluta de simultaneidade é transformada assim em uma simples “ilusão”. Nesse sentido, um nível adicional de abstração, associando a noção de referencial apenas à velocidade relativa entre dois sistemas de coordenadas e não à posição espacial de um suposto observador, será importante, depois, para a compreensão do significado da relatividade da simultaneidade.

(C) Indistinção entre referenciais inerciais e não-inerciais.

“Uma pessoa observa duas maçãs caírem ao mesmo tempo do topo de uma árvore. Desconsiderando a resistência do ar, podemos observar, do ponto de vista

da pessoa, que as duas maçãs estão em queda livre, são aceleradas pela gravidade e se ambas possuem a mesma massa, como estão submetidas a mesma aceleração as duas terão o mesmo peso (força peso; $F = ma$; $P = mg$). Como não há força de atrito, não importa se o formato de cada maçã é diferente, as duas chegarão ao chão ao mesmo tempo. Se nós adotarmos o segundo referencial como sendo uma das duas maçãs em questão, considerando as mesmas condições anteriores, as duas estarão paradas. A maçã 1 estará parada para a maçã 2 e vice-versa”.

(Fragmento de resposta de estudante à questão formulada).

Analisando o trecho acima, reconhecemos um exemplo bastante similar às experiências mentais invocadas por Einstein para a construção da teoria da relatividade geral. Porém, o fragmento chama a atenção por não indicar nenhuma surpresa pelo contraste entre a descrição cinemática e a dinâmica. Como explicar que, no referencial de uma maçã, a outra está em repouso se ela está submetida à força peso? Ela não deveria acelerar? O autor do texto não parece ter se dado conta deste paradoxo. Parece haver uma equivalência completa entre todo e qualquer referencial, posição que se atenua devido à compreensão comum de que essas transformações entre referenciais referem-se apenas a uma ilusão.

Na recíproca deste exemplo, podemos citar a compreensão frequente entre os estudantes de que um corpo em repouso com relação a um veículo que se move, com relação ao chão, em velocidade constante apenas permanece em repouso porque é “arrastado” pelo veículo, de modo que é mais difícil para a pessoa mover-se contra o movimento do veículo do que a favor. Ramadas, Barve e Kumar (1996a) verificaram essa concepção ao propor problemas tais como por exemplo um em que uma pessoa sobre um trem em movimento deve caminhar de uma extremidade a outra do vagão e voltar. Parte significativa de um grupo de graduandos em física (67%) afirmaram que a pessoa voltaria mais lentamente porque precisava se mover “contra o movimento do trem”. Dessa forma, por um lado todos os referenciais parecem iguais – sejam eles inerciais ou não – mas por outro não há verdadeira equivalência em nenhum.

(D) Relatividade como relação reflexiva. Outro elemento que apareceu com bastante frequência nas respostas à questão formulada associa-se a uma compreensão da transformação entre referenciais como uma relação simétrica reflexiva, da forma: se A se move para B, então B se move para A, como por exemplo:

“Um carro passando por uma praça onde tem uma pessoa em repouso com velocidade de 30km/h. Referencial do carro: a pessoa se aproxima do carro com uma velocidade de 30km/h. Referencial da pessoa: a pessoa está em repouso e o carro passa por ela com velocidade de 30km/h”.

(Fragmento de resposta de estudante à questão formulada).

Embora não haja nenhum “erro” nessa formulação, é considerado aqui apenas um caso

muito particular. Afinal, abordar um mesmo movimento a partir de dois referenciais distintos envolve, em princípio, três personagens: dois observadores e um corpo cujo movimento é observado. É apenas no caso específico em que o corpo cujo movimento é observado coincide com um dos observadores que a mudança de referencial adquire essa forma simétrica. A questão relevante, nesse sentido, é simplesmente perceber que essa forma de raciocínio não dá conta de compreender plenamente a operação envolvida em uma mudança de referencial. Sem essa compreensão, os estudantes frequentemente parecem não compreender as perguntas que lhes são formuladas a propósito de como se dá um movimento da perspectiva de dois observadores distintos.

4.8.2 Jogos e reflexões a propósito da relatividade do movimento

Como explicitiei há pouco, o princípio que regeu a proposição dos jogos em torno à relatividade do movimento associa-se à explicitação de contradições entre a percepção sensível “usual” e a representação científica, enfatizando, porém, a partir daí, não apenas a crítica racional dessa experiência, mas um aprofundamento das possibilidades de percepção, compreendendo-a não como uma forma de “aquisição de dados”, mas já como uma forma de elaboração, de maneira que a sensibilidade a ela associada pode ser desenvolvida.

Nesse sentido, um primeiro jogo que vale a pena comentar é o descrito no quadro 13, que propõe a experiência de procurar induzir “ilusões” de movimento. Neste jogo de aquecimento, as pessoas simplesmente se movem pelo espaço, ou mesmo realizam apenas pequenas movimentações de cabeça e procuram perceber as sensações resultantes em associação não com o movimento do próprio corpo, mas *como se* fossem os objetos da sala que se movessem. A imagem de uma filmagem através de uma câmera (representada por um retângulo recortado em uma pequena cartolina) é especialmente útil, ao remeter aos truques de filmagem que dão a sensação de movimento a que estamos acostumados e, também, ao realizar um recorte da percepção global do espaço, o que facilita a “mudança de referencial” proposta. Problematisamos, com este exercício, o caráter flexível da percepção. Assim como naqueles exercícios, associados à noção de *gestalt*, de percepção visual de imagens, em que ora percebemos uma figura, ora outra (por exemplo a figura 3.2 na página 131), aqui também o jogo consiste em perceber ora o movimento do próprio corpo, ora dos objetos da sala. Evidentemente, neste caso, o papel ativo da imaginação na constituição voluntária dessa “ilusão” é muito mais forte, uma vez que a percepção global do ambiente nos condiciona fortemente a uma percepção “única”, absoluta, dos movimentos. Neste exercício, tal como ocorre com a concepção (A) que abordamos na página 255, a relatividade do movimento é tratada como uma ilusão, mas ao remeter essa “ilusão” àquela que se constitui com movimentos de câmera, procuramos desenvolver mais precisamente

Quadro 13 Proposta de jogo: Movimento e repouso como formas de impressão
aquecimento

- objetivos: experimentar modificar o referencial através do qual vemos o movimento: ao invés de associá-lo às referências “fixas” da sala, associá-lo ao próprio corpo que caminha ou a outros corpos “em movimento”.
- orientação: movimentar-se pelo espaço “vendo” que na verdade é o espaço que se move; para isso: (a) utilizamos uma série de objetos dispostos na sala e experimentamos nos movimentar em relação a estes objetos, tendo a impressão que são eles que na verdade se movem; (b) levamos conosco um objeto e observamos o espaço ao fundo como se se movesse com relação a esse objeto que imaginamos parado. (c) utilizamos uma cartolina com um retângulo recortado e observamos o espaço através dela, realizando movimentações “de câmera” e vendo a “imagem filmada” resultante em movimento; (d) da mesma forma, propomos a observação das outras pessoas que se movem, “vendo-as fixas”, com o espaço se movendo.
-

a percepção do tipo de ilusão envolvido.

Um desenvolvimento “natural” deste jogo é o descrito no quadro 14. Trata-se, agora, não apenas de perceber um movimento que parece não existir como também de provocar essa sensação no público. Ainda como forma de aquecimento, o jogo é proposto inicialmente em roda, como um jogo de “adivinhação” do lugar aonde os jogadores no centro estão. Cada jogador que adivinha aonde estão os jogadores incorpora-se também na ação. Sendo um jogo de adivinhação – cujo foco, entretanto, não é a adivinhação – é necessário esclarecer antes a distinção entre mostrar e contar: não se trata de produzir um signo que possa, de alguma forma, *contar* qual é a situação proposta pelo jogador, mas sim de se colocar neste lugar, sentir-se nele e agir em conformidade com ele, deixando que estas ações *mostrem* onde ele está. Nessa forma mais dinâmica, o jogo permite que os jogadores sintam-se progressivamente mais à vontade com a situação de exposição e que compreendam na prática a proposta do jogo de *fisicalizar* lugares em movimento e de *improvisar* relações e ações nestes ambientes, garantindo apenas que todos estejam no *mesmo lugar*. Em um segundo momento, a mesma proposta é realizada dividindo a turma em grupos, que combinarão previamente o lugar em movimento em que estarão e realizarão o jogo de improvisação a partir daí (ver figura 2.9 na página 74).

A reflexão posterior a propósito desses jogos propicia muitos elementos interessantes. Com relação à questão específica da relatividade do movimento, a explicitação dos elementos que permitem a percepção do movimento merece destaque. É interessante que algumas vezes esses elementos aparecem de forma mais planejada e consciente, mas, em outras, eles aparecem de forma mais intuitiva, como uma sensação do corpo decorrente da inserção do jogador no lugar ficcional onde está. Como comentei anteriormente, a distinção entre referenciais inerciais e não-

Quadro 14 Proposta de jogo: estar em um lugar que se move / “subversão” do movimento.

objetivos: perceber as sensações físicas associadas a lugares em movimento; desenvolver a comunicação tácita.

orientação: 1) com todos em pé em uma roda, um jogador vai ao centro do círculo e coloca-se em um lugar ficcional que esteja, *ficcionalmente*, em movimento. O jogador segue realizando ações neste lugar, indefinidamente. Quando alguém crê ter descoberto *onde* o jogador está, vai até ele e cochicha qual é o lugar. Se ele acertar, se incorpora à ação, *no mesmo lugar ficcional* em que está o primeiro jogador. Se errar, volta ao seu lugar. O processo se repete até que todos tenham entrado no jogo ou até que ele se esgote. 2) A proposta é, novamente, estar em um lugar que se move, embora ele não se mova “de verdade” – subverter o movimento – mas agora formam-se grupos que definem previamente *onde* estão e *o que* estão fazendo, improvisando, a partir daí, o jogo para os demais jogadores.

foco: estar no lugar que se move, sentir o movimento, torná-lo real.

exemplos: um elevador, que para nos andares, sobe, desce; uma montanha russa; um ônibus em movimento, com freadas bruscas, curvas, etc.

ref. vis: figuras 2.9 na página 74.

avaliação: Onde estavam? Mostraram ou contaram? Que elementos nos permitiram descobrir onde estavam? Que elementos nos permitiram descobrir o tipo de movimentação do lugar onde estavam? Em quais momentos, o movimento do lugar tornava-se mais evidente?

inerciais não é, de forma alguma, uma questão razoavelmente compreendida pelos estudantes a priori. Dessa forma, a identificação daqueles movimentos que são mais facilmente reconhecidos pelas sensações do corpo (uma pequena dobrada de pernas quando o elevador inicia e quando para o movimento, o “frio na barriga” quando ocorre a descida na montanha russa, etc) e a associação dessa facilidade à distinção entre referenciais inerciais e não-inerciais não é óbvia, mas uma conclusão significativa a que chegam os estudantes e que permite a problematização da concepção (C), descrita na página 256. Como “discurso”, essas reflexões são comuns em qualquer atividade pedagógica que se proponha a discutir a inércia. Entretanto, acredito que o significado da reflexão envolvida é completamente diferente quando, como é o caso aqui, ela se origina de um esforço de ampliação e aprofundamento da experiência sensível. Na discussão posterior a este jogo, o público, em algumas ocasiões, ofereceu também (por minha solicitação) sugestões com relação a detalhes dos jogos realizados, que puderam ou não ser incorporados em uma repetição da improvisação. Essa repetição permitiu, algumas vezes, uma ampliação da consciência sobre o jogo e das sutilezas nele envolvidas.

Uma questão problematizadora foi alvo de longa reflexão dos estudantes. Sugerida pela leitura do capítulo *Absoluto/Relativo* do livro de Lévy-Leblond (2004), ela foi apresentada na forma original em que aparece no livro:

questão: “Um pequeno exercício, se você não se importa. De segundo nível, esteja certo. Aqui está: Bernard, no carro da família, deixa a cidade em que passou as férias; na ponte do canal que costeia a rua, seu amigo Alain, que não é da mesma turma na escola e continua de férias, brinca com seu barco teledirigido, tentando bater o recorde de velocidade que eles tinham estabelecido no canal entre a represa e um ponto na saída da cidade. Bernard, no carro, e Alain, na ponte, observam as manobras do barco que vai na direção do carro. Pedimos que você compare as grandezas físicas seguintes, tal como são calculadas por cada um dos meninos: *tempo do trajeto total (entre a represa e a ponte)*, *velocidade do barco*, *extensão total do trajeto*” (LÉVY-LEBLOND, 2004, p. 119-20).

O texto deixava ainda claro que não era necessário recorrer aos “estranhos efeitos” da relatividade Einsteiniana, sendo as concepções clássicas suficientes. A importância dessa questão, associa-se, do meu ponto de vista, à proposição de uma reflexão a respeito da relatividade do movimento em que dois referenciais distintos observam um terceiro movimento que não se identifica com o movimento de nenhum dos referenciais. Dessa forma, a simples afirmação de uma relação recíproca do tipo: “*para B, A está em movimento e B parado e, para A, B está em movimento e A parado*”, associada à concepção (D) descrita na página 257, não é capaz de resolver o problema. Além do mais, como veremos, a especificação das referências espaciais associadas ao trajeto percorrido (ponte, represa) induzem-nos, se estivermos desavisados,

Figura 4.45: Representação da questão proposta aos estudantes. Em (a) vemos que, segundo o referencial do “menino maluquinho” (Alain), a distância percorrida pelo barco é menor do que em (b), imagem que representa o referencial do “carro” (Bernard).

a privilegiar de forma inconsciente o referencial associado ao chão “*imóvel*”. Dessa forma é particularmente difícil chegar à conclusão de que a distância percorrida pelo barco, ou seja, a extensão total do trajeto, não é a mesma de acordo com os dois referenciais, sendo maior segundo o referencial de Bernard, o que justifica a conclusão de que a velocidade do barco, no referencial de Bernard também é maior do que no referencial de Alain, permanecendo igual nos dois referenciais apenas o tempo do trajeto total (ver figura 4.45). Como veremos, chegar a essas conclusões é realmente bastante difícil para a grande maioria dos estudantes. Pudemos corroborar assim a constatação de Lévy-Leblond¹⁹:

“a maior parte daqueles que submetemos a esse pequeno teste, e até os físicos, mesmo ao pedirmos que não recorram aos cálculos e que deem uma resposta imediata e baseada no bom senso, afirmam a igualdade das distâncias percorridas” (LÉVY-LEBLOND, 2004, p. 120).

Solicitei respostas a essa questão de múltiplas formas: através do envio de um texto ao *blog* e através de formulações verbais em aula no contexto de diversos exercícios propostos na forma de jogos teatrais. O fato de a pergunta ter sido formulada através de um enredo e não ter estabelecido de forma unívoca uma imagem “exata” do movimento que deveria ser considerado foi um elemento adicional de dificuldade para os estudantes, que, em suas respostas, ficaram muitas vezes restritos à interpretação do enunciado e não ofereceram respostas às questões objetivamente propostas. O fato de, mesmo após o esclarecimento da situação e das questões propostas, ao longo de semanas, as respostas terem continuado poucas e vagas, demonstrou a dificuldade dos alunos frente às questões.

Os jogos teatrais propostos em associação a essa questão possuíam uma triplo objetivo. Em

¹⁹E corroborar também o estudo de Ramadas, Barve e Kumar (1996a, p. 464-5), que notaram a grande frequência com que estudantes afirmam a (equivocada) invariância de distâncias percorridas e preferem postular, para garantir a relatividade das velocidades, que a medida do tempo de percurso pode depender do referencial do que “violam” o caráter absoluto da distância percorrida.

primeiro lugar, estabelecer partituras de movimentação física que promovessem a consciência a respeito do caráter relativo do movimento. Em segundo, através de proposições em que um discurso conjunto deveria ser construído, de forma improvisada, por duplas, trios e quartetos, promover a escuta da palavra e da movimentação dos parceiros. Por fim, ao demandar a concentração em focos múltiplos, associados à movimentação e à construção do discurso do grupo, procurar distensionar a reflexão a respeito da questão proposta por Lévy-Leblond, objetivando que todos os participantes do curso se posicionassem a respeito das três questões propostas e enfrentassem as contradições decorrentes de suas respostas. Possivelmente, estes exercícios corresponderam aos momentos de maior exposição individual, sendo particularmente delicados. O fato de que, nos exercícios que envolviam a relação com um público, prevaleceu, neste público, ao mesmo tempo, um clima de atenção ao jogo que estava sendo desenvolvido e de leveza, rindo livremente das situações cômicas que inevitavelmente surgiam nestes exercícios, indica um certo sucesso na proposição dos jogos. Outra indicação nesse sentido é o fato de que exercícios que envolviam uma exposição grande das pessoas, embora fossem de participação voluntária, contaram com a participação da maioria da turma²⁰.

Um primeiro exercício proposto foi o de os grupos formados discutirem a questão para o público, como em uma aula, ao mesmo tempo em que representam a situação proposta (quadro 15). Dessa forma, os grupos estabeleceriam uma relação *narrativa* com a ação que estavam realizando. O centro de preocupação dos estudantes-jogadores, neste jogo, acaba se vinculando inevitavelmente às dúvidas na compreensão da situação física proposta. Dessa forma, a relação entre aqueles que assistem e aqueles que apresentam gira também, em grande medida, em torno dessa questão. Como as questões formuladas possuem uma “resposta certa”, a tendência de atribuir ao próprio jogo uma distinção do tipo “certo” e “errado” é grande, diminuindo a potencialidade de criação envolvida, e o esforço de colocar-se em situação, de estabelecer uma percepção sensível do ambiente ficcional, que nos jogos anteriores ocorre em maior grau, fica, nessa situação, mais distante. A própria proposição do jogo é talvez restritiva demais. Entretanto, a discussão física proporcionada por essa proposição é bastante interessante e justifica sua realização.

Das diversas realizações desse jogo, alguns aspectos merecem ser destacados. Nesta atividade são demonstradas com bastante evidência as dificuldades envolvidas em associar um referencial ao “ponto de vista de um observador”, tal como ocorre na concepção (B) descrita na página 256. Por exemplo, uma reflexão que surgiu com alguma frequência afirmava que o barco possuía uma maior velocidade para Alain – o menino que está “parado” sobre a ponte – porque

²⁰Esse depoimento se refere a um semestre específico de desenvolvimento da disciplina. Evidentemente, a cada semestre as dinâmicas das turmas variam bastante e os exercícios propostos também são transformados, de acordo com as necessidades do grupo.

Quadro 15 Proposta de jogo: Discutir e mostrar um problema.

objetivos: discutir o tema da relatividade do movimento ao mesmo tempo em que procura representar o discurso em termos de movimentação corporal; relacionar o discurso teórico e a representação corporal.

orientação: o grupo deve apresentar a situação representada na figura 4.45 a propósito do problema de um barco em movimento visto por dois meninos, um dentro de um carro e o outro parado sobre a ponte, e responder as questões formuladas a esse propósito. Ao mesmo tempo em que explicam o problema e sua solução, como em uma aula, eles devem, também, de alguma forma, representar a situação de acordo com cada “ponto de vista”.

ele está mais perto do barco, de forma que ele “o vê” passando mais rápido. Parece, dessa forma, que a velocidade é maior porque o personagem tem que virar a cabeça mais rapidamente para acompanhar o movimento. Além disso, os grupos pretenderam frequentemente representar o “ponto de vista” de Bernard – o menino que está dentro de um carro – de maneira tal que ele permanecia em movimento, se deslocando pelo espaço; afinal, poderíamos justificar, Bernard evidentemente “vê” que está em movimento. Por fim, grupos que representaram o referencial de Bernard de uma forma tal que ele permanecia no mesmo lugar e mostraram, corporalmente, que o barco, nessa representação, percorria uma distância maior que a que ele percorria na representação associada ao referencial de Alain, mesmo assim, ao falarem sobre o assunto, afirmaram que o barco percorria a mesma distância para os dois referenciais: a contradição entre o que falavam e o que, ao mesmo tempo, mostravam lhes passava despercebida.

Essas discussões, sendo realizadas ao mesmo tempo em que se desenvolviam as ações, e envolvendo frequentemente discordâncias entre os próprios componentes do grupo, que apresentavam então a polêmica e mudavam de opinião em “tempo presente”, permitiu-nos abordar a relatividade do movimento e as contradições entre a percepção sensível e a representação racional de maneira particularmente rica, ainda que, nesse caso, a perspectiva dominante tenha sido a de “submissão da experiência sensível ao filtro da razão”. Dessa forma, a avaliação posterior desse jogo envolveu principalmente o questionamento das concepções (A) e (B) expostas acima e a associação de um “referencial” a um “sistema de coordenadas”: apenas compreendendo o referencial de Bernard como um sistema de coordenadas cuja origem está no carro foi possível representar a maior distância percorrida pelo barco segundo este referencial.

Com o intuito de desenvolver mais a perspectiva de elaboração da percepção sensível, um segundo jogo que desenvolvi – ainda abordando o mesmo problema “do barco” – está descrito no quadro 16 e envolve a constituição de um coro, que se movimenta coletivamente, “em bloco”. Pareceu-me que, do ponto de vista da percepção do espaço, um problema envolvido na assimi-

Quadro 16 Proposta de jogo: movimento em coro.

objetivos: desenvolver a comunicação tácita e a conexão entre os membros de um coro, que se movem juntos; promover a prontidão e a fluência na movimentação e na fala; desenvolver uma percepção ampliada do espaço em torno de si.

orientação: 1) o grupo forma um coro que se movimenta de acordo com a movimentação de um corifeu (o chefe do coro), e que é, também, quem desenvolve a discussão a respeito das questões propostas. A um sinal do professor, o jogador que exerce o papel de corifeu deve ser alternado, sem que haja interrupções na exposição verbal e na movimentação do coro. Esse sinal de alternância algumas vezes acontece com bastante frequência e outras demora bastante. A maneira como o coro se movimenta deve obedecer à seguinte regra: o corifeu realiza um movimento simples qualquer; o grupo se desloca de maneira a que a disposição das pessoas volte a ser exatamente a mesma que era antes da movimentação do corifeu. Assim, por exemplo, se o corifeu dá um giro em torno do próprio corpo, o coro deve girar em torno do corifeu até alcançar a posição original; se o corifeu abaixa, todo abaixam e assim sucessivamente. 2) dois coros simultâneos participam de um debate ou sustentam juntos o desenvolvimento de um discurso comum, alternando de tempos em tempos o coro que está desenvolvendo a fala e os corifeus que comandam os coros.

lação da relatividade das distâncias percorridas se associa à dificuldade de estabelecer em torno de si uma estruturação espacial que permita relacionar os objetos com esse centro, identificando as distâncias maiores e menores que cada objeto guarda com relação a si mesmo. Se o caráter relativo da velocidade é mais facilmente remetido a uma percepção relativa de rapidez, talvez o caráter relativo da distância também possa ser remetido a uma percepção relativa das distâncias com relação a esse centro móvel que é o sujeito. A constituição do coro em torno de um corifeu visava, assim, desenvolver uma percepção ampliada do espaço em torno de si. A conexão que o corifeu precisa ter com todos aqueles que estão à sua volta, bem como os membros do coro precisam ter uns com os outros e com o próprio corifeu vão no sentido dessa ampliação. Evidentemente, porém, trabalhos dessa natureza só podem demonstrar algum resultado a médio e longo prazo. A busca por essa ampliação da percepção espacial, entretanto, se justifica por si mesma, independentemente de resultar em alguma “resposta certa” imediata.

Após essa verdadeira maratona de jogos, o posicionamento dos estudantes com relação às questões problematizadas foi ficando mais claro. Ao mesmo tempo, a sensação de confusão frente à quantidade de opiniões diferentes sobre o mesmo tema também intensificou-se bastante. A dificuldade de articular um raciocínio, ao ser constantemente interrompido pelo raciocínio do parceiro, foi um tema levantado nas discussões de avaliação dos exercícios. A reclamação de não conseguir desenvolver o pensamento que havia sido preparado previamente, em casa, foi bastante geral e muitos relacionaram essa dificuldade à dificuldade que o professor enfrenta ao

tentar desenvolver um tema com um conjunto de alunos que pensa, cada um, de uma forma diferente. Do ponto de vista do público, comentou-se a respeito de momentos em que a exposição ficava tediosa, excessivamente repetitiva, dispersando a atenção, assim como de momentos em que algo de surpreendente ocorria e chamava a atenção. Em particular, foi apontado que os momentos em que os participantes se viam em “apuros”, por não saber continuar o raciocínio que vinha sendo desenvolvido pelo outro, por exemplo, envolviam também o público, mobilizando nossa atenção e interessando-nos em saber como o jogador resolveria o problema. De fato, esses momentos em que os jogadores passavam por dificuldades trazia a atenção de todos para a situação da experiência presente.

Um último jogo que gostaria de comentar a propósito da relatividade do movimento pretendeu problematizar a concepção de que corpos sobre veículos em movimento uniforme são “arrastados” por eles. O princípio envolvido na proposição desse jogo é, novamente, procurar estabelecer um diálogo entre a discussão teórica e a representação corporal. Propus aos jogadores a situação de uma pessoa em um trem em movimento que se move de uma ponta a outra de um vagão e volta. A pergunta inicial refere-se à situação em que o trem move-se em movimento uniforme, mas o acréscimo das situações em que o trem acelera e freia ajuda a chegar a uma conclusão a propósito do movimento uniforme. Assim, o jogo do quadro 17 propõe que um jogador represente a situação ao mesmo tempo em que a discute, lançando mão de ferramentas que permitam intensificar a observação de seus próprios movimentos, tais como mostrá-lo em câmera lenta e “rebobinar a fita”, repetindo a movimentação. Tal como ocorria no jogo do quadro 14, o público não vê o trem ou o seu movimento, mas apenas os efeitos de seu movimento no corpo do jogador (quer dizer, a representação se dá no referencial do trem). A questão proposta tornou-se polêmica e os jogadores do público queriam se manifestar verbalmente a respeito. A regra, entretanto, solicitava que todo jogador que quisesse falar precisasse, também, representar corporalmente a situação: dessa forma as possíveis contradições entre a reflexão e a representação corporal se evidenciavam.

A realização desse jogo foi bastante reveladora e significativa. Uma parcela considerável dos jogadores acreditava que o movimento no mesmo sentido do movimento do trem era mais fácil e rápido do que em sentido oposto. Frente à solicitação de representar o movimento, um jogador o representou de forma coerente com seu pensamento: ao se movimentar para “frente”, ele era atirado no sentido de seu movimento, enquanto, ao se movimentar para “trás”, precisava vencer o arraste do trem. As contradições apareciam frente à representação, que o jogador também fazia, de uma pessoa “parada” dentro do trem em movimento uniforme e, depois, em movimento acelerado ou desacelerado. E o debate em torno a essas contradições foi bastante longo, sem permitir que se chegasse perto, ao menos no primeiro dia, de um consenso.

Quadro 17 Proposta de jogo: movimentar-se em um trem em movimento.

objetivos: discutir o tema da relatividade do movimento ao mesmo tempo em que procura sentir-se em um lugar que se move.

orientação: (1) trata-se de um jogo que serve para discutir uma questão física específica. O lugar ficcional está definido a priori: um trem que se move (sem se mover). O jogador deve permanecer nesse trem, primeiro parado e depois caminhando nele “para frente” e “para trás” enquanto o trem pode estar se movendo à velocidade constante, freando, parado ou acelerando. Ele pode carregar um objeto (ficcional, não real) em suas mãos, que atira para o alto, etc. Enquanto se movimenta o jogador explica a situação física em que está, podendo “rebobinar” uma determinada situação, mostrá-la em câmera lenta, etc. O professor (e eventualmente os demais jogadores do público) pode ou não realizar intervenções, modificando o movimento do trem, propondo novas situações. (2) Um desenvolvimento possível do jogo pode envolver dois (ou mais) jogadores que estão no *mesmo* trem e discutem o assunto. Os jogadores podem, eventualmente, ter opiniões contrárias, mas estão *no mesmo* trem.

foco: sentir o movimento do trem *enquanto* fala.

observação: o jogo serve como condução para a reflexão a respeito da forma como nos movimentamos em um trem. Não deve ser permitido aos jogadores opinar sem colocar-se simultaneamente em situação no jogo e “mostrar” o que pensa com seu corpo.

O que me pareceu mais interessante nesse processo foi o fato de que, frente às contradições que enfrentavam, os jogadores mais convictos de suas posições frequentemente se distanciavam cada vez mais do que a experiência corporal em trens demonstra fartamente. Experiência esta que é cotidiana para quase todos os estudantes, senão todos. Em compensação, alguns estudantes-jogadores que não possuíam uma convicção clara, que se sentiam mais inseguros a respeito de seu conhecimento físico, ao participarem do jogo, conseguiam reproduzir com muito mais precisão a experiência de estar dentro de um trem em movimento e acabavam chegando com mais facilidade à resposta “correta”. Parece, dessa forma, que frente a um conflito entre convicções racionais e a experiência sensível, algumas vezes, ao invés de a primeira servir como um filtro para a segunda, atribuindo-lhe seu verdadeiro sentido, ao contrário a (falsa) razão embota a percepção, distorcendo-a. É nesse sentido que acredito que o desenvolvimento da percepção sensível e da confiança em seus possíveis significados pode servir, tanto quanto o exercício de sua crítica racional, à construção do conhecimento físico.

Contribuições livres dos estudantes. Em que sentido essa longa e intensa experiência sensorial e reflexiva em torno à noção de referencial acarretou em uma apropriação diferenciada do tema? A única pista que temos a respeito associa-se às produções criativas dos alunos ao longo

Figura 4.46: Desenho feito por estudante e enviado como contribuição ao *blog*. Esta imagem dialoga com o jogo do quadro 17.

da disciplina que se relacionam com o tema. Com relação a este último jogo que comentamos, por exemplo, a imagem da figura 4.46 é interessante, especialmente por ter sido realizada por um dos estudantes que permaneceu, até o fim, mais firmemente convicto do arraste produzido pelo trem²¹. A simetria de seu desenho com relação à representação em que a pessoa está caminhando para “frente” e para “trás” demonstra a mudança de sua convicção, que evidentemente não se deve apenas ao jogo realizado, mas também à re-observação de sua própria experiência e à consulta de livros de física.

Já comentamos a respeito de outras contribuições que dialogaram criativa e poeticamente com o tema da relatividade do movimento, como, por exemplo, a da figura 3.9 na página 146 e o poema transcrito na página 147. Outros exemplos que gostaria de mencionar estão relacionados à foto da figura 4.47a. Enviada ao *blog* sob o título “*panning*” e sem comentários adicionais, a contribuição foi esclarecida pelo comentário de outra estudante:

“A leitura que eu faço desta imagem pauta-se primeiramente na observação e a sensação que esta passa, pois quase que instintivamente descrevemos esta imagem como sendo a de um carro que passa com uma certa velocidade em uma rua. No entanto, quando observamos de maneira mais detalhada, percebe-se uma inversão já que quando observamos algo em alta velocidade não enxergamos nitidamente o objeto que está se movendo e não a paisagem. Esta imagem é muito interessante e logicamente quando vemos alguma propaganda de algum carro, a imagem geralmente é apresentada como a imagem acima, já que o destaque maior é no carro e não no lugar em que se encontra o carro. Entretanto, se pararmos para analisar e descrever como que observamos as coisas que se movimentam rápido (com nossos olhos simplesmente), perceberemos

²¹Neste exercício específico, optei por, até o fim, não intervir na discussão, explicitando qual seria a resposta “correta”. Pareceu-me, neste caso, mais interessante deixar aos estudantes a responsabilidade de chegar às suas próprias conclusões.

(a)

(b)

(c)

Figura 4.47: Fotos tiradas por estudante, em que foi utilizada uma técnica de fotografia de nome *panning*, que consiste em movimentar a câmera para produzir uma imagem nítida de um objeto em movimento. O estudante utilizou essa técnica para reproduzir ora o referencial do carro, ora o da paisagem ao fundo.

Figura 4.48: Montagem elaborada por estudante, visando construir o referencial de um carro e o referencial da paisagem de fundo a respeito do movimento.

que observamos exatamente o inverso do apresentado acima”.
(Comentário de estudante, publicado no *blog* da disciplina).

Após os comentários realizados, outro estudante enviou as figuras 4.47b e 4.47c, realizadas em conjunto com o autor da primeira contribuição (que é fotógrafo), com o título “O que a relatividade de Galileu explica em relação as imagens?”. Na figura 4.47b, a câmera foi mantida fixa, pretendendo reproduzir o referencial da régua e do cenário que é colocado como pano de fundo e que inclui um carrinho no canto esquerdo da imagem, em repouso neste referencial. Nesta imagem, um segundo carrinho, se movimentando em frente à régua, ficou tão borrado que só se enxerga um borrão. Já na imagem 4.47c, a câmera procurou acompanhar o movimento deste carrinho, que ficou, por isso, nítido, enquanto o cenário tornou-se borrado, incluindo o carrinho do canto que, neste novo referencial, está em movimento. O fato de esses estudantes terem conseguido construir, através de duas fotografias, uma reflexão bastante precisa a respeito de noção abstrata de referencial e de terem, depois, se proposto a desenvolver um plano de aula a respeito do tema a partir da análise das fotos por eles produzidas demonstra, do meu ponto de vista, um nível de apropriação do tema – e de relação criativa com ele – bastante interessante.

Já a autora do comentário citado acima – cuja capacidade de leitura e interpretação da foto merece também destaque – realizou a montagem da figura 4.48, publicada com o título “Quem está em movimento?”, em que constrói, a partir de fotografias comuns extraídas da internet, a situação de um carro em movimento com relação a uma paisagem de fundo, ora no referencial do carro, ora no referencial da paisagem. Mais uma vez, chama-me especialmente a atenção a capacidade da estudante de estabelecer, sem perder a precisão envolvida na discussão, um relacionamento criativo, sensível com o tema, capacidade frequentemente pouco desenvolvida e até mesmo um tanto reprimida em nosso meio.

Debate sobre o movimento ou repouso da Terra. A organização de um debate em que grupos oponentes defendessem respectivamente um modelo em que a Terra se move e um modelo em que ela permanece em repouso visava relacionar o tema da relatividade do movimento ao contexto histórico associado à revolução Copernicana, criando assim, talvez, condições para um aprofundamento da compreensão a respeito do trabalho de Galileu.

Diferentemente do debate realizado a propósito do formato da Terra, neste caso, são colocados em conflito dois “sistemas de mundo”, de forma que a preparação inicial da argumentação mostra-se essencial para evitar que se constitua apenas uma caricatura de debate, em que os jogadores não conseguem encontrar um mínimo de fundamentação que possa dar substância à convicção que devem defender²². É nesse sentido que o conhecimento de pelo menos alguns elementos da história da ciência revela sua importância, ao permitir o aprofundamento da reflexão e da fundamentação de nossas convicções. Essas observações não se referem apenas aos defensores de uma Terra imóvel, por terem de defender uma tese “ultrapassada”. A experiência com estes debates mostrou que também – e talvez até principalmente – os defensores de mobilidade da Terra, se não tiverem um mínimo de conhecimento histórico, conseguem ir muito pouco além da repetição – cada vez menos convicta – das teses que devem defender. Dessa forma, turmas que, por um ou outro motivo, tiveram, em disciplinas anteriores, um maior aprofundamento a propósito da história associada aos modelos de universo e à revolução Copernicana puderam constituir debates mais ricos do que turmas que não realizaram este estudo com tanto detalhe.

Nesse sentido, na proposição de debate descrita no quadro 18, acreditei ser importante reservar aos grupos um tempo de uma ou duas semanas para a preparação prévia de sua argumentação. Para dar maior ênfase à *escuta* da argumentação dos outros jogadores, em um momento da disciplina em que o recurso a exercícios tais como o do quadro 10 já havia instaurado no grupo em maior medida um ambiente de atenção e de comunicação tácita, propus regras que condicionassem o exercício da fala ao exercício da escuta. Dessa forma, não se estabelecia nenhum tipo de ordem a propósito de quem deveria falar, mas, simplesmente, quem quisesse falar deveria levantar e falar. Se, entretanto, duas pessoas levantassem ao mesmo tempo, ambas deveriam voltar a sentar e silenciar, de forma que, a partir daí, sem qualquer combinado explícito, o jogo continuava, com qualquer jogador podendo tomar a fala. Os maiores intervalos de silêncio que essa dinâmica produzia deu ao debate uma tônica mais reflexiva e permitiu que mesmo pessoas normalmente mais introvertidas participassem ativamente do jogo.

Com cerca de 1h30 de duração, o debate sobre a mobilidade ou repouso da Terra²³ trans-

²²Também no debate a propósito do formato da Terra, essa fundamentação prévia era importante. Aqui, entretanto, ela é essencial.

²³Descrevo aqui a dinâmica que se estabeleceu com uma turma específica, no segundo semestre de 2011.

Quadro 18 Proposta de jogo: debate - movimento da Terra

- objetivos:** desenvolver a percepção a respeito dos fundamentos de nossas convicções; exercitar a escuta de argumentos lógicos e a elaboração, em tempo presente, de contra-argumentos; estabelecer vínculos entre a representação abstrata do espaço astronômico e a percepção concreta do espaço vivencial; relacionar o tema da relatividade do movimento ao contexto histórico associado à revolução Copernicana.
- orientação:** os jogadores dividem-se em três grupos (defensores do movimento da Terra, defensores de uma Terra estática e jurados) e preparam, durante uma ou duas semanas, uma argumentação inicial. Durante o debate, as regras são as seguintes: (i) não há separação espacial dos diversos grupos, de maneira que seus membros ficam misturados uns com os outros; (ii) não deve haver nenhuma ordem estabelecendo quem deve falar em cada momento; (iii) quem desejar se pronunciar deve levantar-se e falar; (iv) se, em qualquer momento, duas ou mais pessoas falam ao mesmo tempo, todos devem silenciar por alguns segundos e, sem combinar, esperar até que alguém comece a falar. Ao final do debate, os jurados, que a todo tempo puderam formular questionamentos, dão o seu parecer, definindo a tese vencedora.
- foco:** na convicção associada ao grupo a que pertence (na crença no movimento da Terra, ou em sua imobilidade ou na ausência de posicionamento prévio, mantendo-se em um estado de indecisão); na escuta dos demais grupos e no desenvolvimento de contra-argumentos.
- avaliação:** Em que medida os grupos conseguiram permanecer convictos na posição que deveriam defender ou, no caso dos jurados, conseguiram se manter sem um posicionamento prévio?
-

formou-se rapidamente em um debate em defesa dos sistemas heliocêntrico e geocêntrico. A crítica ao sistema geocêntrico e defesa do heliocêntrico fundamentou-se principalmente nos seguintes aspectos:

- apresentação da questão do movimento retrógrado dos planetas e de sua explicação no modelo heliocêntrico;
- crítica ao modelo de epiciclos, por considerá-lo artificial;
- apresentação de um modelo explicativo para as estações do ano segundo o sistema heliocêntrico;
- acusação, aos defensores do sistema geocêntrico, de não possuírem uma explicação satisfatória para as estações do ano;
- alusão à força centrípeta / força centrífuga, invocando-a para argumentar que a trajetória dos planetas não é circular, mas elíptica;
- defesa da relatividade do movimento para explicar porque não sentimos a movimentação da Terra;
- argumentação de que o movimento da Terra não causa ventos porque a atmosfera está “presa” à Terra (afinal, não há atmosfera no espaço);

Já a crítica ao sistema heliocêntrico e defesa do geocêntrico fundamentou-se principalmente no seguinte:

- apresentação do modelo de epiciclos para explicar o movimento retrógrado dos planetas;
- contestação à acusação de artificialidade do modelo de epiciclos, identificando na maneira como o modelo heliocêntrico descreve o movimento da Lua imagem completamente análoga ao modelo de epiciclos;
- aceitação da premissa de relatividade do movimento, utilizando-a para a defesa do modelo geocêntrico;
- caráter mais simples, intuitivo e em acordo com as observações do modelo geocêntrico;
- identificação, no modelo heliocêntrico, de uma complexidade desnecessária que serve apenas para justificar algo que as experiências mais simples desmentem.

Neste caso, os dois grupos assumiram plenamente o papel que lhes cabia, mantendo presente o foco associado à convicção no modelo que lhes cabia defender. Consequentemente, o caráter retórico do debate tornou-se bastante presente. De maneira geral, os defensores do modelo geocêntrico mostraram inclusive mais convicção em sua argumentação do que os defensores do modelo heliocêntrico. A referência ao caráter relativo do movimento, inicialmente proposta em defesa do sistema heliocêntrico, acabou sendo, inclusive, melhor utilizada em defesa do sistema geocêntrico; afinal, se o movimento é relativo, por que não adotar um sistema que é muito mais intuitivo? A grande dificuldade que os defensores da Terra estática enfrentaram estava ligada a não terem sido capazes de apresentar um modelo coerente para as estações do ano de acordo com o sistema geocêntrico²⁴. Apesar disso, os jurados, que participaram de todo o debate formulando perguntas aos dois grupos e mantiveram também bastante presente o seu foco, associado a um estado de dúvida e incerteza com relação ao problema proposto, procurando manter sua “imparcialidade”, ao final, declararam voto, em sua maioria, em favor do sistema geocêntrico.

4.9 Corpo e espaço / Matéria e energia

Podemos afirmar que a imagem de um espaço absoluto, tridimensional e infinito ocupado por corpos inertes é a que tornou-se hegemônica a partir do estabelecimento da mecânica Newtoniana. Mesmo a associação, proposta por Newton, entre este espaço absoluto e o *Sensório de Deus*, relacionando assim, de alguma forma, a dualidade matéria – espaço à dualidade corpo – espírito, foi recebida com entusiasmo no início do século XVIII, segundo Jammer, “por harmonizar-se muito bem com a visão geral da época”:

“Na Inglaterra, em particular, a inclusão de ideias religiosas no sistema newtoniano de física foi acolhida como uma extraordinária realização na filosofia natural. Esperava-se que ao se analisarem os conceitos fundamentais da ciência seria possível trazer à luz um material novo e valioso para comprovar a existência de Deus” (JAMMER, 2010, p. 170).

Não é o caso de procurar traçar a história de como essa noção de espaço absoluto foi sendo submetida progressivamente à crítica, até tornar-se, para alguns, numa especulação metafísica aberrante do ponto de vista epistemológico ou, para outros, em uma ficção muito pouco útil, uma vez que qualquer aplicação científica da física Newtoniana só pode fazer uso, evidente-

²⁴O apontamento dessa dificuldade refere-se aos jogadores que participaram do debate e não, evidentemente, aos defensores “históricos” do modelo. Por isso, após esse debate, dedicamos uma aula à compreensão da maneira como os dois modelos explicavam uma série de fenômenos, e em especial as estações do ano. Como tanto as explicações oferecidas pelo sistema geocêntrico como as oferecidas pelo modelo heliocêntrico são frequentemente mal-compreendidas, criou-se dessa forma uma oportunidade para problematizá-las.

mente, de medidas de espaço relativas. Mais ou menos fictício, mais ou menos necessário, é certo porém que o espaço absoluto Newtoniano perdeu rapidamente suas conotações divinas ou espirituais, assim como qualquer possibilidade de intervenção direta no mundo natural dos corpos: na concepção mecanicista moderna não era concebível que o Universo – relógio (na metáfora proposta por Leibniz em crítica a Newton) precisasse ou pudesse ser consertado por seu relojoeiro.

Gostaria de contrapor essa imagem mecanicista a outras imagens científicas presentes no final do século XIX e início do XX, no contexto da proposição da teoria da relatividade. O historiador da ciência Helge Kragh (1999) procura desmistificar a crença de que o ambiente científico desta época era de adesão firme e complacente à visão de mundo mecanicista newtoniana (“não confundir com as ideias do próprio Newton”) e de suposição de que todas as coisas que merecem ser conhecidas ou já tinham sido descobertas ou o seriam em breve através do mesmo caminho já traçado pela física existente. Ao contrário, correntes científicas associadas, entre outras, a visões de mundo “energeticistas” e “eletromagneticistas” acreditavam que a física não mais deveria se fundamentar em termos de matéria (constituída por átomos) e forças e propunham, ao invés disso, fundamentá-la a partir, no primeiro caso, de princípios termodinâmicos e da noção de energia e, no segundo caso, em termos do campo eletromagnético e de sua propagação no éter. Como enfatiza o autor, esses distintos movimentos científicos deviam sua origem não apenas a debates intra-científicos, como também relativos ao contexto cultural mais amplo, o que justifica associar essas proposições científicas a visões de mundo:

“A tendência da física teórica por volta de 1900 era mais do que um deslocamento de ideias fundamentais, da mecânica à termo / eletro-dinâmica, e era mais do que o resultado de certo número de descobertas espetaculares. Ela era parte de uma mudança de visões de mundo que tinha ramificações fora da física e era nutrida pelo particular *Zeitgeist* do período, um espírito da época algumas vezes caracterizado como neo-romântico. O historiador Russel McCormach acertadamente sintetizou a situação da seguinte forma: ‘Toda a configuração cultural da virada do século estava implicada na mudança do pensamento mecânico para o eletromagnético. Os conceitos imateriais eletromagnéticos eram atrativos na mesma medida que o imaginário inerte, material da mecânica era desagradável’. Um elemento importante dessa configuração cultural era o generalizado anti-materialismo. Com diferentes formas em diferentes nações científicas, a doutrina anti-materialista remontava a convicção de que ‘a matéria é morta’” (KRAGH, 1999, p. 10).

Nesse sentido, para tratar desse contexto cultural mais amplo, torna-se relevante abordar, em diálogo, produções científicas, artísticas e especulativas desse mesmo momento histórico-cultural. É evidente que qualquer momento histórico associa-se a múltiplas e opostas visões de mundo e não há, neste trabalho, qualquer possibilidade ou pretensão de dar conta de um momento cultural tão complexo. Essa ressalva, entretanto, não me impede de procurar observar, na

medida de minhas possibilidades, as repercussões que é possível encontrar entre essas diversas produções. Não se trata – é sempre bom repetir – de procurar determinar influências exatas de lado a lado, mas de procurar visualizar sentidos expressivos, valores, sentimentos com relação ao mundo que, de alguma forma, fizeram parte dos desenvolvimentos científicos em questão.

Entre as “descobertas espetaculares” aludidas na citação acima, certamente comparecem, do ponto de vista experimental, a descoberta do raio X e da radioatividade, descobertas que tiveram grande influência não apenas sobre uma comunidade científica mais ou menos restrita, mas também sobre um público muito mais amplo. A este propósito, Kragh faz referência ao psicólogo francês e “físico amador” (amigo de Henri Poincaré) Gustave LeBon, personagem que fez grande sucesso com seu livro *“A evolução da matéria”*. O livro teve doze edições, vendeu 44 mil cópias e influenciou, segundo a historiadora da arte Linda Henderson (1988, 1998), uma ampla gama de artistas, entre eles Marcel Duchamp e os pintores cubistas²⁵. Neste livro, de 1905, LeBon afirma, a partir das evidências fornecidas pela descoberta da radioatividade, que toda matéria é instável, emitindo constantemente radiação e desmaterializando-se nessa forma “etérea”, de maneira que o éter representa, segundo ele, “o nirvana final para o qual todas as coisas retornam depois de uma existência mais ou menos efêmera” (LEBON, apud KRAGH, 1999, p. 11). É digno de nota que LeBon chega a afirmar que a fonte de energia solar seria essa “dissociação atômica”, capaz de fornecer, dada a enorme energia guardada na matéria, a energia necessária para a radiação solar.

Essa perspectiva desmaterializadora, pela qual se dá, através da radioatividade, uma espécie de dissolução da matéria no éter, acompanhada da perspectiva inversa, oferecida pelas imagens obtidas com o uso de raio X, de penetração na matéria, tornada transparente, eram bastante propícias à compreensão de uma realidade – material e imaterial – em fluxo permanente, da qual o olho humano só consegue captar uma fração muito superficial e grosseira. A possibilidade de capturar a dimensão “não-perceptível” do mundo, como demonstra Henderson (1988), alimentou diversas escolas de artistas no período anterior à primeira guerra. Como proclamou, em 1910, o “Manifesto Técnico da Pintura Futurista”:

“Quem pode ainda acreditar na opacidade dos corpos, desde que a nossa aguçada e multiplicada sensibilidade já penetrou nas obscuras manifestações do meio? Por que devemos esquecer, em nossas criações, do duplicado poder de nossa visão, capaz de dar resultados análogos aos dos raios-X?” (BOCCIONI et al., apud HENDERSON, 1988).

²⁵Como curiosidade, registro que encontrei, por acidente, inclusive uma resenha crítica brasileira deste livro em um artigo de 1907, publicada no periódico *“Floreal: Publicação bi-mensal de crítica e literatura”*, dirigido por Lima Barreto. O autor da crítica conclui afirmando que as hipóteses de LeBon seriam “todas ellas condemnadas por Comte”, mas que “a crença, mesmo como a tem o Dr. Le Bon, n’essas hypotheses pôde ser um estímulo forte para observar e compor experiências. O Dr. LeBon o sente. E não será essa crença errada, mais fecunda, a esse respeito, do que a feição positivista?” (ALMEIDA, 1907, p. 13).

Evidentemente, as imagens propiciadas por essas descobertas científicas ofereceram a grupos vinculados a uma ou outra forma de “ocultismo” uma “fundamentação” científica. Se essas especulações espiritualistas tendem a afastar-se e a distorcer abordagens propriamente científicas dos temas a que rementem, por outro lado, elas encontram também fontes de apoio em personalidades do próprio meio científico. Por exemplo, o físico William Crookes, cientista interessado no espiritualismo e na “pesquisa psíquica”, escreveu, em 1897, uma comunicação dirigida à *Society for Physical Research* intitulada “A relatividade do conhecimento humano” (HENDERSON, 1998, p. 6). Nela, procura demonstrar como o tamanho de um observador altera a sua percepção dos eventos e dispõe uma tabela de vibrações, que foi bastante reproduzida em meios não-científicos, relacionando desde frequências associadas às ondas sonoras até aos raios X, com vários intervalos associados a vibrações desconhecidas e sugerindo, então, que os diferentes graus de vibração poderiam oferecer a chave para a compreensão da telepatia.

Segundo Henderson, é através do artista tcheco František Kupka que Marcel Duchamp se interessa pelos temas do raio-X e da radioatividade e por suas repercussões espiritualistas. Nas figuras 4.50, vemos três quadros de Marcel Duchamp em que é possível notar, entre outros elementos: a dissolução dos corpos no espaço ao redor; uma forma de emanção proveniente do “Dr. Dumouchel” (figura 4.50a); corpos transparentes e em sobreposição; e uma referência mais explícita a fotos tiradas através do uso de raio-X pela forma como se dão as diversas representações de nariz da figura 4.50c. Acompanhemos como Henderson interpreta as representações de nariz dessa figura, da esquerda para direita²⁶:

Figura 4.49

“o nariz de Yvonne à esquerda (com sua carne modelada pelas sombras da luz visível) se opõe ao escuro ‘nariz de raio-x’ de Magdeleine, uma sombra produzida por raio-x que, ironicamente, está ligada à face mais detalhadamente modelada das quatro representadas. No perfil seguinte, o rosto de Yvonne funde os dois tipos de sombras: um nariz modelado flutua na frente do perfil, sobreposto a um nariz escuro, de raio-x. Finalmente, o perfil à direita apresenta uma silhueta (isto é, uma sombra produzida através da luz visível) que troca o escuro pelo claro” (HENDERSON, 1988, p. 330).

$E=mc^2$. Pensar que a relação $E = mc^2$ surgiu em um contexto científico em que visões de mundo “eletromagneticistas” pretendiam fundamentar a descrição física não mais em termos da matéria inerte, mas em termos de campos que se propagam no éter, parece ser muito mais

²⁶O maior destaque dado ao nariz em referência ao raio-X parece associar-se ao fato de que, sendo formado por cartilagem, ele é bastante transparente ao raio-X, de forma que radiografias da cabeça apresentam figuras mais ou menos “sem nariz”, com uma “ausência triangular”. Podemos notar isso na figura 4.49, foto de 1898 (HENDERSON, 1988, p. 330).

(a) Retrato do dr. Dumouchel. Marcel Duchamp, 1910.

(b) Sonata. Marcel Duchamp, 1911.

(c) Yvonne e Magdeleine. Marcel Duchamp, 1911.

Figura 4.50

significativo – e fiel à história associada à construção dessa expressão – do que supô-la como uma criação isolada do gênio de Einstein e como uma consequência “inesperada” de hipóteses associadas à rejeição da existência do éter. Afinal, as proposições de equivalência entre massa e energia surgiram inicialmente de desenvolvimentos que atribuíam ao éter – e ao campo que nele se propaga – papel fundamental.

Segundo Roberto Martins (1989, p. 63), já em 1900, Poincaré, para garantir a conservação do momento linear em interações eletromagnéticas, atribuiu um momento linear $p = E/c$ a toda radiação eletromagnética e sugeriu que toda energia eletromagnética estivesse associada a uma densidade de massa igual à densidade de energia dividida pela velocidade da luz ao quadrado: $\rho = \varepsilon/c^2$, afirmando assim a relação entre massa e energia, mas apenas em associação com a energia eletromagnética (quer dizer, sem supor que um corpo que irradiasse perderia massa).

Por outro lado, com relação à variação da massa de um corpo devido ao incremento de sua velocidade, a história de sua proposição remete à identificação de uma “massa eletromagnética” proveniente da interação de uma carga com o éter à sua volta. Em 1881, J. J. Thomson mostrou que, quando uma esfera carregada se move no éter, ela adquire uma massa “aparente”, cujo valor calculou em termos da magnitude da carga, do valor de seu raio e da velocidade da luz (KRAGH, 1999, p. 105-6). Em 1900, Wilhelm Wien – em um artigo intitulado “Sobre a possibilidade de uma fundamentação eletromagnética da mecânica” – defendeu o caráter “real” dessa “massa eletromagnética”, afirmou sua dependência com a velocidade da carga e também postulou a possibilidade de que toda massa fosse de origem eletromagnética, procurando assim fundamentar as leis da mecânica a partir das leis do eletromagnetismo. Obter a exata dependência da massa do elétron com a velocidade, entretanto, dependia do modelo específico de elétron proposto. Modelos de um elétron esférico rígido (por Max Abraham), de um elétron que se contrai na direção do movimento (por Lorentz) ou de um elétron que se contrai na direção do movimento mas expande na direção perpendicular, conservando seu volume (por Adolf Bucherer e Paul Langevin), implicavam, cada um, distintas expressões para a dependência de sua massa com a velocidade. Em particular, com seu modelo de uma carga que se contrai na direção do movimento, Lorentz, em 1904, chega à mesma expressão de Einstein: $m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ (KRAGH, 1999, p. 107).

A distinção entre a abordagem de Lorentz e a de Einstein refere-se, como sabemos, justamente ao papel fundamental que o primeiro atribuíu ao éter, referencial privilegiado com relação ao qual todos os movimentos poderiam ser definidos de forma absoluta – e à negação que o segundo estabelecia de qualquer referencial privilegiado, afirmando a completa equivalência entre todos os referenciais inerciais. Além disso, diferentemente de Lorentz, Einstein não estava preocupado com a constituição de um modelo para o elétron, mas generalizava suas conclusões a

qualquer corpo, uma vez que “um ponto material ponderável pode ser transformado em um elétron (no nosso sentido da palavra) acrescentando-se a este uma carga elétrica *arbitrariamente pequena*” (EINSTEIN, 2005a, p. 178). Dessa forma, onde Lorentz via uma contração física de um elétron devido à magnitude de sua velocidade com relação ao éter, Einstein via apenas o caráter relativo de medidas de comprimento de qualquer corpo com relação a sua velocidade, medida no referencial do observador.

Assim, a equivalência entre massa e energia foi, com Einstein, despojada justamente da entidade com a qual se pretendia fundamentar toda a física: o éter. Entretanto, nem por isso a dualidade entre matéria e radiação eletromagnética perdeu seu papel. Afinal, para estabelecer a equivalência entre massa e energia, Einstein demonstra, em primeiro lugar, a diminuição de massa de um corpo após a emissão de energia na forma de radiação eletromagnética para, depois, generalizar essa equivalência a qualquer troca de energia (ver quadro 1 na página 122). Da mesma forma, a maneira como Einstein imagina testar essa equivalência é justamente por meio de um processo radioativo, através de “corpos cujo conteúdo de energia seja muito variável (por exemplo, sais de rádio). Se a teoria estiver de acordo com os fatos, então, a radiação transporta inércia entre os corpos que a emitem e a absorvem” (EINSTEIN, 2005b, p. 186).

A esse propósito, é significativo que uma forma bastante frequente com que, em contextos de ensino, se pretende demonstrar a relação $E = mc^2$ – sem qualquer referência à emissão de radiação, em um contexto puramente mecânico, através do cálculo do trabalho realizado para acelerar um corpo e de sua equivalência com a energia cinética do corpo – não foi considerada, por Einstein, uma demonstração dessa relação. Afinal, Einstein deduz essa expressão para a energia cinética em seu primeiro artigo, mas nem por isso pretende ter demonstrado a equivalência entre massa e energia. É apenas em seu segundo artigo, considerando um processo de emissão de radiação que ocorre *sem mudança de velocidade*, que ele pensa ter demonstrado a equivalência entre massa e energia. Afinal, é apenas nessa situação que há realmente uma variação da *massa de repouso* de um corpo. Pretender abordar a relação $E = mc^2$, dessa forma, em um contexto puramente mecânico, através de uma visão de mundo exclusivamente mecanicista, parece envolver uma excessiva distorção do significado histórico-cultural dessa expressão.

4.10 Espaços curvos e com mais de três dimensões

Assim como supor que a reflexão a respeito da equivalência entre massa e energia surge repentinamente a partir de Einstein, sem um contexto científico-cultural que lhe dê origem, parece uma distorção, da mesma forma, supor que a consideração de espaços curvos e de espaços a mais de três dimensões só tenha surgido, nas reflexões teóricas da física, a partir da proposição

da relatividade geral parece também uma “reconstrução racional” que tende a ocultar aspectos mais imaginativos do pensamento científico. Roberto Martins (1995) mostrou que a linguagem matemática em que a relatividade geral iria se estruturar já havia sido desenvolvida no século XIX e que, inclusive, diversas aplicações dessa linguagem na física que se tornariam relevantes no século XX já haviam sido propostas no século XIX, envolvendo seja a noção de espaços a mais de três dimensões, seja a utilização das geometrias não euclidianas em uma abordagem geométrica clássica, seja a sua utilização também em uma abordagem geométrica diferencial. Além disso, como demonstra Linda Henderson (1983), essas “descobertas” matemáticas não ficaram restritas ao mundo acadêmico especializado, mas atingiram um público letrado mais amplo, influenciando, em particular, uma série de artistas.

4.10.1 O espaço e sua relação com os sentidos.

Dentre os cientistas mais próximos à elaboração da teoria da relatividade, Henri Poincaré notabiliza-se tanto pela incrível proximidade que esteve da elaboração completa dessa teoria²⁷, como pela profundidade filosófica com que abordou as noções de espaço (e tempo), como também pela influência que teve, com seus livros, sobre um público bem mais amplo. Suas concepções convencionalistas de espaço se colocaram como uma alternativa entre aqueles que acreditavam no caráter a priori do espaço geométrico euclidiano e tridimensional e aqueles que defendiam que a verdadeira natureza do espaço estava sujeita ao teste experimental.

A imagem, tão clara e distinta, de um espaço geométrico configurado por três retas mutuamente perpendiculares, através das quais é possível definir qualquer ponto por uma tríade de números reais, proporciona-nos uma certa “visualização” do espaço. Esta visualização parece realmente corresponder ao espaço que observamos e em que vivemos, no qual podemos posicionar três bastões mutuamente perpendiculares e encontrar as coordenadas de qualquer objeto neste *sistema de coordenadas*. O espaço geométrico e o “espaço real” parecem ser idênticos um ao outro. Kant, em uma proposição que será referência para as reflexões posteriores a respeito da relação do espaço geométrico com o mundo da experiência, compreende o espaço geomé-

²⁷Kragh (1999, p. 89-90) mostra como, antes de 1905, Poincaré já havia proposto tanto o princípio da constância da velocidade da luz como um novo fundamento para a definição de simultaneidade, quanto o princípio de relatividade segundo o qual as leis da física devem ser as mesmas para observadores “fixos” e para observadores em movimento uniforme. No verão de 1905, Poincaré vai além e demonstra a lei para adição de velocidades relativísticas, a fórmula de transformação para a densidade de carga elétrica e a invariância do intervalo espaço-temporal $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$ para qualquer referencial. É difícil realmente compreender que aspecto da teoria da relatividade não havia ainda sido proposto por Poincaré, a ponto de Giannetto (2009) defender a prioridade de Poincaré na proposição dessa teoria. Não entro no mérito dessa polêmica, uma vez que não tive oportunidade de aprofundar os argumentos envolvidos. Entretanto, apenas a “proximidade” de Poincaré dessa proposição justifica, em uma abordagem dessa teoria, observar com mais cuidado suas concepções de espaço e tempo e as repercussões que tiveram no contexto cultural da época.

trico – euclidiano e tridimensional – não como uma verdade proveniente da experiência, mas como a condição da própria experiência. O espaço é a própria condição para a existência de qualquer percepção externa, uma entidade cuja inexistência nós sequer podemos imaginar. Por ser anterior a qualquer percepção, as leis que governam as relações espaciais, sintetizadas nos 5 axiomas da geometria euclidiana, assim como na afirmação de sua tridimensionalidade, são verdades anteriores a qualquer experiência, “*intuições sintéticas a priori*”. Se não fosse esse o caso, argumenta ele em sua obra *Crítica da Razão Pura*:

“Se essa representação do espaço fosse um conceito adquirido *a posteriori* e derivado da experiência exterior em geral, os primeiros princípios da determinação matemática não seriam nada mais que percepções. Eles compartilhariam portanto o caráter contingente da percepção; que só há uma reta entre dois pontos não seria necessário, mas apenas o que a experiência sempre ensinou. O que é derivado da experiência tem apenas universalidade comparativa, a saber, aquela que se obtém através da indução. Nós poderíamos portanto apenas dizer que, até onde foi observado, nenhum espaço foi encontrado com mais que três dimensões” (KANT, apud HENDERSON, 1983).

A descoberta da possibilidade lógica de geometrias não-euclidianas colocou, de certa forma, em xeque a posição Kantiana. A origem dessas geometrias deve ser remetida aos esforços de demonstrar o quinto postulado de Euclides a partir dos outros quatro. Este postulado pode ser parafraseado da seguinte forma: “dados uma reta e um ponto externo a ela, só é possível traçar, por este ponto, uma paralela a esta reta”. Por ser um tanto menos evidente que os demais e porque os primeiros 28 teoremas dos Elementos de Euclides prescindiam de sua utilização, a possibilidade de deduzi-lo a partir dos demais despertou o interesse de matemáticos desde a Antiguidade. A impossibilidade, entretanto, de demonstrá-lo e, ao contrário, a possibilidade de constituir geometrias tão consistentes quanto a Euclidiana através de modificações deste postulado já estava completamente clara no fim da primeira metade do século XIX (JAMMER, 2010, p. 188). Dessa forma, a possibilidade lógica de uma geometria elíptica, em que inexistissem paralelas e em que fosse possível ter infinitas retas passando por dois pontos, ou de uma geometria hiperbólica, em que houvesse infinitas paralelas a uma reta dada que passam por um mesmo ponto externo a ela, confrontavam a prioridade da geometria plana euclidiana com relação à experiência empírica.

É neste contexto que, já em 1817, Gauss escrevia uma carta na qual declarava sua convicção a respeito da natureza empírica da geometria, pelo menos em seu tempo, assim como de sua possível evolução rumo a novas concepções do que seja a espacialidade:

“Estou cada vez mais convencido de que a necessidade da nossa geometria não pode ser demonstrada, pelo menos não pelo nem para o intelecto humano. No futuro, quem sabe, talvez tenhamos outras ideias, hoje inacessíveis, sobre a

natureza do espaço. Assim, a geometria deve alinhar-se não com a aritmética, que é de natureza puramente *a priori*, mas com a mecânica” (GAUSS, apud JAMMER, 2010, p. 190).

Em contraposição mais explícita à convicção kantiana na natureza *a priori* dos axiomas da geometria, Helmholtz, associando-se à filosofia de tradição empirista e positivista, em um artigo de 1876 voltado à divulgação da geometria não-euclidiana a um público não especializado, defende a origem empírica, não transcendental, da geometria e descreve como se dá a gênese dos axiomas que definem a geometria a partir da experiência, por um processo “intuitivo” de organização da experiência empírica:

“Para isso, nenhum conhecimento da conexão lógica necessária entre os fatos observados e os axiomas era necessário, mas apenas uma apreensão intuitiva das relações típicas entre linhas, planos, ângulos, etc, obtidas por numerosas e atentas observações – uma intuição do tipo que o artista possui dos objetos que vai representar, e através da qual ele decide segura e acuradamente se uma nova combinação que experimenta corresponderá ou não à sua natureza. É verdade que não temos outra palavra senão intuição para tratar disso; mas trata-se de conhecimento adquirido de forma empírica, através da agregação e reforço de impressões similares recorrentes na memória e não uma forma transcendental dada anteriormente à experiência” (HELMHOLTZ, 1876, p. 321).

Nessa forma de indução “intuitiva” a partir da experiência empírica, como não observamos diretamente o espaço mas apenas os corpos que nele se movimentam, frente à possibilidade de múltiplas geometrias, Helmholtz conclui que há duas opções: (i) ou bem elas são completamente arbitrárias, ou então, (ii) desde que nos fundamentemos em princípios que descrevem o comportamento mecânico dos corpos – tais como o princípio da inércia por exemplo – elas podem sim ser testadas pela experiência, assim como inferidas a partir dela.

Em consonância com a segunda opção levantada por Helmholtz, foram empreendidas tentativas, no século XIX, de experimentos que permitissem concluir qual seria a verdadeira geometria, adequada ao espaço em que vivemos. A medida da soma dos ângulos de um grande triângulo era um bom critério de diferenciação entre as geometrias (figura 4.51). Gauss tentou realizar uma medida dos ângulos de um “grande” triângulo formado por três montanhas: Brocken, Hoher Hagen e Inselberg, distantes entre si 69km, 85km e 107km. Não obteve, entretanto, um valor diferente de 180° . Lobachevski procurou medir os ângulos de um triângulo ainda maior, envolvendo distâncias astronômicas associadas à distância Terra-Sol e Terra-Sirius e também não foi capaz de chegar a qualquer resultado (JAMMER, 2010, p. 190,3). As novas geometrias por eles descobertas não pareciam, a princípio, ter qualquer utilidade prática, mas podiam, pelo menos, como escreveu Lobachevski, ser objeto de nossa imaginação:

“Como quer que seja, a nova geometria, cujos fundamentos são fornecidos neste trabalho, embora não tenha aplicação na natureza, pode ser objeto de

nossa imaginação; mesmo não sendo usada em medições reais, abre novas possibilidades para a aplicação da geometria à análise e vice-versa” (LOBACHEVSKI, apud JAMMER, 2010, p. 193).

Dessa forma, os fracassos nas tentativas de medir uma curvatura diferente de zero para o espaço só podiam dar mais suporte aos que defendiam, em consonância com o pensamento de Kant, que a geometria euclidiana era diferenciada das demais, sendo a única geometria “natural”, em contraposição às geometrias não-euclidianas, que não eram “intuitivas” (HENDERSON, 1983, p. 14).

Figura 4.51

Poincaré, como afirmamos há pouco, com sua filosofia convencionalista, construiu uma proposta distinta tanto da abordagem empirista como da apriorística para a compreensão da relação entre a natureza do espaço e a experiência. Reconhecendo a importância da experiência na gênese de uma certa concepção de espaço, ele, entretanto, discute, em uma problematização bastante minuciosa, se seria possível que a experiência levasse, sozinha e de forma unívoca, a uma determinada representação de espaço,

concluindo que os “dados” da experiência nem de perto determinam, de forma necessária, uma geometria específica. Vejamos sua argumentação com um pouco mais de detalhe.

Poincaré distingue dois tipos de espaço: o representativo e o geométrico. O espaço representativo, proveniente de nossas sensações, divide-se nos espaços visual, tátil e motor, e não é nem isotrópico, nem homogêneo e nem sequer podemos afirmar que ele possui três dimensões (POINCARÉ, 1905, p. 56). Quando afirmamos que um objeto se localiza em um determinado ponto do espaço geométrico, portanto, realizamos uma espécie de projeção similar à que um pintor faz ao pintar uma paisagem tridimensional em uma tela bidimensional e que envolve sempre algum tipo de deformação:

“É também tão impossível para nós representar-nos objetos externos no espaço geométrico como é impossível para um pintor pintar em uma superfície plana objetos com suas três dimensões. O espaço representativo é apenas uma imagem do espaço geométrico, uma imagem deformada por um tipo de perspectiva, e nós só podemos representar-nos objetos fazendo-os obedecer às leis dessa perspectiva. Portanto, nós não representamo-nos os corpos externos no espaço geométrico, mas nós *raciocinamos* a respeito desses corpos como se eles estivessem situados no espaço geométrico” (POINCARÉ, 1905, p. 57).

O *espaço motor*, formado pelas sensações musculares, é particularmente relevante, segundo Poincaré, para a constituição da noção de espaço, uma vez que é ele que nos permite distinguir, da totalidade de nossas percepções, mudanças internas de mudanças externas e, a partir daí,

mudanças de estado de mudanças de posição. Distinguimos as mudanças internas das externas porque as internas são voluntárias e vêm acompanhadas de sensações musculares, enquanto as externas não dependem da nossa vontade nem se relacionam a quaisquer sensações musculares. A partir dessa primeira distinção, diferenciamos mudanças externas de posição de mudanças externas de estado porque, frente a mudanças de posição, podemos, frequentemente, mas não sempre, nos deslocar com nosso corpo, “compensando” o movimento externo, até voltar a ter aproximadamente a mesma sensação inicial. Já para mudanças de estado, isso não é possível. Portanto, para um ser imóvel não haveria espaço:

“Para um ser completamente imóvel, não haveria nem espaço, nem geometria: os objetos exteriores se deslocariam à sua volta em vão, e as variações que suas impressões sofreriam com esses deslocamentos não seriam atribuídas por esse ser a mudanças de posição, mas a simples mudanças de estado: esse ser não teria qualquer meio de distinguir esses dois tipos de mudanças, e essa distinção, para nós capital, não teria qualquer sentido para ele” (POINCARÉ, 1995, p. 54).

É interessante que esse espaço motor, por ser constituído pelas sensações musculares, tem, para Poincaré, em princípio, tantas dimensões quantos são os músculos:

“Cada músculo dá origem a uma sensação espacial capaz de aumentar ou diminuir, de forma que a totalidade de nossas sensações musculares dependerá de tantas variáveis quantos são os músculos. Deste ponto de vista, o espaço motor teria tantas dimensões quantos são os nossos músculos” (POINCARÉ, 1905, p. 55).

Constituir, portanto, a partir desse espaço representativo, um espaço geométrico homogêneo, isotrópico, infinito e tridimensional envolve uma série extremamente complexa de operações, para a realização das quais algumas experiências são fundamentais. Por exemplo, a existência de corpos sólidos aproximadamente não deformáveis é fundamental, uma vez que é só através deles que podemos, após uma “mudança de posição do corpo”, restituir, com nosso corpo, a mesma “posição relativa” original, reconstituindo assim o agregado de experiências anterior ao movimento. Com corpos que se deformassem muito, isso não seria possível e não conseguiríamos coordenar a operação reversível necessária à “compreensão geométrica” de seu deslocamento. Portanto, “se não existissem corpos sólidos na natureza, não existiria geometria” (POINCARÉ, 1905, p. 61).

Poincaré vai, assim, mostrando experiências que sugerem, sem nunca coagir, a constituição de um espaço geométrico euclidiano e tridimensional. A seguir ele propõe a imaginação de outros mundos que poderiam sugerir, também sem nunca coagir, a constituição de espaços geométricos não-euclidianos. A possibilidade de visualizar espaços geométricos quadridimensionais também é considerada por ele como perfeitamente possível: da mesma forma como

observamos, com nossa retina, projeções bidimensionais de objetos tridimensionais e, ao nos movermos envolta deles (percebendo esse movimento através de nossas sensações musculares) e observarmos a variação dessas projeções, construímos, aos poucos, a forma do objeto no espaço geométrico tridimensional, da mesma forma poderíamos observar a projeção de objetos quadridimensionais em nossa retina bidimensional:

“Imagine que as diferentes perspectivas de um objeto ocorrem em sucessão, e que a transição de uma a outra é acompanhada por sensações musculares. Compreende-se que podemos considerar duas dessas transições como duas operações da mesma natureza quando elas são associadas às mesmas sensações musculares. Não há nada, então, que nos impeça de imaginar que essas operações sejam combinadas de acordo com uma regra que escolhamos – por exemplo, formando um grupo com a mesma estrutura do grupo associado aos movimentos de um sólido quadridimensional. Nisso não há nada que não possamos representar para nós mesmos e, além do mais, essas sensações são aquelas que um ser com uma retina bidimensional experimental ao se deslocar em um espaço quadridimensional. Nesse sentido, podemos dizer que nós podemos representar-nos a quarta dimensão” (POINCARÉ, 1905, p. 69-70).

Ao considerar a possibilidade de mundos fictícios em que as geometrias não-euclidianas se mostrariam mais “cômodas”, Poincaré enfatiza, entretanto, que, mesmo nesses mundos, essas geometrias não seriam necessárias, uma vez que é possível descrever esses mundos também a partir da geometria euclidiana. Dessa forma, embora “seres educados lá teriam sem dúvida achado mais conveniente criar uma geometria diferente da nossa”, é certo que nós, em compensação, por estarmos acostumados à nossa geometria, “na presença das mesmas impressões, não pensaríamos ser conveniente realizar uma mudança” (POINCARÉ, 1905, p. 71). Nesse sentido, Poincaré acreditava que a geometria Euclidiana jamais seria substituída por outra, uma vez que sempre preferiríamos modificar as leis do movimento a modificar a geometria do espaço²⁸.

4.10.2 As geometrias como fonte para a imaginação criadora artística

A exposição, um pouco mais longa, que fizemos da concepção de Poincaré a propósito da relação entre a experiência dos sentidos e as geometrias não euclidianas e quadridimensionais é relevante por demonstrar possibilidades de realizar, por assim dizer, um “enraizamento” dessas hipóteses abstratas no domínio da experiência sensorial. Por essa via, ela parece ter interessado, particularmente, a artistas interessados em “capturar o não-perceptível”, em “ir além do domínio do visível”, assim como em “ir além do domínio do racional”, racionalidade esta associada

²⁸Bachelard qualificou o “equívoco epistemológico” de Poincaré, ao crer na insuperabilidade da geometria euclidiana e não perceber a verdadeira “inflexão” do “novo espírito científico” da seguinte forma: “Esse pensamento [de Poincaré] consiste em imobilizar a perspectiva da clareza intelectual, em imaginar que o plano dos pensamentos mais claros se apresenta sempre por primeiro, que esse plano deve ficar o plano de referência e que todas as outras pesquisas se ordenam a partir do plano da clareza primitiva” (BACHELARD, 1974c, p. 266-7).

à estrutura “clássica” da geometria euclidiana (HENDERSON, 1983). Nesse sentido, a imagem, por exemplo, de um espaço muscular com tantas dimensões quantos são os músculos e o intervalo aberto pela desidentificação entre os espaços das representações sensoriais e o espaço geométrico parecem ter contribuído para o incremento da liberdade que esses artistas procuravam em suas representações expressivas. As imagens proporcionadas por essas geometrias, nesse sentido, propiciavam pontes sensoriais para um mundo desconhecido e / ou fantástico.

As novas geometrias contra a ilusão perspectiva. Encontramos evidência da importância das novas geometrias no movimento cubista em reflexões desenvolvidas pelos próprios artistas integrantes do movimento. É o caso do livro de 1913, do escritor Guillaume Apollinaire, de título “Os pintores cubistas: meditações estéticas”, no qual podemos ler:

“Os novos artistas foram violentamente atacados por sua preocupação com a geometria. No entanto, as figuras geométricas são a essência do desenho (...) Até agora, as três dimensões da geometria de Euclides eram suficientes para a inquietação sentida por grandes artistas que ansiavam pelo infinito. (...) Hoje os sábios não mais se limitam às três dimensões de Euclides. Os pintores foram levados muito naturalmente, poderíamos dizer por intuição, a se preocuparem com as novas possibilidades de medida espacial que, na linguagem dos estudos modernos, é designada pelo termo: Quarta dimensão. (...) Vista do ponto de vista plástico, a quarta dimensão parece surgir das conhecidas três dimensões: ela representa a imensidão do espaço eternizado em todas as direções em um dado momento. Ela é o espaço em si, a dimensão do infinito; a quarta dimensão dota os objetos de plasticidade. Dá ao objeto suas proporções certas no todo” (APOLLINAIRE, apud HENDERSON, 2005, p. 351-2).

A citação acima, entretanto, não esclarece muito como a imaginação da quadridimensionalidade adquire a conotação poética que o autor lhe atribui. Por que ela representaria “a imensidão do espaço eternizado em todas as direções em um dado momento”? Ou porque daria ao “objeto suas proporções certas no todo”? É certo que procurar por significações exatas em imagens poéticas não é um bom caminho de reflexão. Mas, ao lermos essas frases, suspeitamos que o sentido que o artista atribuía às novas geometrias é muito diferente do que os que atribuímos atualmente. O trabalho de aproximação desses sentidos foi realizado, através de um extenso e exaustivo exame de referências da época a essas geometrias, por Linda Henderson (1983).

Para refletir, primeiro, sobre os sentidos gráficos que a quadridimensionalidade adquirira, devemos adicionar à reflexão de Poincaré a respeito das possibilidades de visualização da quadridimensionalidade, também a referência aos trabalhos de Charles H. Hinton e E. Jouffret, dois matemáticos que se dedicaram à popularização da quadridimensionalidade e procuraram desenvolver a sua visualização. Por acreditar que a percepção humana podia ser educada para a

(a) Hiper-cubo “planificado”.

(b) Diversos pontos de vista de um hiper-cubo.

Figura 4.52

consciência da quadridimensionalidade – e por acreditar no valor transcendente desse desenvolvimento – Hinton desenvolve um sistema de treinamento da percepção, envolvendo a visualização de projeções de figuras quadridimensionais coloridas de tal forma a facilitar a compreensão dos sólidos tridimensionais que compõem cada uma de suas “hiper-faces”. Por exemplo, um hiper-cubo quadridimensional é formado por oito hiper-faces, cada uma delas correspondente a um cubo tridimensional. Assim como um cubo tridimensional pode ser aberto e planificado, mostrando suas seis faces retangulares todas em um mesmo plano, podemos imaginar a “planificação” de um hiper-cubo, de forma que ele mostre suas oito hiper-faces cúbicas em um mesmo hiper-plano tridimensional (figura 4.52a). Da mesma forma, assim como quando vemos um cubo no espaço, vemos apenas algumas de suas faces, distorcidas pela projeção perspectívia, a visualização de um hiper-cubo permite também apenas a visualização de algumas de suas hiper-faces, também distorcidas pela projeção em perspectiva (figura 4.52b). Hinton desenvolve essas ideias, em um texto publicado em 1902 sobre “o reconhecimento da quarta dimensão”, visando educar o “olho interno” a ver a quadridimensionalidade:

“Aqui, pela primeira vez, o poder de conceber o espaço quadridimensional é demonstrado, e são desenvolvidos os meios de educá-lo. (...) A condição necessária é que a mente adquira o poder de utilizar o espaço quadridimensional como ela o faz agora com o espaço tridimensional. E há uma condição que não é menos importante. Nós não podemos nunca ver, por exemplo, figuras quadridimensionais com os nossos olhos corpóreos, mas sim com os nossos olhos mentais e internos. A condição é que nós adquiramos o poder de lidar mentalmente com um grande número de detalhes” (HINTON, apud HENDERSON, 1983, p. 29).

Na mesma linha de raciocínio, vemos na figura 4.53 desenhos de E. Jouffret, de seu livro “Tratado elementar de geometria a quatro dimensões” de 1903, que procuram mostrar diversas perspectivas de um sólido quadridimensional. As sobreposições de triângulos que essas figuras produzem remetem à estrutura multifacetada, presente nos quadros de Braque e Picasso na figura 4.54, e que é tão característica do movimento cubista, do qual eles são os principais expoentes. Por outro lado, nessas obras desses dois artistas, a fragmentação do conjunto e a fusão entre figura e fundo, induzida pelas linhas interrompidas, remetem-nos tanto a uma visão

Figura 4.53: “Perspectiva dos 16 octaedros de um icositetraedroide”, E. Jouffret, 1903 (HENDERSON, 2005, p. 355).

de mundo que, como dissemos ao tratar da relação entre matéria e radiação, vê o mundo material e imaterial em permanente fluxo, como à busca por um espaço tátil e não apenas visual, no qual a perspectiva ilusionista não tem lugar. É o que nos diz Braque, demonstrando, ao tratar do espaço tátil, segundo Miller, a influência dos trabalhos de Poincaré:

“A perspectiva não é mais do que uma enganação do olho, ilusionismo. É um simples truque – um mau truque – que faz ser impossível para um artista proporcionar uma experiência plena do espaço, já que ela força os objetos na figura a desaparecer para longe do espectador ao invés de trazê-los ao seu alcance, como deveria fazer a pintura. (...) O que me atraía – e era a principal direção do Cubismo – era a materialização do novo espaço que eu sentia. Então eu comecei a enfocar o que é vivo, porque na natureza há um espaço tátil, que eu poderia quase descrever como manual. Eu escrevi a esse respeito: ‘quando o que é vivo não está mais acessível à mão, ele cessa de ser vivo.’ Isso explicava para mim o desejo que eu sempre tive de tocar as coisas e não apenas olhá-las” (BRAQUE, apud MILLER, 2001, p. 130-1).

Quadridimensionalidade e transcendência. Ainda procurando refletir a propósito da citação de Apollinaire que fizemos acima, questionamos: que sentido terá sua declaração de que a quadridimensionalidade “representa a imensidão do espaço eternizado em todas as direções em um dado momento”? Podemos encontrar algumas pistas a esse respeito no romance *Flatland* de Edwin Abbott, outra obra importante na divulgação da quadridimensionalidade.

(a) Retrato de Ambroise Vollard. Picasso, 1910.

(b) Violino e Castiçal. Georges Braque, 1910.

Nesse romance, de 1884, o autor descreve as tentativas de uma esfera (o Estrangeiro) de explicar a um quadrado, habitante de um mundo plano, bidimensional, o que seria a terceira dimensão. Os habitantes desse mundo plano, tendo uma retina apenas linear, só podem ver linhas. Assim, quando a esfera surge repentinamente para o quadrado, este apenas vê uma linha que, pela maneira como ela torna-se progressivamente mais escura nas bordas, parece-lhe ser um círculo. O quadrado não compreende quando a esfera lhe diz que veio da terceira dimensão:

- “Eu - Quer vossa senhoria ter a bondade de me explicar em que direção é essa Terceira Dimensão, que desconheço?
- Estrangeiro - Foi de lá que eu vim. Está por cima e por baixo.
- Eu - Vossa senhoria quer provavelmente dizer que está para Norte e para Sul.
- Estrangeiro - Nada disso. Quero dizer uma direção que não podeis ver, uma vez que não tendes olhos na vossa parte lateral.
- Eu - Peço desculpa, mas vossa Senhoria poderá verificar, através duma simples inspeção, que tenho um perfeito luminar no ponto de encontro de dois dos meus lados.
- Estrangeiro - Sim, mas, para examinar a fundo o Espaço, teríeis de ter um olho não no vosso Perímetro, mas no vosso lado, isto é, naquilo a que provavelmente chamaríeis vosso interior, mas a que nós, no Espaço, chamaríamos o vosso lado.
- Eu - Um olho no meu interior! Um olho no meu estômago! Vossa senhoria está a brincar.
- Estrangeiro - Não estou com nenhum sentido de humor. Digo-vos que vim do Espaço, ou, já que não compreendeis o que Espaço significa, do Mundo a Três Dimensões, de onde, até há bem pouco, olhava para o vosso plano que designais por Espaço. Dessa posição vantajosa verifico que tudo o que designais por sólido (para dizer “encerrado em quatro lados”), as vossas casas, as vossas igrejas, as vossas próprias arcas e cofres, sim, mesmo os vossos interiores e estômagos, estão para mim completamente abertos e expostos” (ABBOTT, 1993, p. 97, 8).

Nesse sentido, a perspectiva de “ver o mundo a partir da quarta dimensão” permite, tal como ocorre com a esfera em *Flatland*, observar, de uma vez, *todo* o espaço tridimensional, todos os lados de qualquer objeto, assim como o seu interior. Talvez seja também por isso que Apollinaire tenha afirmado que a quarta dimensão “dá ao objeto suas proporções certas no todo”, uma vez que, visto desse ponto de vista privilegiado, os objetos não só são vistos em sua totalidade, como também não sofrem distorções perspectivas. Por isso, assim como as fotografias tiradas com raio-X, também a quadridimensionalidade pode servir como uma metáfora para a capacidade romântica do artista de “ver além”.

O caráter transcendente do desenvolvimento da observação da quadridimensionalidade associa-se, de certa forma, a essa possibilidade de ver o nosso mundo usual, cotidiano, todo,

“de fora”, possibilidade que, diga-se de passagem, foi rejeitada com a proposição da teoria da relatividade restrita. Como exemplo mais explícito dessa imagem transcendente da quadridimensionalidade, citemos o arquiteto e desenhista americano Claude Fayette Bragdon, quem se interessava pela quadridimensionalidade como fundamento para sua compreensão a respeito da evolução espiritual humana. “Todo o processo evolucionário”, escreve ele, “consiste na conquista, dimensão por dimensão, de nossos sucessivos mundos espaciais” (HENDERSON, 1983, p. 189). Ele foi o primeiro a publicar um trabalho em que ilustra graficamente as analogias entre a bidimensionalidade e a tridimensionalidade, discutidas por tantos autores no século XIX. Em 1912, ele escreve uma parábola, “*Man the Square: a higher space parable*”, em que, de forma análoga ao que faz Abbott em *Flatland*, associa metaforicamente os seres-humanos a formas geométricas (HENDERSON, 1983, p. 188). Só que dessa vez, eles são cubos que, entretanto, vivem restritos a uma secção plana do espaço (figura 4.55a). Dessa forma, as diferenças entre os indivíduos se deve às diferentes inclinações de cada cubo com relação a este plano. É a falta de consciência da identidade profunda entre todos os indivíduos que seria a origem das mazelas humanas. Ao final, a verdadeira identidade cúbica de todos os seres seria revelada por um Cristo, que revela sua verdadeira forma se “abrindo” na forma planificada de um cubo, ou seja, na forma de uma cruz.

Nesse contexto, é interessante observar também o quadro de Salvador Dali de 1954, *Crucifixion (Corpus Hypercubicus)* (figura 4.55b), com sua imagem de Cristo crucificado em uma forma equivalente à “planificação” tridimensional de um hiper-cubo quadridimensional. Em comparação com a parábola de Bragdon, essa imagem acaba adquirindo uma conotação bastante similar.

Como já fizemos referência, a estética cubista parece vinculada a esse desejo de perceber a totalidade do espaço. As distorções promovidas nas figuras, rodando-as livremente, sobrepondo partes desconexas, paradoxalmente, parecem pretender uma representação mais “fiel” do mundo, liberando-a do ilusionismo associado à perspectiva, multiplicando os pontos de vista e colocando-os todos à mostra, de uma vez. Também quadros de Duchamp – artista que se aproximou por certo tempo do movimento cubista – como o da figura 4.56, podem ser interpretados em termos dessa ânsia por observar o mundo de um ponto de vista privilegiado, de onde o interior e o exterior, os múltiplos pontos de vista, os pensamentos estejam todos à mostra.

Espaços conectados. Assim como a quadridimensionalidade, as geometrias não euclidianas – através da consideração de espaços “curvos” – também podem contribuir para a apreciação da fragmentação presente nas imagens cubistas. A exploração imaginativa de distintas estruturas topológicas do espaço é um elemento que pode ser encontrado, de maneira explícita, em textos

(a) Figuras presentes na parábola *Man the square*, de Bragdon.

(b) Crucifixion (Corpus Hypercubicus). Salvador Dalí, 1954.

Figura 4.55

Figura 4.56: Retrato de jogadores de xadrez. Marcel Duchamp, 1911.

especulativos e em contos do século XIX e que pode servir também como uma possível chave para interpretação de quadros tais como o de Juan Gris, outro expoente do movimento cubista, na figura 4.57.

Em um texto de 1884, Hinton já especulou sobre seres fictícios bidimensionais que vivessem em um espaço bidimensional tão curvado que pudesse ter, eventualmente, alguns de seus extremos conectados. Dessa forma, regiões “distantes” umas das outras – onde a “distância” a que nos referimos é definida a partir apenas dos caminhos pertencentes ao espaço bidimensional em que vivem esses seres – podem ser, do ponto de vista do espaço tridimensional em que aquele espaço está imerso, aproximadas ou mesmo “coladas”. Como afirma Hinton:

“Outra coisa curiosa que poderia ser efetuada com um ser bidimensional é a seguinte. Conceba dois seres à grande distância um do outro em uma superfície plana. Se a superfície plana é curvada de forma que os seres são trazidos perto um do outro, eles não teriam como perceber essa proximidade, porque os únicos movimentos possíveis seriam movimentos na superfície. Os dois seres poderiam ser supostos com um posicionamento tal que, por uma curvatura apropriada do plano, eles ficariam em absoluta justaposição, e, ainda assim, segundo todas as faculdades de cada um dos dois, uma grande distância os separaria. A curvatura poderia continuar até fazer um ser aparecer repentinamente no plano pelo outro lado. Se esses seres fossem ignorantes da existência da terceira dimensão, esse resultado seria tão maravilhoso para eles, como seria para um ser humano que estivesse a uma grande distância – poderia ser do outro lado do mundo – e que repentinamente aparecesse e realmente estivesse ao seu lado, sem ter, em nenhum momento, saído do lugar onde estava” (HINTON, 1980).

O grande escritor de ficção científica H. G. Wells, em seu conto “O extraordinário caso dos olhos de Davidson” (*The remarkable case of Davidson's eyes*), de 1895, desenvolve uma situação análoga, na qual o personagem Davidson, após um estranho acidente em que seus olhos, devido à exposição a um intenso campo eletromagnético, teriam sofrido uma rotação quadridimensional, passa a enxergar não aqueles objetos que estavam próximos de si, mas a ver, em uma aparente alucinação que, entretanto, se revela depois em total acordo com os fatos, objetos e acontecimentos que tinham lugar, naquele exato momento, a 8 mil milhas de distância (13 mil km):

“Assim termina a extraordinária história dos olhos de Davidson. Ela corresponde talvez ao mais autêntico caso de existência de verdadeira visão à distância. Explicação não há, exceto a que o professor Wade criou. Mas sua explicação invoca a Quarta Dimensão, e uma dissertação teórica sobre os tipos de espaço. Falar da existência de uma dobra no espaço parece mera besteira para mim; pode ser porque eu não sou matemático. Quando eu disse que nada iria mudar o fato de que o lugar estava a 13 mil quilômetros de distância, ele respondeu que dois pontos podem estar a um metro de distância e ainda assim serem unidos dobrando o papel. (...) Ele pensa, como consequência disso,

que pode ser possível viver visualmente em um lugar do mundo e corporalmente em outro. Ele inclusive fez alguns experimentos para confirmar suas hipóteses, mas, até agora, só conseguiu cegar alguns cães” (WELLS, 2000, p. 70).

Independentemente da suposição de um espaço quadridimensional no qual o espaço tridimensional esteja imerso, o estudo de espaços curvos está diretamente associado à construção das geometrias não euclidianas e, com a sua utilização na teoria da relatividade geral, possibilidades fantásticas como as aventadas acima passam a ser frequentemente sugeridas em referência a essa teoria, envolvendo, por exemplo, a noção de buracos de minhoca. É interessante, entretanto, notar que a imaginação dessas situações remetem a um momento histórico anterior à criação dessa teoria.

Por utilizar a fragmentação do espaço para expor, de forma “panorâmica”, uma *paisagem* ampla, de forma que podemos ver regiões distantes como se estivessem próximas – conectadas por uma espécie de torção do próprio espaço – o quadro “Paisagem com casas em Ceret” (figura 4.57), algumas vezes classificado como um estilo de “cubismo épico”, pode ser interpretado em associação com essa exploração imaginativa de espaços geométricos curvos.

Rotação e inversão. A simetria entre as mãos direita e esquerda e, ao mesmo tempo, a distinção “absoluta” entre elas, devido à impossibilidade de movimentar uma até que se sobreponha à outra, já havia intrigado Kant, no século XVIII. Em um momento inicial de sua obra, ele invocou esse fato – entre outros argumentos de origem empírica – para demonstrar a existência de um espaço absoluto tridimensional (JAMMER, 1954, p. 131). No século XIX, porém, essa distinção “absoluta” foi relativizada e a transformação de uma mão na outra foi imaginada possível através de uma rotação no espaço quadridimensional. Esse é o tema do conto “The Platner story”, escrito por H. G. Wells em 1896:

“Se você acha o seu coração muito comum, o observador especializado teria uma opinião muito diferente. E uma vez que a apontasse, você também a perceberia muito facilmente. É que o coração de Gottfried bate no lado direito de seu corpo. Mas essa não é a única singularidade da estrutura de Gottfried, embora seja a única evidente para a mente destreinada. A escuta atenciosa dos órgãos internos de Gottfried, por um conhecido cirurgião, parecem demonstrar que todas as outras partes assimétricas de seu corpo estão invertidas. (...) O que é mais singular, a não ser que Gottfried seja um consumado ator, nós devemos acreditar que seu lado direito transformou-se recentemente no seu esquerdo. Desde as ocorrências que eu vou narrar (tão imparcialmente quanto possível), ele encontra grande dificuldade para escrever, a não ser da direita para a esquerda do papel e com a sua mão esquerda. Ele não consegue jogar com sua mão direita, fica perplexo durante as refeições frente ao garfo e à faca, e suas ideias a respeito da direção das ruas – ele é um ciclista – representam

Figura 4.57: Juan Gris, Paisagem com casas em Ceret, 1913.

(a) Rotação de uma figura bidimensional em torno a um eixo perpendicular ao seu “plano de existência”.

(b) Rotação de uma figura bidimensional em torno a um eixo paralelo ao seu “plano de existência”.

Figura 4.58

ainda uma perigosa confusão. Teóricos da matemática nos dizem que a única maneira pela qual o lado direito e esquerdo de um corpo sólido podem ser trocados é levando o corpo para fora do espaço tal como o conhecemos – quer dizer, levando-o para fora da existência ordinária e virando-o em algum lugar fora do espaço. (...) Em linguagem técnica, a curiosa inversão dos lados direito e esquerdo de Plattner é prova de que ele moveu-se para fora de nosso espaço em direção à chamada Quarta Dimensão e então retornou de novo ao nosso mundo” (WELLS, 1898).

A hipótese fantástica do conto de Wells pode ser visualizada através de uma analogia entre o espaço tridimensional e o bidimensional. Enquanto em um espaço bidimensional, toda rotação se dá em torno de um ponto fixo, em um espaço tridimensional, as rotações ocorrem em torno de um eixo fixo, de uma reta. Quando seres bidimensionais vêem um corpo rodando em torno de um ponto de seu “espaço”, nós vemos um corpo rodando em torno de um eixo perpendicular ao “plano” em que vivem estes seres (figura 4.58a). Além disso, e mais importante, nós somos capazes de conceber um ser bidimensional rodando em torno de um eixo pertencente ao seu plano, o que, para estes seres, é impossível (figura 4.58b). Um ser bidimensional que sofra uma rotação deste tipo de um ângulo de 180° volta ao seu mundo de uma forma em que nunca antes esteve: seu lado “direito” é transformado em seu lado “esquerdo” e vice-versa, como se ele se transformasse em sua imagem refletida em um espelho.

O mesmo fenômeno “esdrúxulo” ocorreria conosco se fôssemos levados a uma rotação em um espaço quadridimensional. Se em duas dimensões, as rotações ocorrem em torno de um ponto e em três dimensões ocorrem em torno de um eixo, então em quatro dimensões elas ocorrerão em torno de um plano fixo. É tão difícil para nós imaginarmos uma rotação em torno de um plano fixo quanto é para seres bidimensionais imaginar uma rotação em torno de uma reta fixa. Adicionalmente, se sofrermos uma rotação, no espaço quadridimensional, de 180° em torno de um plano interno ao nosso espaço tridimensional, seremos transformados em nossa imagem refletida no espelho, nosso lado esquerdo será transformado no direito e vice-versa.

Universos paralelos. Outra hipótese fantástica que encontrou sua expressão através da hipótese de um espaço quadridimensional é a de existência de universos paralelos. Mais uma vez, a analogia entre espaços bidimensionais e tridimensionais serve à imaginação dessa possibilidade. Se um universo bidimensional está imerso em um espaço tridimensional, então ele pode ser infinito e mesmo assim ocupar apenas uma parte desprezível do espaço tridimensional. Torna-se possível imaginar uma série, potencialmente infinita, de universos bidimensionais distintos “empilhados” em um espaço tridimensional. E analogamente com universos tridimensionais imersos em um espaço quadridimensional. É esse o tema do romance *The wonderful visit* de H. G. Wells (1895), que supõe que um universo onírico, cheio de anjos e animais apenas sonhados por nós seja um mundo “paralelo” ao nosso, tão real quanto o nosso. Neste mundo onírico, vivem seres que têm acesso ao nosso mundo apenas através de seus sonhos, assim como nós temos acesso ao seu mundo através de nossos sonhos. Eis um fragmento de um diálogo entre um anjo “caído” desse “universo paralelo” e um habitante de nosso mundo:

“Criaturas de Sonho!” – disse o anjo. “Que estranho! Este é um sonho muito curioso. Um tipo de sonho às avessas. Você diz que os homens são reais e os anjos um mito. Isso quase me faz pensar que de alguma forma existem dois mundos, como se fossem...”

“Pelo menos dois”, disse o vigário.

“Estando de alguma forma muito próximos, e mesmo assim mal suspeitando...”

“Tão próximos como duas páginas de um livro.”

“Penetrando um ao outro, vivendo cada um a sua própria vida. Este é realmente um sonho delicioso!”

“E nem sonhando da existência do outro.”

“Exceto quando as pessoas vão dormir!” (WELLS, 1895, p. 26,7).

4.10.3 As novas geometrias como fonte para a criação científica no século XIX

No sentido inverso do que apontamos acima, a ampliação de possibilidades abstratas de espaços geométricos parece ter interessado, já no século XIX, a alguns cientistas pela possibilidade de constituição de novos modelos para a compreensão dos fenômenos naturais. Se o “vetor epistemológico” do espírito científico aponta, segundo Bachelard, “do racional para o real”, é evidente que uma ampliação da gama de espaços racionais geométricos “a disposição” permite, igualmente, uma ampliação das possibilidades de pontes com o mundo da experiência sensível e do experimento. Não se trata tanto, nesse caso, de remeter à percepção de um universo oculto ou fantástico, mas de utilizar hipóteses (apenas) aparentemente “fantásticas” para incrementar a compreensão do mundo natural. Mesmo, como algumas vezes ocorre, quando se

pretende explicar fenômenos considerados “paranormais”, tais como a explicação de “fenômenos mediúnicos” pelo astrônomo Johann Friedrich Zöllner a que faremos referência, o esforço é o de compreender, através de um modelo racional, esses fenômenos, inserindo-os no universo dos fenômenos naturais, esclarecendo-os, e não o de remeter a um domínio que ultrapassaria a razão.

A existência de uma dimensão adicional, inacessível aos nossos sentidos foi considerada, em algumas situações, um artifício interessante (não necessariamente fictício) para explicar alguns fenômenos naturais, tais como a expansibilidade dos gases, a atração gravitacional entre os corpos e as reações químicas, bem como para solucionar dificuldades teóricas de modelos conhecidos, como o modelo do éter, que precisava ser ao mesmo tempo rígido, para que ondas eletromagnéticas transversais pudessem se propagar nele, e extremamente tênue, para que os corpos materiais pudessem atravessá-lo com um atrito desprezível. Ao mesmo tempo, essa dimensão adicional também já foi utilizada para compreender fenômenos mais fantásticos de cuja existência, entretanto, os propositores dos modelos não duvidavam.

Uma referência precursora da utilização da hipótese da quadridimensionalidade para a compreensão de problemas teóricos é Henri More, o mesmo autor do século XVII que discutimos brevemente na seção 4.6.3 a propósito da noção de espaço absoluto e de sua associação com Deus. Na obra “The immortality of soul”, ele sugere a possibilidade de existência de uma quarta dimensão espacial para explicar a relação entre a alma e o corpo (MARTINS, 1995, p. 70). Como é possível que a alma habite um corpo que, com o passar do tempo, cresce, aumenta progressivamente de tamanho? Acreditando ser muito insatisfatória a possibilidade de que a alma também mudasse de tamanho, More sugere que a alma pudesse possuir uma espécie de “espessura extra-espacial”, que diminuísse de tamanho conforme o corpo cresce, de maneira que ela possa ocupar um volume no espaço tridimensional cada vez maior através da diminuição de sua espessura. More chega a referir-se a essa espessura extra-espacial através do nome “quarta dimensão”.

É na segunda metade do século XIX, entretanto, que a utilização da quadridimensionalidade para tratar de problemas teóricos e modelar fenômenos passa a ser considerada com alguma frequência. O astrônomo Johann Friedrich Zöllner (1834-1882) defendeu a existência de uma quarta dimensão, baseado na observação de “experiências” levadas a cabo pelo médium Henry Slade (HENDERSON, 1983; MARTINS, 1995). Zöllner testemunhou, acompanhado por diversos colegas, que se declararam todos “perfeitamente convencidos da realidade dos fatos observados, excluindo a possibilidade de prestidigitação”, Slade realizar feitos que seriam impossíveis em um espaço tridimensional, tais como: o desatar de um nó em uma corda cu-

jos extremos estavam unidos um ao outro, sem sequer tocar na corda; o transporte de objetos para fora de um contêiner tridimensional fechado e a escrita em um papel preso entre duas placas fortemente seladas. Zöllner invocou a existência de uma quarta dimensão como possível explicação natural dos fatos testemunhados, remetendo, para isso, a propriedades geométricas desse espaço, tais como a possibilidade, demonstrada por Camille Jordan em 1875, de rotacionar um corpo em um espaço quadridimensional e transformar a sua face interna na externa e vice-versa. Dessa forma, Zöllner pretendia encontrar evidências empíricas da existência de uma quarta dimensão:

“No momento em que observamos no espaço tridimensional fatos contraditórios, isto é, fatos que nos forçariam a atribuir a um corpo dois atributos ou qualidades que até então pensávamos não poderem existir conjuntamente – nesse momento em que nós observamos tais fatos contraditórios em um corpo tridimensional, nossa razão é imediatamente forçada a reconciliar essas contradições” (ZÖLLNER, apud HENDERSON, 1983, p. 23).

Um exemplo menos fantástico de referência à quadridimensionalidade refere-se à compreensão de reações químicas e das propriedades de gases e misturas. Por exemplo, a possibilidade de que mais de quatro átomos pudessem se combinar, mas de maneira a que cada átomo mantivesse contato com todos os outros demanda espaços com mais de três dimensões, hipótese que foi considerada em 1880 por Carl Cranz (MARTINS, 1995, 71-2). Já Charles Hinton e René de Saussure também pensaram aplicações de espaços quadridimensionais a problemas correlatos. Eles imaginaram um mundo quadridimensional com uma pequena espessura na direção da quarta dimensão, que nos passa despercebida, e com uma força que atua nessa direção, ou seja, perpendicularmente ao hiper-plano tridimensional associado ao nosso espaço usual. Hinton procurou, então, compreender a compressibilidade de gases a partir desse modelo. Os gases compressíveis corresponderiam a um líquido – incompressível – que, entretanto, possui uma certa espessura na direção da quarta dimensão. Dessa forma, quando comprimimos, no espaço tridimensional, um gás, a espessura do líquido quadridimensional correspondente aumenta e a pressão exercida por ele também aumenta. Quando, ao contrário, o gás expande no espaço tridimensional, sua espessura diminui e a pressão que ele exerce diminui na mesma proporção. Hinton imaginou assim que a propriedade de expansibilidade dos gases pudesse ser explicada pela suposição de que a matéria por nós conhecida tivesse uma pequena espessura na direção de uma quarta dimensão:

“Podemos supor que há um centro de atração em algum lugar externo na quarta dimensão e que os gases que nós conhecemos são simplesmente líquidos mais móveis, expandindo em qualquer direção sob sua influência. Essa visão recebe um certo apoio do fato provado experimentalmente de que não há uma linha absoluta de demarcação entre um líquido e um gás. (...) Nós podemos então supor que a matéria que conhecemos se estende em três dimensões e tem

também uma pequena espessura na quarta dimensão; que sólidos são rígidos nas quatro dimensões; que líquidos são muito coerentes para admitir espalhar-se no espaço e ficar mais finos na quarta dimensão sob a influência de um centro atrativo posicionado fora de nosso espaço; mas que os gases, devido à maior mobilidade de suas partículas, estão sujeitos à sua ação e se espalham no espaço sob sua influência da mesma forma que líquidos, sob a influência da gravidade, se espalham em um plano” (HINTON, 1980).

Em linha de raciocínio similar, René de Saussure, em 1891, interpretou essa “pressão lateral” que age através da quarta dimensão como sendo o calor (MARTINS, 1995, p. 72). Ele estabeleceu também a diferença entre uma mistura de substâncias em uma solução e uma reação química, interpretando a reação química como um empilhamento de partículas na quarta dimensão, em oposição à mera mistura delas no espaço tridimensional, que ocorreria na primeira situação.

A contradição entre um éter muito rígido, para poder transportar ondas transversais, e, ao mesmo tempo, muito tênue, para não perturbar o movimento planetário, foi “resolvida” por Rouse Ball, em 1891, supondo que ele fosse rígido, mas se estruturasse como uma espécie de casca, situando-se, na direção da quarta dimensão, pouco “acima” e pouco “abaixo” do espaço tridimensional, de forma a permitir o movimento da matéria “por dentro” desse éter, mas, também, a permitir a propagação de ondas, que interagem, por sua vez, com a matéria (MARTINS, 1995, p. 73).

Por fim, Karl Pearson, também em 1891, propôs uma explicação para a atração gravitacional em termos de uma hipótese acerca da quadridimensionalidade e de um constante fluxo de éter que entra em nosso espaço vindo dessa quarta dimensão e a ela retorna através, respectivamente, de “fontes” e “sumidouros” de éter (MARTINS, 1995; KRAGH, 1999). Em uma compreensão hidrodinâmica, a aproximação de dois desses sumidouros criavam uma interação atrativa, associada à interação gravitacional. É interessante que Pearson, ao tratar de fontes e sumidouros, representa duas formas de matéria, aludindo assim a uma “matéria negativa”. Não era o único entretanto a especular sobre possibilidades dessa natureza. O físico inglês Arthur Schuster, por exemplo, especulou que poderiam existir sistemas estelares inteiros formados de “antimatéria” (ele utiliza esse termo), indistinguíveis do nosso, exceto porque ambos se repeliriam ao invés de se atrair. Escrevendo em 1898, ele chega inclusive a sugerir que a colisão entre “matéria” e “anti-matéria” levaria à aniquilação de ambos (KRAGH, 1999, p. 6)!

Matéria e a curvatura do espaço. Outra antecipação imaginativa notável de proposições científicas do século XX refere-se à relação entre a presença de matéria e a curvatura de um espaço geométrico não-euclidiano. Uma sugestão dessa possibilidade deve-se ao próprio

Riemann, quem criou a geometria de espaços com curvatura variável, geometria associada à própria linguagem com que se expressa a teoria da relatividade geral.

Quando aludimos mais acima às geometrias não-euclidianas, tratamos apenas das modificações do quinto postulado de Euclides que produziam, quando se postulava a inexistência de retas paralelas, a geometria elíptica ou, quando se postulava a possibilidade de mais de uma paralela passando por um mesmo ponto, a geometria hiperbólica. Mas como essas distintas geometrias se relacionam a distintas curvaturas? Uma primeira maneira de “visualizar” essa questão se dá através da consideração de espaços bidimensionais nos quais se possa construir cada uma dessas geometrias.

A diferença entre as geometrias das figuras 4.59a e 4.59b está associada à “curvatura” dos respectivos espaços. Na figura 4.59a, a curvatura é considerada positiva graças à sua forma esférica, que faz com que a superfície, em um ponto qualquer, se afaste de um plano tangente sempre no mesmo sentido. Já na figura 4.59b, a curvatura é considerada negativa, por sua forma similar à de uma sela de cavalo, que faz com que a superfície, em um ponto qualquer, se afaste de um plano tangente em sentidos opostos, conforme nos deslocamos em uma direção ou em outra. É importante notar, entretanto, que os modelos expostos nas figuras são meros exemplos de superfícies às quais se aplicaria uma ou outra geometria e não a definição dessas geometrias, que foram desenvolvidas a partir dos axiomas que as definem. A pseudo-esfera da figura 4.59b, por exemplo, foi proposta por Beltrami apenas em 1868, enquanto a geometria hiperbólica que ela ilustra foi proposta por Lobachevsky em 1829 e por Bolyai em 1832 (HENDERSON, 1983, p. 4). Outro exemplo associa-se às obras de Escher, *Circle Limit I, II e IV*, que ilustram espaços aos quais se aplica a geometria hiperbólica (figura 4.60). Roger Penrose comenta a respeito dessas figuras:

“Esta é a descrição do Universo de Escher [figura 4.60c] - como se vê, ele está cheio de anjos e demônios! Um ponto a ser notado é que parece que a imagem vai se tornando muito povoada na direção do limite do círculo. Isso acontece porque essa representação do espaço hiperbólico é desenhada numa folha de papel comum, plana, ou seja, no espaço euclidiano. Imagine que todos os demônios devem ter na realidade exatamente o mesmo tamanho e a mesma forma, de modo que, se calhasse de você viver neste Universo perto da borda do diagrama, você acharia que eles eram exatamente iguais aos do meio do diagrama. (...) A figura 4.60a é ainda melhor que a 4.60c para entender essa geometria, pois as “linhas retas” são mais óbvias. Elas são representadas por arcos de círculos que se cruzam em ângulos retos. (...) As pessoas lobatchevskianas podem traçar duas (ou mais) linhas separadas paralelas ao diâmetro que passem por esse ponto, como indiquei. Assim, o postulado da paralela é violado nessa geometria” (PENROSE, 1997, p. 43-6).

Embora a curvatura das figuras 4.59a e 4.59b seja visualizada por nós apenas pelo fato de

(a) Exemplo de superfície bidimensional à qual se aplicaria a geometria elíptica. Não existem “retas” (geodésicas) que não se interceptem e a soma dos ângulos internos de um triângulo é sempre maior que 180° .

(b) Exemplo de superfície à qual se aplicaria a geometria Hiperbólica. Há infinitas “retas” (geodésicas) que passam por um ponto externo a outra “reta” (geodésica) sem interceptá-la e a soma dos ângulos internos de um triângulo é sempre menor que 180° .

Figura 4.59

(a) ESCHER, M.C. Circle Limit I.

(b) ESCHER, M.C. Circle Limit II.

(c) ESCHER, MC. Circle Limit IV.

Figura 4.60

elas serem superfícies bidimensionais imersas em um espaço tridimensional, Gauss demonstrou que essa curvatura pode ser calculada utilizando apenas medidas “intrínsecas” à superfície (JAMMER, 1954, p. 151), ou seja, medidas que poderiam ser realizadas por seres bidimensionais que vivessem nessa superfície e não tivessem acesso ao espaço tridimensional. Esse fato permitiria em princípio que esses seres bidimensionais descobrissem qual a geometria apropriada ao espaço em que vivem. Dessa forma, para que uma geometria não-euclidiana seja adequada a um determinado espaço, não é necessário que ele esteja imerso em outro de mais dimensões. Essa “imersão” é apenas um recurso útil para que visualizemos essas geometrias. A distinção entre as geometrias, portanto, está associada a medidas intrínsecas ao próprio espaço.

As geometrias elíptica e hiperbólica possuem, entretanto, curvatura constante, ou seja, igual em todos os pontos. Foi a generalização desenvolvida por Riemann das geometrias não euclidianas que permitiu uma abordagem unificada das geometrias e estabeleceu as bases do uso que dela faria a física na relatividade geral (JAMMER, 1954, p. 149). Sendo a curvatura do espaço uma propriedade local, é possível pensar espaços com uma curvatura não constante, mas variável ponto a ponto. As geometrias hiperbólica, elíptica e euclidiana seriam apenas casos particulares associados a espaços com curvaturas constantes respectivamente negativa, positiva ou nula.

Pensar a possibilidade de um espaço que tivesse curvatura variável, entretanto, parecia absurdo por ferir o pressuposto de homogeneidade do espaço, assim como de sua isotropia (JAMMER, 1954, p. 158-9). A inomogeneidade do espaço parecia implicar, entre outras consequências, a noção de um espaço absoluto, anterior aos corpos, uma vez que, através da medida de sua curvatura variável, seria possível identificar o movimento dos corpos com relação a essas “marcas” que caracterizariam os diferentes pontos do espaço absoluto. Em resposta a questionamentos dessa natureza, Riemann respondeu que a hipótese de homogeneidade do espaço não levava em consideração a existência da matéria. Dessa forma, escreveu ele, “a base para a determinação métrica deve ser procurada fora do espaço, nas forças de ligação que agem nele” (RIEMANN, apud JAMMER, 2010, p. 204).

Em acordo com a hipótese proposta por Riemann, e indo além dela, o tradutor de sua obra para o inglês, William Clifford, imaginou a possibilidade de as diferentes curvaturas do espaço poderem se deslocar, com a passagem do tempo, de forma análoga ao deslocamento de uma onda e identificou esse movimento ao movimento da matéria no espaço:

“Sustento como realidade

(1) Que pequenas porções do espaço são de natureza análoga a pequenas colinas em uma superfície que, em média, é plana; as leis comuns da geometria não são válidas nelas.

(2) Que essa propriedade de ser curva ou distorcida é continuamente transmi-

tida de uma porção do espaço a outra, à maneira de uma onda.

(3) Que essa variação da curvatura do espaço é o que realmente acontece no fenômeno que denominamos movimento da matéria, seja ela ponderável ou etérea.

(4) Que no mundo físico não ocorre mais nada senão essa variação sujeita (possivelmente) à lei da continuidade” (CLIFFORD, apud JAMMER, 2010, p. 206).

Dessa forma, a imaginação matemática pensou, ainda no século XIX, a possibilidade de uma conexão entre a curvatura do espaço e a existência de matéria, fornecendo subsídios técnicos e heurísticos para a posterior construção da teoria da relatividade geral.

4.11 Espaço-tempo e a Relatividade especial

Assim como ocorre com a relação entre massa e energia e com a referência a espaços curvos, também uma problematização da dimensão temporal que localize a ruptura com a concepção clássica de tempo apenas na figura de Einstein e em uma concepção operacionalista, através da qual define-se o tempo como o que é medido por um relógio e recusa-se qualquer reflexão ou problematização adicional como “desnecessária” e “metafísica”, não parece fazer justiça nem à figura de Einstein nem à história dessa construção científica.

Embora a reflexão a respeito de como medimos o tempo e, em especial, de como sincronizamos relógios distantes seja fundamental para a compreensão da relatividade das durações e simultaneidades, não temos porque – em nossa busca por experiências estéticas do tempo – dicotomizar a priori essa perspectiva operacional de outra perspectiva mais associada à percepção e à experiência do tempo. Aliás, justamente a constituição dessa distinção entre a percepção subjetiva, imediata e a medida, fundada em convenções, da passagem do tempo e das relações entre o antes e o depois parece fundamentar a possibilidade de compreensão e aceitação da relatividade de medidas temporais. Nesse sentido, novamente as contribuições de Henri Poincaré são fundamentais por, assim como ele faz a propósito da noção de espaço, desconstruírem a identificação imediata entre a experiência sensorial do tempo e a construção racional do tempo newtoniano, associado a uma ordem absoluta de sucessão de “instantes do universo”. Entretanto, suas concepções, segundo Pietro Redondi (2010, p. 240, 248), se colocam em diálogo com a crítica que o filósofo Henri Bergson faz a uma deturpação imobilizadora do “verdadeiro tempo”, operada pela ciência e pela filosofia, e com a sua defesa da associação desse tempo verdadeiro a uma duração sentida e vivenciada. É interessante, nesse sentido, que Poincaré não pressuponha que o tempo científico correspondesse ao “tempo verdadeiro”, e as percepções mais subjetivas a ilusões. No contexto de sua filosofia convencionalista, como discutiremos a seguir, a construção científica da simultaneidade e das medidas de durações fundamentam-se

em convenções “convenientes”, frutos de um “oportunismo inconsciente”, enquanto apenas as percepções imediatas de eventos que ocorrem simultaneamente podem pretender-se independentes de convenções.

4.11.1 Representação estática do movimento.

Dado o interesse, na segunda metade do século XIX, pela quadridimensionalidade a que já fizemos referência, uma das conjecturas “naturais” neste período a propósito da significação dessa dimensão hipotética foi a sua associação com a dimensão temporal. Charles Hinton, quem realizou especulações sobre uma infinidade de significações para essa dimensão adicional, considerou também sua associação com o tempo. Em seu esforço de construir uma intuição visual desse “espaço”, ele chega a descrever o que, na teoria da relatividade, será a linha de universo de uma partícula, ao observar que o movimento de uma partícula no espaço tridimensional é equivalente ao desenho de uma linha no espaço-tempo quadridimensional:

“Se uma linha reta atravessasse um plano horizontal com uma certa inclinação e se movesse para baixo, ela sempre cortaria o plano em um ponto, mas esse ponto iria se mover. Se o plano fosse de natureza tal que contornasse o ponto, se ele tivesse a natureza de um fluido, o que seria observado corresponderia a um ponto em movimento. Se agora houvesse um sistema inteiro de linhas com inclinações em diferentes direções, mas todas conectadas em uma estrutura rígida, e se essa estrutura com o seu sistema de linhas se movesse como um todo, passando lentamente através do plano fluido em ângulo reto com relação a ele, haveria uma grande quantidade de pontos em movimento, no mesmo número que o de linhas na estrutura” (HINTON, 1980).

No domínio das obras de ficção científica, H. G. Wells construiu em 1895 o romance “A máquina do Tempo”, em que o “viajante no tempo” explica aos seus interlocutores como, sendo o tempo uma dimensão equivalente às dimensões espaciais, pode-se, em princípio, caminhar nesta direção, tanto para frente como para trás. Ele demonstra a existência dessa quarta dimensão ao argumentar que, assim como um ponto, uma linha e um plano matemáticos não têm existência real, também um cubo tridimensional instantâneo não a tem, posto que lhe falta alguma espessura na direção temporal, alguma duração:

“— Acompanhem-me com atenção, porque precisarei ir de encontro a uma ou duas ideias de aceitação universal. A geometria que vocês aprenderam na escola, por exemplo, se fundamenta num equívoco. — Não acha que essa é uma premissa muito audaciosa? — inquiriu Filby, um indivíduo de cabelo ruivo, que gostava de polemizar. — Não lhes peço que aceitem nada, se acharem que não há base para tanto. Em breve irão todos concordar com as minhas premissas. Todos sabem, imagino, que uma linha geométrica, uma linha de espessura igual a zero, não tem existência real. Estudaram isso, não é? Assim

como um plano geométrico também não existe. Tais coisas são meras abstrações. — Sem dúvida — disse o Psicólogo. — Do mesmo modo, um cubo que possua apenas altura, largura e profundidade não pode ter uma existência real. — Nesse ponto eu discordo — disse Filby — É claro que um corpo sólido como esse existe. Todas as coisas reais... — Sim, é o que todos acham. Mas espere um pouco. Será que existe um cubo instantâneo? — Não entendi — disse Filby. — Será que um cubo que não dure por algum tempo pode ter uma existência real? Filby ficou pensativo. — Não há dúvida — continuou o Viajante do Tempo — que todo corpo real deve estender-se por quatro dimensões: deve ter Comprimento, Largura, Altura e... Duração. Mas, por uma natural imperfeição da carne, que logo lhes explicarei, somos inclinados a desprezar esse fato. Há realmente quatro dimensões, três das quais são chamadas os três planos do Espaço, e uma quarta, o Tempo. Existe, no entanto, uma tendência a estabelecer uma distinção irreal entre aquelas três dimensões e a última, porque acontece que nossa consciência se move descontinuamente numa só direção ao longo do Tempo, do princípio ao fim de nossas vidas” (WELLS, 2004).

No domínio da pintura, o movimento cubista, apesar de seu interesse específico pela quarta dimensão e pelas geometrias não-euclidianas, não associava essa quarta dimensão a uma dimensão temporal. No entanto, Marcel Duchamp, que esteve associado a esse movimento, mas dele acabou se distanciando, era provavelmente o artista que, na época, mais pesquisou as novas geometrias e produziu delas variadas imagens, inclusive associadas à proposta de uma “representação estática do movimento”. Seus quadros de 1911 e 1912, exibidos na figura 4.61 são exemplos de representações associadas a essa pesquisa. A repetição de linhas em sequência produzem a sensação de um rastro, representando o movimento no tempo. Duchamp apelidou esse artifício de paralelismo elementar:

“Eu a chamei de paralelismo elementar. É uma decomposição formal; quer dizer, elementos lineares seguindo uns aos outros paralelamente e distorcendo o objeto. O objeto é completamente esticado, como um elástico. As linhas seguem-se umas às outras paralelamente, mas modificando-se sutilmente para formar o movimento, ou a forma do jovem em questão [figura 4.61b]. Eu usei também esse procedimento no ‘Nu descendo a escada’ [figura 4.61a]” (DUCHAMP, apud HENDERSON, 1983, p. 127).

Duchamp se inspirou, para a constituição desse tipo de procedimento, entre outras fontes, nos trabalhos de “cronofotografia”, uma técnica criada por Marrey em 1887 e representada na figura 4.62. A sucessão de linhas e pontos representadas nessa figura derivam de desenhos mais claros realizados na roupa do modelo fotografado, enfatizando assim a movimentação de partes específicas do corpo e a sua estruturação em formas geométricas. A referência de Duchamp ao “nu” no quadro “Nu descendo a escada” (figura 4.61a) é, de qualquer forma, interessante por remeter mais a uma estrutura óssea do que a uma nudez “carnal”, imagem que pode ser remetida às fotos de raio-X, como já discutimos antes. Já os nus no quadro “O rei e

(a) Nu descendo a escada n. 2. Marcel Duchamp, 1912.

(b) Jovem triste em um trem. Marcel Duchamp, 1911.

(c) O rei e rainha circundados por nus rápidos. Marcel Duchamp, 1912.

Figura 4.61

a rainha circundados por nus rápidos” (figura 4.61c) remetem a uma nudez ainda mais radical, permitindo-nos identificar referências a rapidíssimos elétrons em uma estrutura atômica²⁹.

Como o “transporte paralelo” de uma linha pode permitir a construção de um quadrado e o de um quadrado permite a construção de um cubo, o “paralelismo elementar” de Duchamp é também associado por ele à visualização da quadridimensionalidade:

“Paralelismo elementar: repetição de uma linha equivalente a uma linha elementar (no sentido de similar em qualquer ponto) para gerar uma superfície. O mesmo paralelismo para passar do plano ao volume: espécie de multiplicação paralela do continuum n dimensional para formar o continuum $n+1$ dimensional” (DUCHAMP, apud HENDERSON, 1983, p. 127).

Figura 4.62
 (DUCHAMP, apud HENDERSON, 1983, p. 127).

Muito tempo depois, já em um ambiente em que, pelo sucesso da teoria da relatividade, a interpretação da quadridimensionalidade em associação com o espaço-tempo tornara-se hegemônica, no contexto do movimento surrealista, o escultor Oscar Dominguez, na obra “La Pétrification du temps”, de 1942, apelida esta representação estática do movimento de superfícies “litocrônicas” e imagina assim o movimento de um leão:

“Imagine por um minuto qualquer corpo tridimensional, um leão africano por exemplo, entre quaisquer dois momentos de sua existência. Entre o leão L_0 , ou leão no momento $t = 0$, e o leão L_1 , ou leão final, existe uma infinidade de leões africanos de diversos aspectos e formas. Agora, se considerarmos o conjunto formado por todos os pontos do leão em todos os seus instantes e em todas as suas posições, e então se traçarmos a superfície envoltória, nós obteremos um super-leão com características morfológicas extremamente delicadas e cheias de nuance. É a essas superfícies que nós damos o nome de litocrônicas” (DOMINGUEZ, apud HENDERSON, 1983, p. 348).

4.11.2 Percepção e experiência da duração.

Nem todos, entretanto, viam com bons olhos essa associação entre a quarta dimensão e o tempo, nem tampouco a transformação do movimento numa repetição de linhas paralelas,

²⁹Henderson cita, como exemplo do interesse artístico pelo tema dos elétrons, o artigo de Georges Matisse de 1908 de título “História extraordinária dos elétrons”, no qual se lê: “Elétrons são pequenos seres, charmosos que lembram os elfos e trolls da Escandinávia. Eles são extremamente leves: 1000 vezes menores que o átomo de hidrogênio, dizem alguns, 2000 vezes, dizem outros... Grande número desses elétrons, vestidos de eletricidade negativa, são os súditos de um rei cuja corte eles formam” (MATISSE, apud HENDERSON, 1998, p. 19).

em uma direção perpendicular ao espaço tridimensional. O filósofo Henri Bergson realizou uma contundente crítica a uma concepção espacializada do tempo, que ele identificava estar presente ao longo de toda a história da filosofia e da ciência³⁰, de forma que, segundo ele, havia-se desviado sempre a atenção da “duração real”:

“Era a visão da duração o que nos absorvia. Passando em revista os sistemas, constatamos que os filósofos não haviam se ocupado dela. Ao longo de toda a história da filosofia, tempo e espaço são colocados juntos e tratados como coisas do mesmo gênero. Estuda-se então o espaço, determina-se a sua natureza e função, depois transporta-se para o tempo as conclusões obtidas. As teorias do espaço e as do tempo são, assim, paralelas. Para passar de uma a outra foi suficiente mudar uma palavra: substituiu-se “justaposição” por “sucessão”. Desviou-se sistematicamente da duração real” (BERGSON, 1974, p. 109).

Compreender o que este filósofo entendia por “duração real”, porém, não é fácil. Os conceitos traem a sua verdadeira natureza. Mesmo as imagens evocadas para aludir a ela deixam de lado sempre algum aspecto fundamental. Assim, a apreensão do significado filosófico da duração advém de um método que rejeita soluções verbais e encontra “na vida interior um primeiro campo de experiência” (BERGSON, 1974, p. 157). “Passeando” por sua pessoa “supostamente inativa”, recolhendo-se “da periferia ao centro” e buscando no fundo de si “o que é mais uniformemente, mais duradouramente” ele mesmo, o filósofo encontra “uma sucessão de estados em que cada um anuncia o que segue e contém o que precede”, não constituindo estados múltiplos, a não ser quando já passaram, quando ele se volta “para contemplar suas marcas”. Não é possível dizer quando começa e quando termina cada um desses estados. Na realidade, “nenhum começa ou conclui, mas todos se prolongam uns nos outros”. Pode ser “um desenrolar de um rolo, porque não há ser vivo que não sinta chegar pouco a pouco o fim de seu papel; e viver consiste em envelhecer”. Mas pode ser também “um enrolamento contínuo, como um fio em um novelo, porque nosso passado nos segue, engrossa sem cessar com o presente que recolhe em seu caminho; e consciência significa memória” (BERGSON, apud REDONDI, 2010, p. 242).

A imagem espacializada da temporalidade deturpa, para o filósofo, a duração real por supor uma série de estados exteriores uns aos outros, por pretender transformar o movimento em uma série de imobilidades, perdendo-se, assim, justamente a passagem entre esses estados, o devir de cada estado. Mas a diferença é “radical entre uma evolução em que as fases contínuas se interpenetram por uma espécie de crescimento interior, e um desenvolvimento em que partes distintas se justapõem” (BERGSON, 1974, p. 112). Não é o movimento, portanto, que se faz

³⁰ A crítica de Bergson, entretanto, se dirige à filosofia e não à ciência que, segundo ele, tem suas razões para proceder essa espacialização do tempo e conseguir, assim, operar analiticamente sobre a série de estados imóveis e justapostos daí resultante.

de uma sucessão de imobilidades, mas a imobilidade que é construída analiticamente pela abstração do movimento. “O estado, considerado em si mesmo, é um perpétuo devir” (BERGSON, apud REDONDI, 2010, p. 244). É apenas situando-se na “mobilidade”, na “duração”, que a intuição pode perceber o caráter positivo do tempo, a possibilidade de “novidade radical”, a sua “imprevisibilidade”.

Encontramos, no movimento futurista, de alguma forma, criações que dialogam com as concepções bergsonianas. Umberto Boccioni, um dos fundadores desse movimento, foi bastante influenciado por sua filosofia (HENDERSON, 1983, p. 113). Como essa corrente artística buscava a própria essência das coisas no movimento, repudiava dessa forma a representação estática do movimento a que aludimos anteriormente. Boccioni, na sua obra de 1914, “*Pittura scultura futuriste (dinamismo plastico)*”, afirma:

“Parece-me claro que essa *sucessão* não será encontrada na repetição de pernas, braços e rostos como muitas pessoas estupidamente acreditaram, mas é conquistada através da procura intuitiva pela *forma única que dá continuidade no espaço*. É a forma-tipo que faz um objeto viver no universal. Portanto, ao invés do conceito ultrapassado de nítida diferenciação de corpos, (...) nós teríamos um *conceito de continuidade dinâmica* como forma única. E não é por acidente que eu digo forma e não linha, porque a *forma dinâmica* é uma espécie de quarta dimensão na pintura e escultura, que não pode existir perfeitamente sem a completa afirmação das três dimensões que determinam o volume: altura, largura, profundidade” (BOCCIONI, apud HENDERSON, 1983, p. 110).

Sua escultura de 1913, “Formas únicas de continuidade no espaço” (figura 4.63a), busca essa representação dinâmica do movimento. Como outros exemplos das obras futuristas, as pinturas de Luigi Russolo, “Dinamismo de um automóvel” e de Giacomo Balla, “Dinamismo de um cão em uma coleira”, ambas de 1912 (figuras 4.63b e 4.63c), embora façam algum uso da repetição de linhas para a representação do movimento, também se distanciam da representação estática, “cronofotográfica”, procurando representar diretamente o movimento e não uma “sucessão de imobilidades”.

4.11.3 Sincronização.

Pietro Redondi interpreta a defesa de Bergson de um tempo criativo, vivido e sentido – que provocou um debate apaixonado na época entre a *consciência* do tempo e a sua *medida* – como uma reação a uma série de transformações sociais pelas quais passava a Europa da época, vinculadas à standardização de um tempo único. O desenvolvimento da rede elétrica nas cidades, em meados do século XIX, propiciou a possibilidade de multiplicar a quantidade de relógios

(a) Formas únicas de continuidade no espaço, Umberto Boccioni, 1913.

(b) Dinamismo de um automóvel. Luigi Russolo, 1912.

(c) Dinamismo de um cão em uma coleira. Giacomo Balla, 1912.

Figura 4.63

marcando a mesma hora. A “hora certa” era distribuída por telégrafo a uma rede de relógios sincronizados. Com o avanço da rede ferroviária, a hora padronizada por telégrafo constituiu um tempo único e artificial, associado ao *horário ferroviário internacional*, substituindo o *horário solar local* de cada cidade. Os primeiros horários estabelecidos com precisão de minuto foram os horários de chegada e saída dos trens. Porém, já no final do século, em todas as fábricas que funcionavam com a força do vapor ou da eletricidade, os turnos de trabalho já precisavam ser cumpridos com precisão de minutos (REDONDI, 2010, p. 137-8). Assim, segundo Redondi, é contra o domínio desse tempo mecanizado e padronizado que passava a reger a dinâmica das vidas de todos que Bergson se insurgia.

Henri Poincaré publica em 1898, na revista parisiense “*Revue de metaphysique et de morale*”, um artigo sobre “A medida do tempo”, texto que é, depois, republicado como um capítulo do livro *O valor da ciência*, de 1905 (REDONDI, 2010, p. 138, 248). Como assinala Redondi, o fato de Poincaré publicar tal artigo em uma revista de filosofia demonstra seu interesse em dialogar com o livro *Ensaio sobre os dados imediatos da consciência*, que Bergson escreve em 1889.

Em seu texto, Poincaré começa por afirmar que “enquanto não se sai do domínio da consciência, a noção de tempo é relativamente clara” (POINCARÉ, 1995, p. 27). As noções de eventos simultâneos e de eventos em sucessão – que ele pretende problematizar – somente apresentam-se de forma segura, sem qualquer arbitrariedade, quando tratamos da experiência pessoal e subjetiva:

“Quando dizemos que dois fatos conscientes são simultâneos, queremos dizer que eles se interpenetram profundamente, de tal modo que a análise não pode separá-los sem mutilá-los. A ordem na qual dispomos os fenômenos conscientes não comporta qualquer arbitrariedade. Ela nos é imposta e não podemos mudá-la. Só tenho uma observação a acrescentar. Para que um conjunto de sensações se torne uma lembrança suscetível de ser classificada no tempo, é preciso que tenha cessado de ser atual, que tenhamos perdido o sentido de sua infinita complexidade, sem o que teria permanecido atual. É preciso que ela tenha, por assim dizer, cristalizado em torno de um centro de associações de ideias que será como uma espécie de etiqueta” (POINCARÉ, 1995, p. 27).

Reconhecemos nessa citação inclusive uma certa similaridade com relação à referência de Bergson à continuidade da duração, a estados que contêm uns aos outros, só podendo ser reconhecidos como distintos quando olhamos para trás e contemplamos suas marcas. Há, porém, a partir dessa experiência individual, tantos tempos quantas são as consciências individuais. Os problemas surgem, para Poincaré, portanto, quando se procura: (a) transformar o tempo psicológico, que é qualitativo, em um tempo físico quantitativo; e (b) passar do tempo abarcado por uma consciência individual a um tempo único que envolva todas as consciências e que envolva,

inclusive, eventos que não foram testemunhados por consciência nenhuma. São diversas as convenções relativamente arbitrárias envolvidas nesses processos. Portanto, o tempo científico não é, para Poincaré, o “tempo real”, mas um tempo convencional, pactuado.

Em sua argumentação, o autor procura demonstrar, tal como faz a propósito da noção de espaço, que a maneira como nos referimos a e como medimos o tempo não é a única possível, mas apenas provavelmente a mais conveniente, uma vez que, através dela, as leis físicas adquirem a forma “mais simples possível”. A parte que mais nos interessa de sua argumentação refere-se à reflexão a propósito da etapa (b) referida acima, sobre a constituição de um tempo único. O autor procura demonstrar a origem psicológica de nossa representação e crença na existência absoluta de um “instante do mundo”. Se a percepção subjetiva de fenômenos próximos permite saber com certeza se eles são ou não simultâneos, nossa imaginação de um conjunto gigantesco – potencialmente infinito – de fenômenos simultâneos que comporiam um instante do mundo deriva de uma identificação com um suposto ser que fosse capaz de ver a tudo de fora:

“Desejaríamos representar o universo exterior e só assim pensaríamos conhecê-lo. Sabemos que jamais teremos essa representação: nossa deficiência é grande demais. Desejamos ao menos que se possa conceber uma inteligência infinita, para a qual essa representação fosse possível, uma espécie de grande consciência que tudo visse, e que classificasse tudo *em seu tempo*, assim como classificamos, *em nosso tempo*, o pouco que vemos. (...) E contudo, quando falamos do tempo, no que se refere a tudo que passa fora de nós, não adotamos nós inconscientemente essa hipótese? Não nos colocamos no lugar desse deus imperfeito? E os próprios ateus não se põem no lugar onde estaria Deus, se ele existisse? O que acabo de dizer mostra talvez porque procuramos fazer entrar todos os fenômenos físicos num mesmo quadro. Mas isso não pode passar por uma definição da simultaneidade, já que essa inteligência hipotética, mesmo que existisse, seria para nós impenetrável. É preciso, pois, buscar outra coisa” (POINCARÉ, 1995, p. 33).

Para discutir como podemos chegar a uma definição consistente de eventos simultâneos distantes, Poincaré se pergunta, por exemplo, como procedem os marinheiros ou geógrafos quando querem determinar uma longitude e, para isso, “sem estar em Paris, devem calcular a hora de Paris” (POINCARÉ, 1995, p. 38). Uma das possibilidades que ele considera é justamente a utilização do telégrafo³¹, evidência da importância do desenvolvimento desse tipo de tecnologia para as reflexões a propósito da simultaneidade. Sem enunciar, nesse momento, uma definição operacional da simultaneidade, o autor leva em conta, entretanto, a necessidade de se levar em consideração a velocidade do sinal:

“Antes de mais nada, é claro que a recepção do sinal em Berlim, por exem-

³¹Poderíamos, talvez, comparar o papel que o telégrafo teve na revolução científica associada à relatividade Einsteiniana ao papel que o uso, por Galileu, da luneta teve na revolução Copernicana. Nos dois casos, esses instrumentos permitiram uma extensão dos sentidos humanos a escalas de espaço e tempo antes inacessíveis.

plo, é posterior à expedição desse mesmo sinal em Paris. É a regra da causa e do efeito analisada acima. Mas posterior, em quanto tempo? Em geral, negligenciamos a duração da transmissão e consideramos os dois eventos como simultâneos. Mas para sermos rigorosos, seria preciso ainda fazer uma pequena correção, através de um cálculo complicado; não a fazemos na prática, pois seria muito menor do que os erros de observação; nem por isso sua necessidade teórica deixa de subsistir, no nosso ponto de vista, que é o de uma definição rigorosa” (POINCARÉ, 1995, p. 38).

Ele afirma também – no que se prenuncia a teoria da relatividade restrita – que os astrônomos, quando afirmam que certo fenômeno, que observam naquele momento, aconteceu há, por exemplo, cinquenta anos, admitem que “a luz tem uma velocidade constante e, em particular, que sua velocidade é a mesma em todas as direções”, postulado que não pode ser verificado, e que “fornece uma nova regra para a pesquisa da simultaneidade” (POINCARÉ, 1995, p. 37).

Das situações consideradas por Poincaré, o primeiro exemplo problematizador que ele propõe a propósito da possibilidade de constituir um tempo único parece-me dos mais relevantes. O autor considera o exemplo histórico da observação, por Tycho Brahe, entre 1572 e 1574, de uma supernova, evento célebre, de resto, por corresponder à primeira observação conhecida da mutabilidade do mundo supra-lunar (REDONDI, 2010, p. 107-8). No presente contexto, porém, a questão relevante era o estabelecimento da ordem de ocorrência dos eventos <super-nova> — <“descoberta” da América> — <Tycho Brahe>:

“Em 1572, Tycho-Brahe notou no céu uma estrela nova. Uma imensa conflagração se produzia em algum astro muito distante, mas produzira-se muito tempo antes; foi preciso que se passassem pelo menos duzentos anos até que a luz que partia dessa estrela alcançasse nossa Terra. Portanto essa conflagração era anterior ao descobrimento da América. Pois bem, quando digo isso, quando considero esse fenômeno gigantesco que talvez não tenha tido nenhuma testemunha, já que os satélites dessa estrela talvez não tenham habitantes, quando digo que esse fenômeno é anterior à formação da imagem visual da ilha de Española na consciência de Cristóvão Colombo, o que quero dizer? Basta um pouco de reflexão para compreender que todas essas afirmações por si sós, não têm nenhum sentido. Só podem adquirir sentido a partir de uma convenção” (POINCARÉ, 1995, p. 32-3).

O questionamento envolvido nesse exemplo é relativamente sutil. Sabe-se, por alguma evidência de outra origem, que a nova estrela no céu estava a mais de 200 anos-luz da Terra. Sabe-se também que a chegada de Colombo à América ocorreu, com relação à observação da supernova, há menos de 100 anos. O que há de relativo ou convencional em concluir que a supernova é anterior a Colombo?

Apesar do anacronismo envolvido, vale a pena discutir esse exemplo através de uma representação espaço-temporal que faça uso dos cones de luz que, no contexto da teoria da relati-

vidade, permitem-nos distinguir intervalos “tipo espaço”, de intervalos “tipo-tempo” ou “tipo-luz” (figura 4.64). A certeza de que a observação de Tycho é posterior à supernova advém de uma distinção simples entre causa e efeito: ele só pode ter observado algo que ocorreu antes do momento de sua observação. A certeza de que a observação de Tycho é também posterior a Colombo também deriva de uma distinção, um pouco mais complexa, entre causas e efeitos. Tycho sabia da existência de Colombo e de suas peripécias, embora Colombo não tivesse como saber da existência de Tycho e de suas observações. Entretanto, entre a supernova e Colombo não há (nem pode haver, segundo a teoria da relatividade³²) qualquer relação do tipo causa e efeito. Portanto, a ordem temporal desses dois eventos só pode se dever a uma convenção. De fato, tanto isso é verdade que, no contexto da teoria da relatividade, será possível demonstrar, sendo o intervalo entre esses eventos do “tipo-espaço”, que existe um referencial segundo o qual a explosão da supernova ocorre depois da chegada de Colombo à América, assim como existe um (outro) referencial segundo o qual esses dois eventos ocorrem exatamente ao mesmo tempo! É, para mim, surpreendente que Poincaré tenha se dado conta do caráter convencional da ordenação temporal desses eventos antes do desenvolvimento matemático-teórico que explicitaria a convenção envolvida.

Figura 4.64

A reflexão de Poincaré partiu, como vimos, de um tempo subjetivo e da distinção que esse tempo subjetivo permite estabelecer entre eventos simultâneos e eventos que sucedem-se uns aos outros. Já a discussão que Einstein desenvolve em seu artigo de 1905 não problematiza a percepção subjetiva de eventos simultâneos, mas apenas a sua definição operacional através de mensurações. Com relação à percepção de eventos próximos, ele simplesmente afirma, em uma nota de rodapé, que “não discutiremos aqui a imprecisão inerente ao conceito de simultaneidade de dois eventos que ocorrem (aproximadamente) no mesmo lugar, que pode ser eliminada apenas por uma abstração” (EINSTEIN, 2005a, p. 145). Por outro lado, de maneira bastante similar

ao que é sugerido (mas não explicitado) por Poincaré, ele propõe *definir* a simultaneidade de eventos distantes através de uma convenção. A esse respeito, cabe ressaltar que Einstein, trabalhando no escritório de patentes de Berna, foi testemunha privilegiada de sistemas de sinalização e coordenação de redes de relógios elétricos, nova evidência da importância dessa transformação tecnológico-social para a criação da teoria da relatividade (REDONDI, 2010, p.

³²Para que a supernova pudesse, de alguma forma, ter influenciado a existência de Colombo seria necessário que algum sinal viajasse a uma velocidade maior que a da luz o que, segundo a teoria da relatividade, é impossível. É esse fato que faz com que o intervalo entre esses dois eventos seja considerado do “tipo-espaço”.

140). O “arranjo bastante mais prático” para a medida de tempo que Einstein propõe envolve justamente a criação de uma rede de relógios sincronizados capaz de medir sempre localmente o tempo de cada evento. O elemento chave é a definição fornecida para a sincronização dos relógios:

“Até agora definimos apenas um <instante de tempo A> e um <instante de tempo B>, mas não um <instante de tempo comum> a A e B. Mas este instante pode ser agora determinado estabelecendo-se, *por definição*, que o <tempo> necessário para a luz ir de A até B é igual ao <tempo> necessário para ir de B até A. Pois suponha-se que um raio de luz que parta de A para B, no <instante de tempo A de t_A >, seja refletido de B para A no <instante de tempo B de t_B > e chegue de volta a A <no instante de tempo A de t_A^f >. Os dois relógios estarão sincronizados, por definição, se $t_B - t_A = t_A^f - t_B$ ” (EINSTEIN, 2005a, p. 146).

Tal como pronunciado por Poincaré, a suposição da constância da velocidade da luz em todas as direções é o pressuposto que permite uma “nova regra para a pesquisa da simultaneidade”. Com Einstein, entretanto, esse tempo, obtido inicialmente a partir de uma convenção, tornar-se-á não apenas uma definição conveniente, mas a expressão de uma “verdade da natureza”. Em associação com essa definição de simultaneidade, o caráter absoluto da velocidade da luz – igual para todos os referenciais – leva à inevitável conclusão de que a noção de simultaneidade não é absoluta e permite o cálculo da forma exata que ela adquire para cada referencial, quer dizer, para cada sistema de relógios sincronizados, dotados, todos, de uma mesma velocidade com relação a um outro sistema de relógios sincronizados.

Se aceitamos a interpretação de Pietro Redondi de que a filosofia da duração de Bergson se insurgia contra a hegemonia de um tempo exterior, perfeitamente sincronizado, que passou a regular a dinâmica de nossas vidas, podemos compreender que o tempo relativístico de Einstein não tenha representado, para ele, um avanço. Afinal, o tempo “verdadeiro” (embora dependente do referencial), para Einstein, é justamente aquele resultante da sincronização de múltiplos ponteiros de relógio, não se relacionando a nenhuma percepção do *devenir* de nosso estado interior. Em seu livro “*Duração e simultaneidade*”, de 1922, Bergson procura estabelecer uma nova interpretação filosófica da teoria da relatividade, que procurasse ao mesmo tempo garantir a validade de sua intuição filosófica da temporalidade. O seu fracasso nessa proposição (ao menos no que se refere a qualquer tipo de impacto na comunidade científica), entretanto, não implica que tenha sido superado o conflito entre essa regulação exterior do tempo e nossos cada vez mais tênues esforços de sustentar alguma regulação interior do tempo de nossas vidas. Muito pelo contrário, aliás, como o demonstra a cada vez mais completa regulação temporal de nossa vida social³³.

³³Ao mesmo tempo, um problema científico de alguma forma correlato a esta questão social associa-se ao conflito entre a temporalidade associada a sistemas mecânicos reversíveis e aquela associada a sistemas termodi-

4.11.4 Espaço-tempo e a interpretação das transformações de Lorentz.

Em que sentido o caráter relativo da simultaneidade que acabamos de discutir acarreta na necessidade de fundir espaço e tempo em um *continuum* quadridimensional em que, por exemplo, o movimento de uma partícula seja representado por uma linha estática? Em que sentido a representação separada da espacialidade e da temporalidade torna-se menos relevante ou menos legítima que a representação espaço-temporal? A compreensão dessas perguntas envolve a constituição de uma interpretação das chamadas *transformações de Lorentz*, as transformações que permitem relacionar, no contexto da relatividade restrita, as medidas espaciais e temporais de um certo evento segundo dois referenciais distintos. Desenvolver interpretações dessas transformações através de um diálogo com o contexto mais amplo de debates em torno à percepção do espaço e do tempo que desenvolvemos acima parece-me um desafio particularmente relevante por permitir a discussão de um tema mais técnico *através* de um caminho que não privilegie apenas a sua dimensão algorítmica, mas valorize também – e especialmente – os *sentidos* que podemos extrair a partir daí.

Consideremos, em primeiro lugar, um exemplo particular de movimento de um conjunto de corpos e procuremos representá-lo, segmentando espaço e tempo, a partir de dois referenciais distintos³⁴. Como é típico em problemas desse tipo, consideramos o caso de um trem que

nômicos irreversíveis. Entre os sistemas termodinâmicos irreversíveis, aqueles que, devido a constantes trocas de energia (e de entropia) com o ambiente à sua volta, permanecem longe do equilíbrio e desenvolvem estruturas cada vez mais complexas de “funcionamento”, em um processo de “auto-organização”, envolvem uma temporalidade irreversível de complexidade crescente que se aproxima, talvez, das concepções de tempo e duração bergsonianas. Pelo menos, assim entendia Ilya Prigogine, cientista que procurou encontrar no estudo desses sistemas termodinâmicos complexos a possibilidade de uma “nova aliança” entre o pensamento científico e o humanista. Não cabendo aqui o desenvolvimento desses temas, cito apenas uma passagem de Prigogine:

“Em especial, nenhuma teoria científica, como tal, deveria bastar para justificar uma redução do tempo parecida à que opera a dinâmica clássica. Negar o tempo, isto é, reduzi-lo ao desenvolvimento determinista duma lei reversível, é renunciar à possibilidade de uma concepção de natureza que a defina como capaz de produzir os seres vivos e, singularmente o homem; é portanto, condenar-se à alternativa entre uma filosofia anticientífica e uma ciência alienante. Dissemos repetidas vezes que a nossa ciência não é mais a ciência clássica que Bergson criticava. (...) Hoje podemos olhar para trás e ver que o que se soltava no seio daquilo que foi vivido na confusão não era mais do que a primeira resposta científica ao problema da complexidade natural, assim como à transformação cultural e técnica do mundo, à morte do mundo clássico” (PRIGOGINE; STENGERS, 1984, p. 79).

³⁴Para “retirar do foco” a dimensão algorítmica do problema (que, no caso desse tipo de problema, está longe de ser a parte mais difícil), as imagens aqui apresentadas – que foram retiradas de uma animação computacional que desenvolvi para abordar o tema em sala de aula – já apresentam “prontos” os resultados que seriam obtidos ao calcular as transformações entre um referencial e outro. Como discutiremos mais adiante, o foco da atividade pedagógica passa a ser, então, o desenvolvimento da leitura e interpretação das imagens. A animação a que fiz referência (CROCHIK, 2012) pode ser encontrada em www.fig.if.usp.br/~crochik/pe1/animacao.html. Para

atravessa um túnel... No referencial do túnel, eis como descrevemos a situação, “quadro a quadro” (figura 4.65, à esquerda):

descrição geral: o trem se desloca à metade da velocidade da luz $v = 0,5c$ e possui exatamente o mesmo comprimento que o túnel;

quadro 1: o trem começa a entrar no túnel, quer dizer, sua frente coincide com a entrada do túnel; um pulso de luz (ou um fóton) parte de seu extremo esquerdo, indo para a direita, e outro pulso de luz (fóton) parte de seu extremo inferior, dirigindo-se para cima e para a direita, em uma diagonal;

quadro 2: metade do trem está dentro do túnel, o fóton que se deslocava para cima atinge o extremo superior do trem e é refletido;

quadro 3: o trem está inteiro dentro do túnel, o fóton que se deslocava para a direita atinge a frente do trem e é refletido, enquanto o fóton que se deslocava para baixo atinge a extremidade inferior e é refletido;

quadro 4: metade do trem já está fora do túnel, o fóton que se deslocava para cima atinge a extremidade superior do trem e é refletido;

quadro 5: o trem saiu completamente do túnel, o fóton que se deslocava para baixo atinge a parte de baixo do trem, sendo refletido.

Analisando a mesma situação a partir do referencial do trem (figura 4.65, à direita), notamos algumas diferenças. Em primeiro lugar não é o trem que se move, mas o túnel, que se desloca à metade da velocidade da luz. Além disso, o fóton que se deslocava para cima e para direita, em uma diagonal, agora desloca-se apenas para cima (ou para baixo). Em segundo lugar, trem e túnel não têm mais o mesmo tamanho. Comparando com os tamanhos que eles tinham segundo o referencial do túnel, o trem tornou-se maior e o túnel menor, de forma que, segundo o referencial do trem, ele é maior que o túnel. Isso faz com que o trem não “caiba” mais inteiro dentro do túnel. Em quarto lugar, se comparamos os valores de tempo associados a cada quadro nos dois referenciais, vemos que eles são distintos e, além do mais, não parecem modificar-se, de um a outro referencial, segundo nenhuma regra simples.

Exceto, talvez, pelo primeiro contraste apontado entre as representações obtidas de acordo com cada referencial, todos os demais parecem bastante estranhos. Como compreendê-los?

executá-la é necessário instalar o programa Wolfram CDF-player, de distribuição gratuita (as indicações estão no próprio site da animação).

Figura 4.65: Atravessamento entre um trem e um túnel de acordo com os referenciais do túnel e do trem. Os pequenos círculos representam pulsos de luz que se deslocam para a direita e para esquerda e para cima e para baixo.

Se compararmos, em cada linha da figura, as representações segundo o referencial do túnel e do trem, vemos que os quadros não apresentam as mesmas “situações”. Por exemplo, na primeira linha, de acordo com os dois referenciais, o trem está prestes a entrar no túnel, ou seja, a frente do trem coincide com a entrada do túnel. Entretanto, nada mais é semelhante: se, de acordo com o referencial do túnel, os fótons estavam nos extremos esquerdo e inferior do trem, isso não ocorre de acordo com o referencial do trem. E se compararmos cada linha dessas figuras, encontraremos, de maneira similar, um mesmo evento que ocorre naquele instante segundo os dois referenciais e uma série de outros que não. A terceira linha, segundo cada referencial, é, talvez, a que mais chama atenção, uma vez que, segundo o referencial do túnel os dois extremos do trem coincidem com os dois extremos do túnel, mas, segundo o referencial do trem não; o único evento que ocorre igualmente, segundo os dois referenciais, no instante representado nessa linha, é a chegada do fóton ao extremo inferior do trem. Quer dizer: o que um referencial, com seu sistema de relógios sincronizados, chama de “um instante do mundo” não corresponde ao que o outro referencial, com seu outro sistema de relógios sincronizados, chama de “um instante do mundo”. Não é possível construir nenhuma associação que faça equivaler um instante de um referencial a um instante do outro referencial. É o que explica Einstein a seu amigo Michele Besso, criticando-o por acreditar que “só o que existe” é o momento presente:

“Você não leva a sério as quatro dimensões da relatividade e considera o presente como se ele fosse a realidade única. O que você chama de ‘mundo’ corresponde, na terminologia da física, a ‘seções espaciais’ para as quais a teoria da relatividade, mesmo a relatividade especial, nega realidade objetiva” (EINSTEIN, apud LEVRINI, 2002, p. 611).

“A teoria da relatividade, mesmo a relatividade especial, nega *realidade objetiva* ao mundo”! – entendendo esse “mundo” como o seu suposto “estado presente”. A não-objetividade alegada por Einstein deriva das distintas representações desse “estado presente” realizadas por distintos referenciais. É interessante, então, que, para ele, essa não-objetividade implica a negação de “realidade”. Quer dizer: merecem receber o estatuto de “realidade objetiva” aquelas entidades que não dependam do referencial. Aquelas entidades que, tais como o espaço e o tempo, são dependentes do referencial, assim como ocorre no mito da caverna de Platão, tornam-se meras sombras da realidade objetiva. Nas palavras de Minkowski:

“As visões de espaço e tempo que eu gostaria de expor a vocês surgiram da física experimental, e aí reside a sua força. Elas são radicais. De agora em diante o espaço em si e o tempo em si estão condenados a desvanecer em meras sombras, e apenas um tipo de união das duas preservará uma realidade independente” (MINKOWSKI, apud LEVRINI, 2002, p. 605).

Tal como ocorre em um teatro de sombras, em que algumas sombras diminuem, outras aumentam e é difícil perceber o que exatamente as faz diminuir ou aumentar, em nossa repre-

sentação puramente espacial do movimento, é difícil perceber qual a regra subjacente a todas as mudanças que ocorrem de um referencial a outro. Se procuramos compreender essas diferenças aplicando *ingenuamente* as “máximas” associadas à “contração dos comprimentos” e à “dilatação do tempo”, ficamos perplexos: os comprimentos não deveriam, na figura 4.65, ter diminuído no referencial do trem, que é “o referencial em movimento”? Os tempos não deveriam ter aumentado? Entretanto, observando com atenção vemos que alguns comprimentos aumentaram e outros diminuíram, o mesmo ocorrendo como os intervalos temporais. Só seremos, portanto, capazes de identificar algum padrão nessas transformações ao construir representações espaço-temporais do movimento.

Figura 4.66

Se realizarmos um procedimento mais ou menos “análogo” à técnica que Duchamp batizou de “paralelismo elementar”, repetindo a figura do trem para mostrar seu movimento, obtemos uma figura como a 4.66. Nem é preciso realçar o empobrecimento da criação de Duchamp que realizamos com essa analogia. . . Por isso, talvez valha a pena enfatizar que evidentemente não tenho nenhuma pretensão de “reduzir” sua obra a esse procedimento. De qualquer forma, podemos ver nessa figura os rastros associados ao movimento de cada partícula (de cada fóton, por exemplo).

Em nossa representação “estática”, o movimento de uma partícula é transformado em uma linha. Como nossas representações espaciais originais eram bidimensionais, podemos organizar essa sobreposição de espaços em um terceiro eixo temporal e observar a construção tridimensional resultante “em perspectiva” (figura 4.67a).

É importante observar que, em todas as nossas representações deste movimento (desde a figura 4.65), colocamo-nos sempre no ponto de vista privilegiadíssimo de um ser capaz de ver o espaço “de fora”. Como a esfera no conto *Flatland*, somos capazes, em nossos desenhos, de ver ao mesmo tempo o interior e o exterior do trem, assim como suas paredes. Nada, a não ser o tempo, nos está oculto no movimento bidimensional que criamos. Como Poincaré observou, a identificação com esse suposto semi-deus onisciente nos torna convictos da existência absoluta do que aqui chamamos de “um instante do mundo”. Entretanto, a teoria da relatividade restrita nos ensina que essa representação “exterior” do espaço que realizamos é dependente de nossa velocidade relativa (quer dizer, da velocidade relativa do sistema de relógios sincronizados que imaginamos para construí-la).

Assim, do ponto de vista de um referencial em repouso com relação ao trem (figura 4.67b), vemos o rastro “inclinado” do solo e do túnel, enquanto o rastro do trem permanece perpen-

Figura 4.67: Representação espaço-temporal do movimento segundo distintos referenciais, obedecendo à relatividade Einsteiniana. Para seguir o movimento respeitando a sequência temporal dos eventos, deve-se ler o gráfico do fundo para a frente.

dicular ao plano espacial xy , indicando seu repouso. O que a representação espaço-temporal nos permite (mas a representação apenas espacial não permitia) é identificar a relação de correspondência entre pontos e linhas que é possível estabelecer de uma figura a outra. Assim, por exemplo, notamos que as linhas horizontais paralelas ao plano figurativo (direção x) da figura 4.67a são transformadas, na figura 4.67b, em linhas horizontais oblíquas (pertencentes ao plano xt). Quer dizer: o conjunto de eventos que ocorriam em um mesmo instante segundo o referencial do túnel, no referencial do trem ocorrem em diversos instantes distintos.

Observando essas relações de correspondência, notamos que a operação de mudança de referencial pode ser comparada a uma transformação “plástica” do espaço-tempo, em que sua estrutura “global” permanece essencialmente a mesma, mas as diversas direções sofrem alguma alteração. É instrutivo investigar, nessa representação gráfica, que tipo de transformação é essa.

Com esse objetivo, é interessante observar o movimento espaço-temporal também de um outro ponto de vista. A figura 4.68 corresponde à observação da figura 4.67 “de cima”. Desse ponto de vista, observamos apenas as direções x (que é a direção do movimento) e t . Assim, para cada instante representado no gráfico, trem e túnel correspondem cada um a uma linha unidimensional (azul e rosa, respectivamente) delimitada pelas retas pretas que descrevem o movimento de seus extremos.

Antes de procurarmos identificar qual é a exata transformação operada de uma figura a outra, vejamos algumas propriedades suas que podemos perceber da comparação entre as duas imagens nessa figura³⁵:

³⁵É bem verdade que não é tão fácil identificar essas propriedades diretamente apenas pela observação das figuras. Porém, como já escrevi anteriormente, essas imagens são recortes de uma animação que produzi e que

Figura 4.68: Representação espaço-temporal do movimento de atravessamento entre trem e túnel. As mudanças de referencial obedecem à relatividade Einsteiniana. Estão representadas a direção espacial x , associada ao movimento do trem, e a direção temporal t .

caráter absoluto da velocidade da luz: as direções associadas ao movimento dos fótons para a direita e para a esquerda (retas amarelas) permanece com a mesma inclinação segundo os dois referenciais;

o comprimento de repouso é máximo: vemos que o túnel (em rosa na figura) possui comprimento máximo $\delta l_{tu}^0 = 3$ no referencial em que *ele* está em repouso, quer dizer, no referencial do próprio túnel. Da mesma forma, o trem (em azul) também possui comprimento máximo $\delta l_{tr}^0 = 3,46$ no referencial em que *ele* está em repouso, quer dizer, no referencial do próprio trem;

o tempo de repouso é mínimo: vemos que o intervalo temporal δt_1 entre o início da entrada do trem no túnel (a coincidência $Ftr - Etu$ da frente do trem com a entrada do túnel) e o início da saída do trem (a coincidência $Ftr - Stu$ da frente do trem com a saída do túnel) é mínimo ($\delta t_1^0 = 5,2/c$) no referencial do trem, onde esses dois eventos ocorrem *no mesmo lugar* (ou seja, na frente do trem). Da mesma forma, vemos que o intervalo temporal δt_2 entre o início da saída do trem ($Ftr - Stu$) e a sua completa saída ($Ttr - Stu$) é mínimo ($\delta t_2^0 = 6/c$) no referencial do túnel, onde também esses dois eventos ocorrem *no mesmo lugar* (ou seja, na saída do túnel).

Será possível visualizar qual a operação “plástica” que ocorre na transformação de um referencial a outro? Um pressuposto fundamental que motivou historicamente a construção das transformações de Lorentz é o caráter absoluto da velocidade da luz. Esse pressuposto se explicita nas imagens, como discutimos, pela inclinação igual em qualquer referencial das retas

permite manipular a imagem, observando a representação do movimento a partir de *qualquer* referencial. Através dessa manipulação, reconhecer as propriedades listadas torna-se um exercício mais viável.

Figura 4.69: Demonstração das propriedades das transformações de Lorentz. As direções associadas à velocidade da luz permanecem constantes e as áreas dos retângulos marcados também. Assim a aplicação sucessiva de $T_L(\vec{v})$ e $T_L(-\vec{v})$ levam ao referencial inicial e a aplicação sucessiva duas vezes da transformação $T_L(\vec{v})$ é equivalente à aplicação de $T_L(\vec{w})$ para uma outra velocidade $\vec{w}$. Diferentemente do que acontece com a transformação de Galileu, porém, $\vec{w} \neq 2\vec{v}$.

associadas ao movimento de fótons. Entretanto, a inclinação de todas as outras retas (quer dizer, o valor de velocidades diferentes de c) se transforma. Como isso é possível? Na figura 4.69, desenhamos uma “grade” de linhas cuja inclinação é associada à velocidade da luz (para a direita e para a esquerda). Vemos que, como essa inclinação permanece constante, a transformação entre referenciais pode envolver apenas um “esticamento” de uma dessas direções e uma “contração” da outra. A conjunção do “esticamento” de uma direção e da “contração” da outra provocam, entretanto, uma espécie de “giro” em todas as outras direções.

Como apenas essas duas direções ficam constantes, vemos que todas as outras se modificam, o que inclui a modificação, nessas figuras, da direção “horizontal”, direção na qual o tempo é constante e que corresponde, portanto, ao que chamamos de um “instante do mundo”. Novamente vemos como a constância da velocidade da luz implica a relatividade da simultaneidade. Ao garantir, além disso, que a área dos retângulos marcados na figura permaneça constante, por uma proporcionalidade recíproca entre o “esticamento” e a “compressão” operadas, as transformações de Lorentz permitem conectar um referencial qualquer a qualquer outro, de maneira que não exista um referencial privilegiado, associado a um suposto “repouso absoluto”.

Dilatação do tempo e contração dos comprimentos. Optei, na discussão acima, por não utilizar as expressões “dilatação do tempo” e “contração dos comprimentos”. Ao invés delas, notei que “o comprimento de repouso é máximo” e o “tempo de repouso é mínimo”, o

que é a própria definição dessas expressões. Entretanto, uma leitura ingênua das expressões “dilatação do tempo” e “contração do espaço” nos levaria a associá-las à imagem de que “para uma pessoa em movimento, o espaço contrai e o tempo dilata”: pareceria que o mundo fica menor e o tempo mais lento para aquele que se move. Mas, se o “mundo inteiro” fica menor, como essa pessoa poderia perceber? Sem problematizar a relatividade da simultaneidade e do movimento, essas expressões perdem-se em um emaranhado de paradoxos sem sentido.

Apesar de sua popularidade, os termos *dilatação do tempo* e *contração do espaço* apresentam uma série de dificuldades de entendimento. Por um lado, como falar em contração de comprimentos quando, segundo a figura 4.68, na passagem de um referencial a outro, o tamanho do trem aumentou e o do túnel diminuiu? Quando um intervalo temporal aumentou e outro diminuiu? A nomenclatura de dilatação temporal e contração espacial possui o inconveniente adicional de dar a impressão de que a mudança de referencial atua diretamente sobre os corpos e cronômetros, contraindo-os e fazendo-os funcionar mais devagar. Como já discutimos, a mudança de referencial, assim como a mudança de perspectiva na observação de um objeto tridimensional, transforma nossa experiência de observação e medida do movimento e não os objetos em si. Lévy-Leblond (2004, p. 137), propõe como alternativa a esta nomenclatura, em consonância com a compreensão do espaço e tempo como sombras, a noção de “paralaxe espaço-temporal”.

Nossa medida de distâncias espaciais e de intervalos temporais corresponde a projeções respectivamente no (hiper-)plano $xy(z)$ e na direção temporal t . Se a transformação de referencial modifica a inclinação desse plano e dessa reta, é natural que as medidas de distância e tempo se modifiquem também. É nesse sentido que Lévy-Leblond associa esses fenômenos a uma paralaxe espaço-temporal.

Você mede o comprimento de uma mesa atrás de uma vitrine utilizando uma régua encostada na vitrine. Mas a mesa está torta com relação à vitrine; você mede um comprimento menor. A mesa sofreu uma contração?

“É claro que não! Você sabe muito bem que se trata de um simples efeito de perspectiva, ou melhor de paralaxe, devido ao fato de os dois eixos, da borda da mesa e da régua não terem a mesma orientação: para se obter uma boa medida de comprimento, por definição, é preciso que as direções da distância a ser medida e da régua coincidam. Você também sabe que, a partir de uma ‘má’ medida, feita de forma oblíqua, pode-se calcular o comprimento exato, corrigindo o resultado afetado pela paralaxe” (LÉVY-LEBLOND, 2004, p. 136).

A associação entre a mudança de referenciais e a mudança de perspectiva na observação de um objeto no espaço é, como qualquer outra imagem, bastante interessante e útil, mas possui também suas limitações, a respeito das quais é necessário tomar cuidado. Quando falamos

da mudança de comprimento “aparente” ao observarmos o tamanho de um objeto que esteja inclinado com relação a uma vitrine, sabemos que este é um efeito de simples *aparência*, e que o comprimento do objeto não se modificou de fato. Já com a mudança de referencial, o comprimento espacial de um objeto, medido com todos os cuidados que uma medida de comprimento demanda, se modifica de fato. Trata-se de um fenômeno objetivo e real, que, entretanto, se deve ao movimento relativo entre os sujeitos que realizam a medida e o objeto de medida.

Por outro lado, a expressão “todos os cuidados que uma medida de comprimento demanda” precisa ser esclarecida. Um elemento de cuidado necessário à medida de comprimento refere-se à necessidade de medir a posição dos dois extremos do objeto em um *mesmo instante de tempo*. Evidentemente, se alguém mede o comprimento de um objeto que se move através da comparação da posição de um de seus extremos no instante t_1 com a posição do outro extremo no instante $t_2 = t_1 + \delta t$, este objeto parecerá ter um comprimento diferente do que teria se estivesse em repouso. Esse tipo de fenômeno pode modificar, por exemplo, a impressão visual de tamanho de um objeto, uma vez que a luz que parte de um extremo do objeto até o olho do observador pode demorar menos tempo que a luz que parte do outro extremo do objeto. Não é, entretanto, a esse tipo de fenômeno que nos referimos ao falar de contração de comprimentos e, por isso, enfatizamos que se trata de um fenômeno real, não aparente. Porém, poderíamos também, à luz da teoria da relatividade, acrescentar um novo ingrediente ao rol de “cuidados que uma medida de comprimento demanda”: como a noção de simultaneidade é relativa, exigiríamos também que a medida da posição dos dois extremos do objeto se realizasse não apenas em um mesmo instante, mas também por dois observadores em repouso com relação ao objeto (de maneira que a noção de instante do observador coincidissem com a noção de instante “do objeto”). Se interpretarmos que uma medida de distância só é correta e “real” se esse cuidado for tomado, então podemos interpretar a contração dos comprimentos como um fenômeno “aparente”, um efeito da paralaxe espaço-temporal, devido à inclinação espaço-temporal do objeto (ou seja, devido à sua velocidade relativa) com relação ao referencial em que o observamos.

4.11.5 Atividades e reflexões desenvolvidas em torno à teoria da relatividade restrita

As atividades desenvolvidas, no contexto da disciplina *Oficina de Projetos*, a propósito da teoria da relatividade restrita, como as demais anteriormente comentadas, não tinham por objetivo “ensinar”, em uma primeira abordagem, certos elementos mínimos associados à sua compreensão. Trata-se, ao invés disso, de abordá-la em linha de continuidade com as demais formas de relatividade discutidas anteriormente, mantendo o foco na experiência estética do

espaço e tempo físicos.

Ao mesmo tempo, o interesse é o de desenvolver um aprofundamento do olhar e não uma abordagem panorâmica³⁶. As duas atividades aqui propostas, então, enfocaram a observação e leitura de imagens. Em um caso, o desafio envolvido era o de estabelecer uma leitura das imagens reproduzidas nas figuras 4.67 e 4.68, associadas à animação computacional que produziu a propósito das transformações de Lorentz. As perguntas que nortearam o desenvolvimento dessa leitura – bem como suas respostas comentadas – estão expostas no apêndice A. Sendo essa leitura desenvolvida em uma dinâmica que, de maneira similar aos jogos anteriormente trabalhados, demandava dos grupos formados não uma entrega de respostas por escrito, mas a exposição, para o conjunto da turma, das leituras estabelecidas a propósito de cada questão, foi possível criar um ambiente de debate a propósito da interpretação das figuras e da própria animação, estimulando assim um progressivo detalhamento do olhar. O fato de essas imagens condensarem uma quantidade de informações e ensejarem uma quantidade de reflexões, que poderiam preencher parte significativa de uma disciplina cujo foco estivesse associado ao aprendizado formal da teoria da relatividade restrita, demonstra o valor de uma imagem e a importância de sua demorada “apreciação”.

A mesma qualidade de olhar, então, foi também solicitada em uma segunda atividade, descrita no apêndice B, agora a propósito de quatro quadros de artistas de diferentes escolas e momentos históricos e de 9 fragmentos textuais de diferentes escritores, sejam eles filósofos, artistas ou cientistas. De maneira provocativa, a atividade demandava que se desenvolvesse uma “leitura” das imagens e uma “visualização” dos fragmentos textuais. Para isso, devia-se relacionar cada fragmento a uma ou mais imagens. Evidentemente, essas associações não se vinculam a algum “gabarito” de respostas corretas, mas servem como um elemento motivador para o estabelecimento das leituras e visualizações propostas. Novamente, a dinâmica da atividade envolvia uma exposição justificada dos grupos a respeito das leituras e visualizações que construíram. Na primeira vez que propus essa atividade, confesso que me surpreendi com a qualidade das leituras realizadas pelos estudantes. Nas vezes seguintes, me acostumei. Frequentemente subestimamos a sensibilidade e mesmo a capacidade de interpretação e compreensão dos estudantes apenas por não criarmos o espaço para que elas se manifestem. Se o espaço é criado, porém, salta aos olhos como a educação poderia ser mais rica e prazerosa se multiplicasse esses momentos.

³⁶Inicialmente, supus que os estudantes com quem trabalhava estariam cursando em paralelo uma outra disciplina que abordaria mais tecnicamente a teoria da relatividade. Entretanto, os diferentes percursos acadêmicos de cada estudante demonstraram que essa hipótese correspondia mais à exceção do que à regra.

Contribuições de estudantes. Tendo sido um assunto trabalhado na parte final do semestre letivo, a discussão da teoria da relatividade restrita estimulou um número menor de produções discentes, que demonstram, também, um contato mais recente e não tão apropriado com o assunto.

A referência a imagens que, de alguma forma, corporifiquem uma reflexão por vezes bastante abstrata revelou-se importante em boa parte das produções discentes. Na figura 4.70, temos alguns exemplos que demonstram isso. A litografia de Escher, na figura 4.70a, de nome “*Relatividade*” é particularmente interessante por associar, tal como fizemos neste espaço curricular, a noção de relatividade à relatividade da direção vertical. É o que explica a seguinte citação do artista, também incluída pelo aluno na contribuição:

“Três planos de gravitação agem aqui verticalmente uns sobre os outros. Três superfícies terrestres, vivendo em cada uma delas seres humanos, intersectam-se em ângulo recto. Dois habitantes de mundos diferentes não podem andar, sentar-se ou ficar em pé no mesmo solo, pois a sua concepção de horizontal e vertical não se conjuga. Eles podem, contudo, usar a mesma escada. Na escada mais alta das aqui representadas, movem-se, lado a lado, duas pessoas na mesma direção. Todavia, uma desce e a outra sobe. É claramente impossível um contacto entre ambas, pois vivem em mundos diferentes e não sabem, portanto, da existência uma da outra”.

(Texto de Escher incluído em contribuição de estudante ao *blog* da disciplina).

É surpreendente o encontro, por este estudante, de uma “citação” desta obra de Escher em um vídeo do filme *A família Addams*, como registrado no alto da figura 4.70b. Neste mesmo filme, o estudante interessa-se pela referência a um trem, que atravessa a própria casa da família, como se vê na parte de baixo da mesma figura. É também a imagem dos trilhos de um trem, fundida à imagem de um relógio, que outro estudante utiliza para ilustrar um texto seu, de título “*Relação espaço-tempo*”, em que reflete sobre possibilidades de viagem no tempo (figura 4.70c). Nestas duas imagens, os trilhos se alinham em direção a um horizonte que se torna tanto mais distante quanto mais se afunila em um ponto de fuga, que simboliza, no caso da figura 4.70c, explicitamente um passado ou futuro distantes em direção ao qual, podemos, talvez, viajar.

O interesse em realizar uma reflexão que busque captar o significado de expressões associadas à dilatação do tempo e à contração dos comprimentos também pode ser encontrado na contribuição de um estudante que cito a seguir, de título “*Relatividade Einsteiniana: deixe ela pingar de gota em gota no teu juízo!*”:

“Na atividade sobre Relatividade, que infelizmente não pude participar de suas discussões, observei um aspecto nela tratado no texto “O pensar e a prática da

(a) ESCHER, M.C. Relatividade, litografia, 1953. Postado por aluno no *blog* da disciplina.

(b) Instantâneos extraídos de vídeo postado por aluno, da “*Família Addams*”.

(c) Imagem inserida por aluno em postagem no *blog*, de título “*Relação espaço-tempo*”.

Figura 4.70

ciência” (LÉVY-LEBLOND, 2004). A atividade nos propunha dois referenciais, um no túnel e outro no trem e é justamente sobre este último que venho retratar.

Quando li o gráfico ct por x foi difícil aceitar que o comprimento do trem variou devido à dilatação do espaço (sobre esta nomenclatura o texto faz uma crítica riquíssima). Como pode isso acontecer se o referencial está no trem?!! Imagine você passageiro num trem à $0,4c$; será que iria perceber a variação do comprimento do trem? Não, pois você estaria na mesma condição do trem. Esta intriga que o texto esclareceu-me pois neste referencial há dois pontos de vista, o que está no interior do trem e o que está fora do trem. O texto coloca isto fazendo analogia à paralaxe, diferença de posição aparente.

Mas será isso mesmo? Não por ainda ter dúvidas mas por não ter mais intrigas sobre o assunto [sic].

(fragmento de contribuição de estudante, publicada no *blog* da disciplina).

A frase: “neste referencial há dois pontos de vista, o que está no interior do trem e o que está fora do trem” nos faz pensar. Embora seja tecnicamente imprecisa, ela expressa, talvez, um elemento importante de compreensão a respeito da noção de referencial, que é frequentemente mal compreendido, a saber: o fato de que a mudança de referencial não altera em nada a maneira como um observador no trem ou na estação realiza suas medidas e cálculos. Frequentemente cria-se a impressão – e de fato as expressões *contração espacial* e *dilatação temporal* contribuem para a constituição deste equívoco – de que uma mudança de referencial *realiza* algum tipo de ação física sobre o mundo. Por essa interpretação, como no referencial do túnel o trem estaria de fato menor, um passageiro dentro do trem (mas *representado* segundo o referencial do túnel) *deveria* perceber sua modificação de tamanho. Compreender que não é esse o caso demanda, porém, a aceitação de que as medidas de comprimento e tempo não são absolutas, mas exprimem sempre uma relação entre eventos e um certo observador. O fato de escolhermos a representação de um observador em particular (correspondente ao referencial adotado) não interfere em nada na relação que outro observador tem com os mesmos fenômenos.

Por outro lado, a citação acima possivelmente revela também uma má compreensão da situação exposta na figura 4.68. Aparentemente, o estudante acredita que um observador dentro do trem observaria que este possui comprimento $l_{trem} = 3,0$, quando na verdade, na situação considerada, o observador dentro do trem observaria (ou melhor, realizaria uma medida que lhe permitiria concluir) que este possui o comprimento de repouso $l_{trem} = 3,46$ (independentemente do referencial a partir do qual *nós* analisamos o movimento). Dessa forma, o aluno parece acreditar que o comprimento *correto* do trem é aquele correspondente ao referencial que, “*de verdade*”, está em repouso, ou seja, aquele em que o chão está em repouso. Vemos, assim, como é a resistência à relatividade do movimento Galileana (e à compreensão de que o repouso da Terra não é absoluto) aquela que se coloca, em primeiro lugar, como obstáculo à compreensão da relatividade Einsteiniana. “*E pur si muove*”!

Figura 4.71: Pablo Picasso, *Le Demoiselles d'Avignon*, 1907.

4.12 Relatividade, Cubismo e visões de mundo

A historiadora da arte Linda Henderson, cujo trabalho guiou-me na exposição de influências científicas na arte da virada do século XIX para o XX, tem um posicionamento a respeito da relação entre a teoria da relatividade e a pintura cubista do qual não posso compartilhar, ao menos não completamente. Referindo-se ao que ela denomina o “mito cubismo-relatividade”, Henderson (2005) critica associações entre os trabalhos de Einstein de 1905 e a pintura *Le Demoiselles d'Avignon*, de 1907, de Pablo Picasso (figura 4.71), tais como a que realiza o historiador da arte Paul Laporte, no final da década de 1940, citado por ela:

“A integração da geometria não-euclidiana e da quarta dimensão é um fator constituinte da física contemporânea. Ela aconteceu na física exatamente ao mesmo tempo que a mudança ao cubismo aconteceu na pintura (Einstein, Teoria da Relatividade Restrita, 1905; Minkowski, 1908; primeira pintura cubista de Picasso, *Les Femmes d'Alger*, 1906-7)” (LAPORTE, apud HENDERSON, 2005, p.350).

Essa autora, como vimos anteriormente, procura em seus trabalhos demonstrar que, adicionalmente ao contexto histórico mais interno associado a influências propriamente artísticas, uma série de “descobertas” científicas tiveram sim influência sobre o trabalho de artistas tais

como Picasso, Duchamp, Braque, etc. Entre essas influências, a geometria quadridimensional, as geometrias não-euclidianas, as descobertas do raio-X e da radioatividade, pelo impacto que tiveram na cultura de seu tempo, merecem destaque. Entretanto, segundo ela, os trabalhos associados à teoria da relatividade não poderiam ter tido influência sobre esses artistas, até porque, naquela época, estes trabalhos não estavam acessíveis a um público mais amplo, como já o teria demonstrado o historiador da arte Meyer Schapiro em 1979. A ausência dessa conexão, entretanto, não implica uma negação de influências científicas sobre esse momento histórico da arte:

“Embora Schapiro tenha argumentado corretamente contra o mito Cubismo-Relatividade, seu tratamento da ‘ciência’ desse período associando-a apenas à Relatividade de Einstein levou-o a argumentar contrariamente a qualquer tipo de conexão entre arte e ciência no início do século XX. De fato, Picasso e seu companheiro George Braque – assim como praticamente todos os artistas antes de 1910 – respondiam a certas ideias da física. Entretanto, eram as emocionantes descobertas de 1890, que redefiniam a compreensão das pessoas comuns a respeito da matéria e do espaço (por exemplo, os raios-X, a radioatividade, o elétron e as ondas Hertzianas de telegrafia sem fio) – e não a Teoria da Relatividade – que inspiravam os artistas e escritores nas duas primeiras décadas do novo século” (HENDERSON, 2008, p. 102).

Henderson, com sua crítica, demonstra o equívoco de associações muito simplificadoras que procuravam reconhecer nas obras cubistas um esforço, quase ilustrativo, de representação do espaço-tempo da relatividade Einsteiniana. Nesse sentido, o levantamento que ela realiza do contexto cultural e científico desse período histórico é interessantíssimo. Porém, por que não reconhecer também a associação entre esse contexto científico-cultural mais amplo e a criação da própria teoria da relatividade? Parece que, ao contrário da abordagem ampliada de influências que a autora realiza com relação às criações artísticas, a criação científica da teoria da relatividade é reconhecida por ela como uma criação isolada de Einstein:

“De fato, nem a quarta dimensão nem a geometria não-Euclidiana estavam presentes na relatividade restrita, e, embora Minkowski tenha adicionado uma quarta dimensão à teoria da relatividade em 1908, a geometria de seu continuum espaço-temporal era ‘pseudo-euclidiana’ e ainda distante da curvatura não-Euclidiana, Riemanniana que se tornaria uma característica proeminente do espaço-tempo na relatividade geral” (HENDERSON, 2005, p. 350).

Como discutimos anteriormente, porém, minimamente os trabalhos de Henri Poincaré (que já em 1905 demonstrou que as transformações de Lorentz formavam um grupo que mantinha invariante o intervalo $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$) não podem ser dicotomizados da criação da teoria da relatividade. Tendo esse autor, com suas reflexões a respeito do número de dimensões do espaço, das geometrias não-euclidianas e da experiência e medida do tempo, influenciado a

cultura e as criações artísticas de sua época, como o demonstra a própria Linda Henderson, já não vejo como é possível estabelecer uma completa distinção entre as criações artísticas dos cubistas e a criação científica da teoria da relatividade. E poderíamos nos referir a outros exemplos já comentados neste trabalho, como a associação da matéria à curvatura do espaço, já antevista por Riemann e, mais explicitamente, por Clifford, ainda no século XIX (conforme página 304). Nesse sentido, identifico-me com uma abordagem que procure reconhecer, na ciência e na arte, um diálogo com o contexto cultural mais amplo de uma época. Como afirma Arthur Miller, no livro em que procura discutir paralelos entre as biografias de Einstein e Picasso e as suas descobertas artísticas e científicas:

“A Relatividade e *Les Femmes d'Alger* representam as respostas de duas pessoas – Einstein e Picasso, embora geográfica e culturalmente separadas – às dramáticas mudanças que varriam a Europa como uma onda gigantesca” (MILLER, 2001, p. 2).

Poderíamos nos referir não apenas às influências que as imagens científicas exercem sobre a criação artística, mas também às influências das imagens artísticas sobre a criação científica? O próprio Einstein parece indicar que sim ao afirmar, por exemplo, a propósito de Dostoiévski, que “ele me dá mais que qualquer pensador, mais que Gauss” (EINSTEIN, apud KUZNETSOV, 1972, p. 7). Boris Kuznetsov, chairman do *International Einstein Committee*, dedicou um livro à reflexão a respeito da influência de Dostoiévski sobre Einstein. Para ele, o anseio, presente nas obras de Dostoiévski, por uma ordem social universal que não se faça ignorando o sofrimento individual, mas que leve em conta o destino de cada elemento “microscópico” individual, que não admita o sofrimento arbitrário de nenhum ser, encontrou, na física do século XX, e em particular na obra de Einstein, uma contrapartida científica.

É nesse sentido que Kuznetsov destaca diálogos de Dostoiévski nos quais, por exemplo, o personagem Ivan Karamazov (em *Os irmãos Karamazov*) questiona as convicções filosóficas de seu irmão Aliócha perguntando se ele consentiria em que, para garantir a felicidade de toda humanidade, fosse necessário torturar uma única criatura até à morte; ou as reflexões igualmente provocativas do personagem Raskolnikov (de *Crime e Castigo*) a respeito da existência de “certa porcentagem” de indivíduos que “naturalmente” devem morrer miseráveis, bêbados e doentes:

“Uma porcentagem! Que palavras esplêndidas nós temos; elas são tão científicas, tão consoladoras. Uma vez que você tenha dito ‘uma porcentagem’, não há nada mais com que se preocupar. Se fosse uma outra palavra – talvez nos sentíssemos pior” (DOSTOIÉVSKI, apud KUZNETSOV, 1972, p. 94).

Essa crítica a uma suposta harmonia social que pressuponha o sofrimento irracional, sem motivação de indivíduos, que são como elementos “microscópicos” de uma ordem social, é

comparada por Kuznetsov ao “ato de fé” de Einstein ao afirmar que não deve haver constantes arbitrárias: “a natureza é constituída de tal forma que é logicamente possível estabelecer leis rigorosas tais que demandem apenas determinadas constantes, cujos valores numéricos não poderiam ser modificados sem destruir a teoria” (EINSTEIN, apud KUZNETSOV, 1972, p. 39). Não deve haver nenhum espaço para a arbitrariedade e a irracionalidade subjacentes a uma suposta ordem racional universal. É nesse mesmo sentido que Kuznetsov interpreta a recusa de Einstein à afirmação do caráter intrinsecamente aleatório dos fenômenos microscópicos, como nesse trecho de uma carta sua a James Franck:

“Eu posso imaginar que Deus criou um mundo sem nenhuma lei: um caos, simplesmente. Mas a noção de que as leis estatísticas sejam finais, e que Deus realize sorteios é extremamente antipática para mim” (EINSTEIN, apud KUZNETSOV, 1972, p. 42).

João Zanetic (2006a), em sua proposição de pensar pontes entre a física e a literatura, faz também referência à obra de Dostoiévski, apontando como, na “experimentação” que ele fazia com seus personagens, “submetendo-os” a situações extremas, Dostoiévski ia muito além do “determinismo positivista” proposto pelo escritor Émile Zola. Enquanto Zola pensava a proposição de um “romance experimental” que correspondesse a uma simples e objetiva “ata”, que contivesse as observações exatas dos fenômenos humanos que o escritor se pôs a “estudar”, Dostoiévski, como também enfatiza Kuznetsov, “experimentava” constantemente não apenas com seus heróis como também consigo mesmo. “Quer seja Dostoiévski ou um traço de sua personalidade que está representado em seu herói, ele está sempre isolado, compelido a resolver um problema para poder emergir de seu conflito moral ou intelectual” (KUZNETSOV, 1972, p. 45). Dessa forma, Dostoiévski era levado, pela dinâmica de seus romances, a ver-se – como pensador – “derrotado” em suas visões de mundo “pessoais”, uma vez que os conflitos intelectuais e morais de seus personagens adquiriam vida própria e levavam seus romances a um desfecho “inesperado”. O conflito, presente em suas obras, entre distintas concepções do que seja a “harmonia”, e a chegada, ao final do romance, a uma ruptura com a visão de mundo do próprio autor, é comparado por Zanetic à noção de *ruptura epistemológica* de Gaston Bachelard.

É interessante, no contexto de nossa discussão, que esse conflito entre *distintas éticas* exposto por Dostoiévski, através de seus personagens, seja frequentemente metaforizado por meio da reflexão a respeito das *distintas geometrias*, a ponto de Kuznetsov referir-se ao conflito entre uma harmonia tradicional Euclidiana e harmonias não-Euclidianas. Como na citação a seguir do personagem Ivan Karamazov:

“Entretanto, encontraram-se, encontram-se ainda geômetras e filósofos, mesmo eminentes, para duvidar de que todo o universo e até mesmo todos os mundos

tenham sido criados somente de acordo com os princípios de Euclides. Ousam mesmo supor que duas paralelas que, de acordo com as leis de Euclides, jamais se poderão encontrar na terra, possam encontrar-se, em alguma parte, no infinito. Decidi, sendo incapaz de compreender mesmo isto, não procurar compreender Deus. Confesso humildemente minha incapacidade em resolver tais questões; tenho essencialmente o espírito de Euclides: terrestre. De que serve querer resolver o que não é deste mundo? E aconselho-te a jamais quebrar a cabeça a respeito, meu amigo Aliócha, sobretudo a respeito de Deus: existe ele ou não? Essas questões estão fora do alcance dum espírito que só tem a noção das três dimensões. (...) Explico-me: estou convencido, como uma criança, de que o sofrimento desaparecerá, que a comédia revoltante das contradições humanas se esvaecerá como uma lamentável miragem, como a manifestação vil da impotência mesquinha, como um átomo do espírito de Euclides; que no fim do drama, quando aparecer a harmonia eterna, uma revelação se produzirá, preciosa a ponto de enternecer todos os corações, de acalmar todas as indignações, de resgatar todos os crimes e o sangue vertido; de sorte que se poderá não só perdoar, mas justificar tudo quanto se passou sobre a terra. Que tudo isso se realize, seja, mas não o admito e não quero admiti-lo. Que as paralelas se encontrem sob meus olhos, verei e direi que se encontraram; e no entanto não o admitirei. Eis o essencial, Aliócha, eis minha tese” (DOSTOIÉVSKI, apud ZANETIC, 2006a, p-64-5).

Somos, “repentinamente”, levados, de uma discussão técnica a respeito da relatividade restrita de Einstein e das transformações de Lorentz entre dois referenciais a uma reflexão “multi-dimensional”, cheia de repercussões sobre nossa forma de ver, pensar, sentir e agir no mundo. Teremos desviado do foco? Acredito que não, muito pelo contrário. É através desse enriquecimento de sentidos a propósito de uma criação científica que podemos, creio, escapar da polarização entre visões de mundo tecnicistas e alienantes e visões de mundo anti-científicas, da polarização entre uma crença absoluta nas verdades universais da ciência e um relativismo também absoluto, que esvazie de sentido toda e qualquer proposição. É na medida em que compreendemos a ciência como parte integrante de nossa cultura e na medida em que conseguimos nos perceber como parte integrante dessa cultura (mesmo sendo muitas vezes violentamente marginalizados por sua feição dominante) que podemos senti-la (a ciência) como nossa, como parte de nossa existência cultural no mundo. Como escreveu o físico Enrico Giannetto, ao refletir sobre a relação entre a ciência e os embates entre visões de mundo:

“A perspectiva aqui discutida aponta no sentido de que pode-se ensinar ciência abordando seu contexto histórico, mostrando-a como parte da cultura ocidental. A ciência não é apresentada como uma prática meramente técnica, matemática ou experimental, mas conectada às suas raízes conceituais e históricas. O problema do multiculturalismo na educação científica poderia ser tratado ensinando-se ciência não como um conhecimento universal, mas como um forma de conhecimento ocidental historicamente relacionada a outras disciplinas e práticas ocidentais como a religião ou a teologia cristã, o capitalismo e a tecnologia ocidentais, a filosofia ocidental” (GIANNETTO, 2009, p. 778-9).

Ou como escreveu João Zanetic, há mais de 20 anos, ao refletir sobre a importância de pensar uma educação científica que aborde o contexto histórico-cultural de produção científica, tanto em sua dimensão “internalista”, como em sua dimensão “externalista”, e de compreender que “física também é cultura”:

“Quando se comenta sobre a cultura, de um modo geral, raramente a física comparece de imediato na argumentação, ou outra representante das ciências naturais dá o ar de sua graça. Cultura, quando pensada ‘academicamente’ ou com finalidades educacionais, é quase sempre a evocação de alguma obra literária, alguma grande sinfonia ou uma pintura famosa; cultura erudita, enfim. Tal cultura traz à mente um quadro de Picasso, uma sinfonia de Beethoven, um livro de Dostoiévski, enquanto que a cultura popular faz pensar em capoeira, num samba de Noel, num tango de Gardel. Dificilmente, porém, cultura se liga ao teorema de Godel ou às equações de Maxwell” (ZANETIC, 1989, p. 145-6).

5 *Conclusões*

Se na introdução desta tese – e ao longo de todo o texto – adotei como ponto de partida a defesa do valor envolvido no desenvolvimento de um olhar estético para a educação e a ciência, aproximando-as das artes, ao concluir essa pesquisa, me dou conta de outros valores mais implicitamente defendidos e subentendidos ao longo de todo o trabalho.

O primeiro deles refere-se ao resgate da experiência do corpo. A introdução do vetor associado à reflexão da educação e da ciência *como* arte levou-me “naturalmente” a uma valorização da “sensibilidade”, da “sensorialidade”, da “corporeidade” de nosso contato com o mundo. E poderia esse contato se dar de alguma outra forma, senão através do corpo? Creio que não. Porém, poderíamos dizer – em uma caricatura – que a reflexão a respeito da educação e (ainda mais intensamente) a respeito da ciência frequentemente imagina ainda esse contato sensorial com o mundo como uma “mera” aquisição neutra de dados, de forma que toda a dimensão relevante do processo corresponderia a uma análise “cerebral”, fria e racional, dos “dados coletados”. A negação da dimensão poética da educação e da ciência parece implicar também a negação, nessas áreas, de nossa relação sensorial e corporal com o mundo, substituindo a relação sensível e poética com o mundo por um “domínio”, racional e exterior, do corpo e da linguagem:

“Talvez nossa história, tanto a coletiva como a individual possa ser lida, ao mesmo tempo, como a da constituição de um sujeito sem corpo (ou, o que é o mesmo, de um sujeito separado de seu corpo e que, por isso, se faz capaz de objetivá-lo e dominá-lo, de possuir do ponto de vista de seu uso, de fazê-lo suscetível de ser tratado também, se convém, como um corpo sem sujeito, um corpo de ninguém, pura vida nua) e como a constituição de um sujeito sem linguagem (ou de um sujeito separado de sua linguagem e, por isso, capaz de objetivá-la e dominá-la, de tê-la como um instrumento, de tratá-la também, quando convém, como uma linguagem sem sujeito, uma linguagem de ninguém, pura informação)” (LARROSA, 2004, p. 168).

Vejo que a intervenção pedagógica a que me propus almejou uma inserção privilegiada da dimensão sensorial, corporal nas reflexões “vivenciadas” por que passamos, tanto a propósito

de temas pedagógicos como científicos, buscando resgatar e evidenciar a dimensão criativa, produtiva, poética da sensorialidade.

No que diz respeito à reflexão pedagógica, a compreensão do diálogo através da prática de jogos teatrais trouxe à tona de forma particularmente intensa essa dimensão corpórea da “escuta” não apenas da palavra, como também de todo tipo de comunicação tácita que se estabelece entre os jogadores. Se procuro avaliar os “resultados” desse tipo de proposição, chego à conclusão de que, nesse sentido específico do desenvolvimento da escuta, é inegável o avanço propiciado por esse tipo de abordagem. Embora nem todos os estudantes tenham “gostado” desse tipo de proposição e quase todos as tenham, pelo menos inicialmente, “estranhado”, percebo que nesses processos, aos poucos, uma dinâmica diferenciada se instaurava nesses coletivos, associada a uma maior liberdade de expressão (tanto verbal como não-verbal) e a uma ampliação da escuta do outro. Eu encontro uma evidência particularmente significativa dessa transformação nas avaliações coletivas que fizemos da disciplina ao final dos semestres. Nessas ocasiões, foi interessante notar que uma longa e honesta reflexão se instaurava e se prolongava espontaneamente ao longo das 2h30 que tínhamos disponível, até as excedendo. Mesmo a ocorrência, nesses momentos, de percepções críticas a respeito da disciplina foi significativa por demonstrar a incomum, no contexto do IFSP, liberdade de expressão que os estudantes se permitiam. Mas o elemento mais relevante dessas avaliações é que os estudantes não apenas falavam bastante como também se escutavam bastante, concordando ou discordando, mas exercendo essa “rara” faculdade: escutar-se. Considero assim que a “reinvenção do roteiro dramático da sala de aula”, aludida por Ira Shor, recriando o professor que fala e escuta e os estudantes que falam e escutam, foi significativamente potencializada pela explicitação do caráter sensorial e expressivo do diálogo.

Com relação à reflexão epistemológica, em minha busca por uma abordagem que privilegiasse a dimensão estética das criações científicas, em um primeiro momento pensei que fosse necessário afastar-se de qualquer referência à empiria e, portanto, de qualquer referência ao mundo sensível. Porém, tornou-se evidente depois a contradição entre buscar uma apreensão estética e recusar a percepção! Compreendi então que do que eu estava querendo me afastar era de uma concepção positivista que pretendia garantir o caráter “verdadeiro” e universal da ciência através de uma correspondência entre previsões teóricas e medidas experimentais e, a partir daí, pretendia construir a imagem de uma ciência independente das cosmovisões, do imaginário e de qualquer percepção mais subjetiva do mundo, reduzindo o contato do homem com o mundo, na ciência, àquele que se dá por meio do experimento. Sem rejeitar, evidentemente, a relevância de uma (como escreve Bachelard) *fenomenotécnica* através da qual uma sofisticada construção experimental *realiza, materializa* uma abstrata construção científico-matemática, dei-me conta,

ao longo desta pesquisa, de um segundo caminho através do qual uma relação muito mais sensorial com o mundo tem um papel significativo na construção do pensamento científico. Autores tais como Gerald Holton (1996), Root-Bernstein (2002), Géza Szamosi (1988) e Samuel Edgerton (2006) me demonstraram, com fartura de exemplos, a relevância de uma relação sensorial, sensível e expressiva com o mundo para o desenvolvimento da criação científica e mesmo para a posterior avaliação da validade e relevância de teorias científicas. Que o cientista não pensa apenas com seu cérebro, mas com seu corpo inteiro e que, nesse pensamento, a relação sensível e sensorial que ele tem com o mundo torna-se relevante não deveria ser uma conclusão surpreendente, mas, pelo menos para mim, foi.

Da minha parte, procurei explorar essa conexão entre a sensorialidade e as construções científicas associadas à relatividade, principalmente através dos trabalhos de Galileu e Poincaré. Nesses dois cientistas, a relação com a percepção sensível do mundo à nossa volta comparecem não apenas como uma motivação implícita que precisa ser inferida de maneira mais ou menos indireta, mas como um tema explícito de reflexão que, além do mais, pode ser associado também a criações artísticas que lhes eram mais ou menos contemporâneas. Assim, a reflexão de Galileu a respeito da percepção visual de movimento a partir de um determinado ponto de vista, relacionando o movimento do objeto ao movimento dos olhos (ver página 147) e a reflexão de Poincaré a respeito de nossa percepção de eventos simultâneos, referindo-a à interpenetração profunda desses eventos em nossa consciência, demonstrando assim o caráter convencional de qualquer extrapolação dessa percepção ao universo inteiro (página 313), fundamentam a construção das relatividades do movimento e da simultaneidade. Adicionalmente, a distinção que Poincaré estabelece entre as percepções de espaço e tempo e as construções matemáticas dessas entidades, demonstrando o espaço de escolha e arbitrariedade envolvido na passagem de umas a outras, pode ser associada à liberdade que as vanguardas artísticas do início do século XX desenvolveram na expressão do espaço e tempo que os artistas percebiam. Já a percepção, por Galileu, das irregularidades na superfície da Lua, a partir das relações de claro e escuro por ela exibidas, pode ser associada ao desenvolvimento a que a pintura de seu tempo havia chegado na representação da profundidade, através da disposição das linhas e dos matizes de claro e escuro no espaço pictórico.

Elaborar dinâmicas que permitissem desenvolver, de forma vivenciada, essas e outras reflexões a propósito da relação entre a representação científica do espaço e tempo e a percepção sensorial, sensível do mundo foi talvez o maior desafio “criativo” a que me propus neste trabalho. O desafio consiste em, ao mesmo tempo, remeter a construções científicas bastante precisas em sua formulação e preservar um espaço de liberdade para a percepção e criação sensível dos próprios estudantes-jogadores. O difícil encontro, entretanto, dessa medida entre “fechamento”,

direcionamento, e “abertura” só pode se dar no próprio diálogo sensível que, como docente, estabeleço com cada turma. Não creio que haja nem possa haver “receitas” a esse propósito.

Um segundo valor que merece ser discutido brevemente aqui refere-se à importância do ensino de física moderna. Com relação a este tema, o desenvolvimento desta pesquisa levou-me a uma perspectiva ambígua, que vale a pena procurar esclarecer. Ao iniciar a pesquisa que aqui procuro concluir, meu propósito era abordar as concepções de espaço e tempo provenientes da física “moderna”, compreendendo essa palavra como uma referência ao século XX. Tomando como ponto de partida a relatividade Einsteiniana, parece, entretanto, que errei o sinal da seta temporal, uma vez que fui me interessando por concepções cada vez mais antigas, passando por concepções *propriamente* “modernas”, no sentido que a historiografia entende esse termo, por concepções medievais até chegar, por fim, à Grécia antiga! Analisando esse rumo que tomei, pergunto-me: qual o valor que atribuo ao ensino da física do século XX? Qual a razão – e o valor – que motivou esse “sentido invertido” da seta temporal de minha investigação? Para abordar essa questão, tomo como ponto de partida a seguinte reflexão de João Zanetic:

“No final do século passado eu costumava dizer que precisávamos levar a física do século XX para a sala de aula antes que ele (o século XX) acabasse. Neste início do novo século, tomando como referência o número de aulas de física que estão presentes nas escolas de ensino médio da rede pública de São Paulo, e a forma de atribuição de aula que a Secretaria da Educação desse estado vem adotando, eu diria que precisamos colocar a física de qualquer século na sala de aula antes que ela (a física na escola) acabe!” (ZANETIC, 2006b, p. 41).

Parece, à primeira vista, que a proposição de levar a física do século XX (e do século XXI) para a escola é um valor incontestável, absoluto. Afinal, é esta a física de nosso tempo, aquela que está por trás de grande parte dos artefatos que utilizamos em nosso cotidiano! Entretanto, qual o sentido de adicionar, às tantas caricaturas do conhecimento físico que apresentamos no ensino médio, mais algumas caricaturas associadas à física moderna? Não estaremos contribuindo para uma mistificação ainda maior da ciência? É um pouco nesse sentido que vai a seguinte argumentação, de Lévy-Leblond:

“Assim, em vez de querer modernizar a todo custo os conteúdos específicos do ensino científico, parece-me muito mais urgente levar os alunos à compreensão do que é realmente ciência, de seus processos de trabalho, seus desafios epistemológicos, suas implicações sociais. A contribuição de disciplinas como a história, a arte e a filosofia é essencial em relação a este problema. O problema do ensino de ciências é sério demais para que fique entregue apenas às mãos dos próprios cientistas” (LÉVY-LEBLOND, 2010, p. 72).

A reflexão a respeito desse tema é certamente bastante polêmica e seria necessário aludir a muitos outros pontos de vista para pretender desenvolvê-la plenamente, o que não é a minha intenção. Por que fiz referência a ela então? Porque creio que um valor importante (que compareceu em meu trabalho) associado ao ensino de física moderna não está propriamente “no ensino de física moderna”, quer dizer, naqueles conteúdos que tradicionalmente associamos à física moderna, mas está no olhar que podemos desenvolver a propósito dos conhecimentos antigos *a partir* de nosso conhecimento da física moderna. Ao propor reflexões sobre o formato esférico da Terra, sobre a representação perspectiva do espaço tridimensional e sobre a relatividade do movimento, é mais ou menos evidente que o olhar para esses desenvolvimentos que procurei estabelecer partia da relatividade Einsteiniana. É a partir deste ponto de vista que é possível refletir sobre as implicações cosmológicas do debate a respeito do formato da Terra, sobre a não-equivalência entre a “representação perspectiva” renascentista e a “forma como vemos” (e a sua associação, ao invés disso, à representação de um espaço “plano”, Euclidiano) e sobre a completa indistinguibilidade entre referenciais inerciais. Nesse sentido, a física do século XX é relevante não apenas por oferecer “novos conteúdos” a se acumularem sobre os velhos, mas também – e talvez principalmente – por nos permitir um “novo olhar” sobre o conjunto de nossos conhecimentos. João Zanetic discutiu esse diálogo “de duas vias” entre a história da ciência e a ciência presente através das concepções de *recorrência histórica* de Gaston Bachelard e de *história presente* do historiador E. H. Carr, como nessa citação deste último autor:

“O passado é inteligível para nós somente à luz do presente; só podemos compreender completamente o presente à luz do passado. Capacitar o homem a entender a sociedade do passado e aumentar o seu domínio sobre a sociedade do presente é a dupla função da história” (CARR, apud ZANETIC, 1989, p. 113).

Como Zanetic enfatizou, não se trata, com essa abordagem da história, de realizar uma “reconstrução racional” da ciência, tal como apregoada por Imre Lakatos, omitindo aqueles eventos que “perturbariam” nossa imagem de uma ciência completamente racional e objetiva, nem tampouco de transformá-la em uma procura por “precursores”, como se fosse possível em outro momento histórico, sendo suficientemente inteligente, chegar às mesmas conclusões a que chegamos em nosso contexto atual, o que corresponderia a uma negação da própria história e a uma negação da integração da ciência – como cultura – nessa história. Do que se trata, ao contrário, é de, ao fazer dialogar esse passado e esse presente, tornar mais complexo a ambos, mais cheios de contradições e, dessa forma, mais plenos de possibilidades de transformação, de devir.

Nesse sentido, a escolha da teoria da relatividade como ponto de partida para esse diálogo não é casual. Afinal, é ela que inicia uma ruptura radical com os conceitos fundamentais de toda

a física anterior que será progressivamente amplificada ao longo do século XX. A evidência do caráter revolucionário da teoria da relatividade pode ser notada pela preocupação, demonstrada desde o início, com os efeitos destruturadores de seu aprendizado. Já em 1908, em um artigo em que desenvolve, por um caminho próprio, a dinâmica relativística, Poincaré conclui com um apelo de natureza pedagógica:

“Para terminar, permitam-me formular um desejo. Suponhamos que, daqui a alguns anos, essas teorias sejam submetidas a novas provas e venham a triunfar; nesse caso, nosso ensino secundário correrá um grande perigo: alguns professores decerto quererão dar lugar às novas teorias. As novidades são muito atraentes, e é difícil não parecer suficientemente avançado! Haverá, pelo menos, quem deseje fazer exposições sumárias às crianças e, antes de lhes ser ensinada a mecânica comum, elas serão avisadas de que esta já foi ultrapassada e serviu, quando muito, para esse palerma do Laplace. E assim, elas não adquirirão o hábito da mecânica comum. Será mesmo conveniente informar às crianças que essa mecânica é apenas aproximada? Sim, porém mais tarde: quando elas estiverem imbuídas dela até a medula, quando houverem adquirido o hábito de só pensar através dela, quando não mais correrem o risco de desaprendê-la, então poderemos, sem inconveniente, mostrar-lhes seus limites. (...) Sejam quais forem os progressos do automobilismo, nossos veículos jamais atingirão as velocidades em que essa mecânica deixa de ser verdadeira. A outra [a mecânica relativística] é tão somente um luxo, e só se deve pensar no luxo quando não mais se corre o risco de prejudicar o necessário” (POINCARÉ, 2008, p. 180).

Parece-me que o temor de Poincaré explicita um desafio a que, mais de um século depois, ainda não fomos capazes de dar uma resposta satisfatória. Como assimilar o caráter limitado, “ultrapassado” de uma construção científica e, ainda assim, reconhecer-lhe o devido valor, a importância de seu aprendizado? Afogados em um presente cada vez mais cheio de “novidades” de cada vez mais curta duração, vivemos a contradição de reconhecer valor apenas na última verdade do momento e saber que, em pouco (e cada vez menos) tempo, ela já terá perdido seu valor de verdade, já terá saído de moda. Superar essa contradição envolve, do meu ponto de vista, a defesa do valor da ciência não apenas por seu (delimitado, historicizado) valor de verdade, como também por sua constituição como parte integrante de nossa cultura que, malgrado o precipício a que nos levou, é extremamente bela (e também terrível) em sua história, que é também, queiramos ou não, a nossa história.

Um terceiro valor que gostaria de comentar refere-se à educação do olhar. Não se trata, nessa perspectiva, tanto da introdução de novos temas, mas do desenvolvimento de um olhar mais apurado sobre velhos temas, às vezes tão gastos pelo (mal) uso que deles fez a educação, que torna-se necessário reinventar. Por isso, a educação do olhar envolve a disciplina de deter-se, ver novamente, ater-se aos detalhes, logrando então dar espaço para que o que

antes parecia um conhecimento ou uma imagem morta de significações possa repercutir em novas possibilidades vivas. Essa busca visa antes a um aprofundamento que a uma extensão de conhecimentos.

Posso afirmar que o exercício do olhar, da escuta e da compreensão foi uma constante ao longo da disciplina *Oficina de Projetos*. Trata-se de um exercício proposto constantemente tanto aos alunos quanto ao professor: muitas e muitas vezes fui surpreendido por um olhar discente mais apurado a me chamar a atenção para aspectos não percebidos em imagens, textos ou jogos que estivéssemos a analisar. Na realização e observação de jogos teatrais, na criação e comentário de contribuições ao *blog* da disciplina, na observação de imagens associadas às transformações de Lorentz, na observação de fragmentos textuais e quadros, o desenvolvimento de uma leitura atenta e, ao mesmo tempo, aberta à “degustação” das repercussões propiciadas, foi uma tônica fundamental do trabalho desenvolvido.

Um problema que se coloca na perspectiva da intervenção pedagógica a que me propus refere-se à “complementaridade” entre uma abordagem que privilegie uma experiência pessoal mais ativa de “descoberta” e outra que permita uma experiência aparentemente mais passiva de “recepção”. Até pela intenção, que já enfatizei, de “reinventar” o professor que não apenas fala, mas “fala e escuta” e o estudante que não apenas escuta (se é que escuta), mas também “fala e escuta” (e age), parte significativa do trabalho que desenvolvi deixou-me, como docente, mais na função da escuta que da fala. A própria dinâmica de jogos teatrais pressupõe a criação de ocasiões em que os jogadores aprendam através de sua própria experiência criativa e não por uma assimilação mais passiva de um discurso alheio. Esses pressupostos são claramente explicitados por Viola Spolin:

“Aprendemos através da experiência, e ninguém ensina nada a ninguém. Isto é válido tanto para a criança que se movimenta inicialmente chutando o ar, engatinhando e depois andando, como para o cientista com suas equações. (...) Devemos reconsiderar o que significa ‘talento’. É muito possível que o que é chamado ‘talento’ seja simplesmente uma maior capacidade individual para experienciar. Deste ponto de vista, é no aumento da capacidade individual para experienciar que a infinita potencialidade de uma personalidade pode ser evocada. (...) Através da espontaneidade somos re-formados em nós mesmos. A espontaneidade cria uma explosão que por um momento nos liberta de quadros de referência estáticos, da memória sufocada por velhos fatos e informações, de teorias não digeridas e técnicas que são na realidade descobertas de outros” (SPOLIN, 1998, p. 3-4).

É, de fato, marcante o caráter “mal digerido” de grande parte de nosso aprendizado, “adquirido” de forma “desprovida de experiência”. Entretanto, seria um equívoco tornar absoluto o pressuposto de que o aprendizado só se dá por meio da “descoberta através da experiência”, ao

menos se essa expressão for lida de forma muito obtusa. Quer dizer, também a escuta de descobertas alheias, a leitura, a observação, a apreciação de obras alheias podem corresponder a intensas experiências, a intensos momentos de descoberta pessoal e aprendizagem. Trata-se de qualquer forma de um aprendizado através da experiência, mas precisamos lembrar de incluir essas experiências (apenas) aparentemente mais passivas naquilo que chamamos de “experiência”. A própria ênfase na possibilidade e necessidade de encontro desses momentos mais ativos de “descoberta pessoal” pavimenta então o caminho para que também nos momentos aparentemente mais passivos constitua-se a “efervescência interior” que possa torná-los “vivos”, “experienciados”. É necessário, então, combinar essas possibilidades de abordagem, combinação talvez ainda insuficientemente estabelecida em minha intervenção.

Há uma riqueza cujo acesso depende de um esforço voluntário de imersão no universo de nossas produções culturais. Não é um ato que possa ser forçado, uma vez que ele demanda a “efervescência interior” aludida acima, capaz de torná-lo significativo, capaz de engendrar o jogo entre imersão, emersão e inserção que permite que não nos afoguemos simplesmente em um universo cultural que não conseguimos sentir como nosso, mas que consigamos, por meio de um intenso esforço, um intenso trabalho, um intenso envolvimento, estabelecer uma relação mais dinâmica e dialética com este universo.

No momento em que procuro concluir este trabalho, assisto a uma palestra da filósofa Marilena Chauí, na qual ela responde a uma pergunta a propósito do trabalho do professor no contexto atual de acesso instantâneo à informação. Sua resposta envolve uma reflexão a propósito do “trabalho do pensamento”:

“O trabalho do pensamento tem algumas características importantes: a primeira delas é que ele é lento, um trabalho de lentidão e paciência; depois, ele é um trabalho de desvendamento, de perceber o que não se sabia e de apreender e acrescentar o que já se sabia; ele é também um trabalho de desapontamento e de decepção, que é o suportar o instante da ignorância, do não saber uma resposta, de não descobrir uma solução. Eu tenho dúvidas sobre o que acontece com o trabalho do pensamento com a possibilidade da solução instantânea, de apertar um botão e a resposta aparecer para ser copiada. De duas uma, ou o trabalho do pensamento vai se realizar em outros lugares que não mais a escola; ou, durante um longo período, até que as contradições arrebeitem isso, nós não vamos ter trabalho do pensamento. E não vai ser fácil ser professor. Porque o professor trabalha com o despertar do desejo do saber” (CHAUÍ, 2011).

Considero que minha intervenção procurou destacar esse caráter lento, experienciado, desafiante, algumas vezes desapontador, decepcionante, outras, estimulante, revelador, do “trabalho do pensamento”. É inegável, entretanto, a inserção dessa intervenção em um contexto em que as “facilidades” oferecidas pelo acesso instantâneo a todo tipo de “informação” condiciona

suas potencialidades e seus limites, pela influência que exerce na estruturação do pensamento, potencializando-o por um lado, mas o imobilizando e banalizando por outro.

Quando me refiro a essa influência da “era da informação”, não me refiro apenas ao seu efeito sobre o pensamento de meus alunos, mas também ao seu efeito sobre o meu próprio pensamento. Folheio a tese de meu orientador, realizada há pouco mais de vinte anos, o que, convenhamos, não é muito tempo. São incrivelmente diferentes as condições materiais de sua produção, comparadas com as de meu trabalho. Só o fato de ela ser datilografada já implica uma diferença brutal. Enquanto eu me permito, até o momento da entrega definitiva deste trabalho, trocar a ordem de figuras, partes do texto e inserir novos comentários, imagino quão difícil era, para ele, a simples inserção de uma nota de rodapé! (não à toa, seu trabalho prefere utilizar notas de fim de texto. . .).

De fato, todo o meu trabalho, tanto na relação com os estudantes, utilizando um *blog* por exemplo, como na própria escrita do texto, acessando grande parte da bibliografia por meio da internet, assistindo no *youtube* à palestra de Marilena Chauí citada acima, manipulando com bastante liberdade a estrutura de capítulos e seções e as referências cruzadas ao longo do texto, criando animações computacionais, são condicionados pelas facilidades oferecidas pela rede virtual de comunicação e pelo processamento digital. A esse excesso de informações disponíveis sobrepõem-se prazos cada vez mais exíguos e implacáveis para a conclusão de meu trabalho. E, ao dialogar com colegas e antigos professores a respeito de meu trabalho, vejo que, muitas vezes, o principal tema de interesse não é o conteúdo de meu trabalho, mas o tempo que demorarei para concluí-lo. É inegável um clima de ansiedade a dificultar a lentidão necessária ao trabalho de pensamento aludido pela filósofa. Mas, evidentemente, não é só isso: as múltiplas referências, as múltiplas conexões a que temos acesso parecem dar, de fato, uma outra forma ao pensamento, que é irrelevante qualificar como “melhor” ou “pior”, mas cujos novos desafios que impõe demandam reflexão.

Da minha parte, a “estratégia” para manter-me “vivo” em minha relação com o mundo envolve o resgate da sensorialidade e da poeticidade das relações que estabeleço. Frente à hegemonia dos espaços e relações virtuais, a experiência concreta do corpo no espaço, em relação *imediata* com os outros corpos (que não são “corpos-coisas”, mas “corpos-sujeitos”). Frente à instrumentalização de minhas “competências”, a criação do “perfeitamente inútil”, desde que suficientemente belo ou intenso. Quanto mais “importante”, quanto mais “útil” é considerada a escola, mais “adestradora” ela parece se tornar. Quanto mais se afirma a “importância” e até a “nobreza” do trabalho docente, mais massacrante parece se tornar o seu trabalho. É preciso recuperar a dimensão do prazer na educação: prazer das descobertas, prazer de propiciá-las, de testemunhá-las, de realizá-las de novo a cada vez. Não que seja possível “banir” o desprazer.

Mas que ele seja associado às dificuldades, ao esforço às vezes infrutífero e não ao próprio resultado almejado, de “introjeção” de um “conteúdo” desprovido de qualquer vivência. Se, como docentes, não oferecemos um mínimo de tensão à perspectiva instrumentalizadora e, ao contrário, buscamos a todo custo a maior eficiência possível do sistema, sucumbimos a um esvaziamento da dimensão criadora de nossa função, aceitamos voluntariamente nos tornarmos apenas um elo a mais de um sistema homogeneizante e desumanizador. Felizmente, porém, há sempre em nós uma dimensão *inassimilável* que resiste:

“E, no entanto, dentro ou ao redor das instituições educativas, continuam proliferando os corpos inassimiláveis e/ou resistentes como continuam proliferando as linguagens inassimiláveis e/ou resistentes. Todos aqueles que escapam aos imperativos da biopolítica contemporânea. Todos aqueles que dizem outra coisa que aquilo que deveriam dizer. Todos aqueles que não podemos compreender e com os que não sabemos o que fazer” (LARROSA, 2004, p. 174).

Referências Bibliográficas

ABBOTT, Edwin A. *Flatland*: Um romance a várias dimensões. Lisboa: Gradiva, 1993.

ALGRA, Keimpe. *Concepts of space in Greek thought*. New York: Brill, 1994.

ALMEIDA, M. Ribeiro de. A evolução da matéria. *Floreal: Publicação Bi-Mensal de Crítica e Literatura*, n. 3, nov. 1907. Disponível em: <<http://www.brasiliana.usp.br/bbd/handle/1918/03585530>>.

ANDREIS, Ulisses Antonio de. *Uma ligação possível entre a teoria da peça didática de Brecht, a pedagogia de Paulo Freire e o ensino de física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de São Paulo, 2009.

ARISTÓTELES. *Physica*. In: _____. *The works of Aristotle*. Oxford: University Press, 1962.

BACHELARD, Gaston. A poética do espaço. In: _____. *Os Pensadores vol XXXVIII*. São Paulo: Abril S.A., 1974a.

BACHELARD, Gaston. A filosofia do não. In: _____. *Os Pensadores vol XXXVIII*. São Paulo: Abril S.A., 1974b.

BACHELARD, Gaston. O novo espírito científico. In: _____. *Os Pensadores vol XXXVIII*. São Paulo: Abril S.A., 1974c.

BACHELARD, Gaston. *El derecho de soñar*. México: Fondo de Cultura Económica, 1997.

BACHELARD, Gaston. *A terra e os devaneios da vontade*: Ensaio sobre a imaginação das forças. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico*: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

BERGSON, Henri. O pensamento e o movente (introdução). In: _____. *Os Pensadores - XXXVIII*. São Paulo: Abril, 1974.

BOAL, Augusto. *Teatro do Oprimido e outras poéticas políticas*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1975.

BORGES, Jorge Luis. *Funes el memorioso*. 1944.
URL:<http://www.literatura.us/borges/funes.html>.

BRECHT, Bertolt. Pequeno organon para o teatro. In: _____. *Estudos sobre teatro*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978a.

BRECHT, Bertolt. As cenas de rua. In: _____. *Estudos sobre teatro*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978b.

BRECHT, Bertolt. Vida de galileu. In: _____. *Teatro completo*: em 12 volumes. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1991a. v. 6.

BRECHT, Bertolt. Mãe coragem e seus filhos. In: _____. *Teatro completo*: em 12 volumes. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1991b. v. 6.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387–404, 2005.

BROOK, Peter. *A porta aberta*: Reflexões sobre a interpretação e o teatro. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1999.

BROWNSON, C. D. Euclid's optics and its compatibility with linear perspective. *Archive for History of Exact Sciences*, v. 24, n. 3, p. 165–194, 1981.

CALVINO, Ítalo. *Por que ler os clássicos*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

CASSIRER, Ernst. The concept of group and the theory of perception. *Philosophy and Phenomenological Research*, v. 5, n. 1, p. 1–36, sep 1944.

CASSIRER, Ernst. *Antropología filosófica*. México: Fondo de Cultura Económica, 1953a.

CASSIRER, Ernst. *Substance and function and Einstein's theory of relativity*. Chicago: Dover, 1953b.

CASSIRER, Ernst. *Filosofia de las formas simbólicas*: Fenomenología del reconocimiento. México: Fondo de Cultura Económica, 1976.

CASSIRER, Ernst. *A filosofia do iluminismo*. Campinas: Editora da Unicamp, 1994.

CASTRO, Amílcar de; GULLAR, Ferreira; WEISSMANN, Franz; CLARK, Lygia; PAPE, Lygia; JARDIM, Reynaldo; SPANÚDIS, Theon. Manifesto neoconcreto. *Jornal do Brasil*, Suplemento dominical, 1959.

CEFET-SP. *Projeto do curso de Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura em Física, de graduação plena*. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.cefetsp.br/edu/lif/LiFCEFETSP.doc>>.

CHAUÍ, Marilena. *A contração do tempo e o espaço do espetáculo*. 2011. Palestra proferida. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=X5d1TBpXrq0>. Acesso em: 10/02/2013.

CHEVALLARD, Yves. *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique Grupo, 2009.

CHIPP, H. B. (Ed.). *Teorias da arte moderna*. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

COELHO, Ricardo Lopes. The law of inertia: How understanding its history can improve physics teaching. *Science & Education*, v. 16, p. 955–974, 2007.

CREASE, Robert P. *Os dez mais belos experimentos científicos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

CROCHIK, Leonardo. *Demonstrações a propósito das transformações de Lorentz*. 2012. Animação computacional. Disponível em: <www.fig.if.usp.br/~crochik/pe1/animacao.html>.

CROCHIK, Leonardo; ZANETIC, João. Space and image: Galileo's and Einstein's relativity from the standpoint of its relationship with imagination. In: *Book of proceedings: 11th International IHPST and 6th Greek History, Philosophy, and Science Teaching Joint Conference*. Atenas: Epikentro, 2011. p. 159–164.

ECO, Umberto. *Obra Aberta*. São Paulo: Perspectiva, 1971.

EDELHEIT, Amos. Francesco patrizi's two books on space: geometry, mathematics, and dialectic beyond aristotelian science. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 40, p. 243–257, 2009.

EDGERTON, Samuel Y. Brunelleschi's mirror, Alberti's window, and Galileo's 'perspective tube'. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, v. 13, p. 151–79, out. 2006.

EGER, Martin. Hermeneutics and science education: An introduction. *Science & Education*, v. 1, p. 337–348, 1992.

EGER, Martin. Hermeneutics as an approach to science: Part II. *Science & Education*, v. 2, p. 303–328, 1993.

EINSTEIN, Albert. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. In: STACHEL, John (Org. e Intr.). *O ano miraculoso de Einstein: Cinco artigos que mudaram a face da física*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005a.

EINSTEIN, Albert. A inércia de um corpo depende do seu conteúdo de energia? In: STACHEL, John (Org. e Trad.). *O ano miraculoso de Einstein: Cinco artigos que mudaram a face da física*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005b.

EUCLIDES; BURTON, Harry Edwin. The optics of Euclid. *Journal of the optical society of America*, v. 35, n. 5, mai. 1943.

FELICIO, Vera Lucia G. *A imaginação simbólica nos quatro elementos Bachelardianos*. São Paulo: EDUSP, 1994.

FERREIRA, Fernando Cesar. *Diálogos sobre o tempo: arte e ciência, educação*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

FEYERABEND, Paul. *Adiós a la Razón*. Madrid: Tecnos, 1996.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, Paulo; SHOR, Ira. *Medo e ousadia: o cotidiano do professor*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

GALILEI, Galileu. *Duas Novas Ciências*. São Paulo: Nova Stella, 1988.

GALILEI, Galileu. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*: tradução, introdução e notas de Pablo Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial / Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

GIANNETTO, Enrico R. A. The electromagnetic conception of nature at the root of the special and general relativity theories and its revolutionary meaning. *Sci & Educ*, v. 18, p. 765–781, 2009.

GREENE, Brian R. *O universo elegante*. São Paulo: Editora Schwarcz, 2001.

GROTOWSKI, Jerzy. *O Performer*. 1987.

URL:<http://textoavoltadaperformance.blogspot.com.br/2010/01/performer.html>.

GURGEL, Ivã. *Elementos de uma poética da ciência*: fundamentos teóricos e implicações para o ensino de ciências. Tese (Doutorado) — Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2010.

HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

HELMHOLTZ, Hermann. The origin and meaning of geometrical axioms. *Mind*, v. 1, n. 3, p. 301–321, Jul. 1876. Disponível em: <www.ub.uni-heidelberg.de/helios/fachinfo/www/math/txt/Helmholtz/geo2e.pdf>.

HENDERSON, Linda Dalrymple. *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*. Princeton: Princeton University Press, 1983.

HENDERSON, Linda Dalrymple. X rays and the quest for invisible reality in the art of kupka, duchamp, and the cubists. *Art Journal*, v. 47, n. 4, p. 323–340, 1988.

HENDERSON, Linda Dalrymple. *Duchamp in Context*: Science and technology in the large glass and related works. Princeton: Princeton University Press, 1998.

HENDERSON, Linda Dalrymple. Four-dimensional space or space-time? the emergence of cubism-relativity mith in new york in the 1940s. In: EMMER, Michele (Ed.). *The Visual Mind II*. Cambridge: MIT Press, 2005.

HENDERSON, Linda Dalrymple. Einstein and 20th-century art: A romance of many dimensions. In: GALISON, Peter L.; HOLTON, Gerald; ; SCHWEBER, Silvan S. (Ed.). *Einstein for the twenty-first century: His legacy in science, art, and modern culture*. Princeton: Princeton University Press, 2008.

HINTON, Charles Howard. What is the fourth dimension? In: _____. *Speculations on the Fourth Dimension*: Selected writings of Charles H. Hinton. New York: Dover Publications, 1980. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20050207222937/www.ibiblio.org/eldritch/chh/hinton.html>>. Acesso em: 21/01/2011.

HOLTON, Gerald. On the art of scientific imagination. *Daedalus*, v. 125, n. 2, p. 183–208, 1996.

HUISMAN, Denis. *A estética*. Lisboa: Edições 70, 2008.

INWOOD, Brad. The origin of Epicurus' concept of void. *Classical Philology*, v. 76, n. 4, p. 273–285, out. 1981. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/270296?origin=JSTOR-pdf>>.

JAMMER, Max. *Concepts of Space*. Cambridge - Massachusetts: Harvard University Press, 1954.

JAMMER, Max. *Conceitos de espaço: A história das teorias de espaço na física*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.

JÚNIOR, Iberê R.; CROCHIK, Leonardo. A construção de escalas musicais e instrumentos musicais de baixo custo como recurso didático para o ensino de física ondulatória. In: *Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória: [s.n.], 2009.

KOSSO, Peter. The omniscienter: Beauty and scientific understanding. *International Studies in the Philosophy of Science*, v. 16, n. 1, p. 39–48, 2002.

KOUDELA, Ingrid D. *Brecht: um jogo de aprendizagem*. São Paulo: Perspectiva, 1991.

KOYRÉ, Alexandre. *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Siglo XXI, 1986.

KRAGH, Helge. *Quantum Generations: A history of physics in the twentieth century*. Princeton: Princeton University Press, 1999.

KUHN, Thomas. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1998.

KUHN, Thomas. *A Revolução Copernicana*. Lisboa: Edições 70, 2002.

KUZNETSOV, Boris. *Einstein and Dostoyevsky*. London: Hutchinson Educational LTD, 1972.

LANDAU, L.; RUMER, Y. *Qué es la teoría de la relatividad*. Moscou: Editorial Mir, 1985.

LANGER, Suzanne K. *Filosofia em nova chave*. São Paulo: Perspectiva, 1971.

LARROSA, Jorge. *Linguagem e educação depois de Babel*. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

LEITE, Cristina. *Formação do professor de ciências em astronomia: uma proposta com enfoque na espacialidade*. Tese (Doutorado) — FE-USP, São Paulo, 2006.

LEVRINI, Olivia. The substantivalist view of spacetime proposed by Minkowski and its educational implications. *Science & Education*, v. 11, p. 601–617, 2002.

LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc. *O pensar e a prática da ciência: antinomias da razão*. Bauru: EDUSC, 2004.

LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc. É possível ensinar a física moderna? In: MORIN, Edgar (org.). *A relação dos saberes: O desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. *Enseñanza de las ciencias*, v. 11, n. 3, p. 324–330, 1993.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*. Rio de Janeiro: EduERJ, 1999.

MARTINS, André Ferrer P. Algumas contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard à pesquisa em ensino de ciências. In: X ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. *Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina - PR., 2006. v. 1, p. 1–12.

MARTINS, André F. P.; ZANETIC, João. O tempo na mecânica: de coadjuvante a protagonista. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19(2), p. 149–75, 2002.

MARTINS, Roberto de Andrade. A relação massa-energia e energia potencial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 6, p. 56–80, jun. 1989.

MARTINS, Roberto de Andrade. A influência das geometrias não euclidianas no pensamento físico do século XIX. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, v. 13, p. 67–79, 1995.

MCALLISTER, James W. Dirac and the aesthetic evaluation of theories. *Methodology and Science*, v. 23, n. 2, p. 87–102, 1990.

MCALLISTER, James W. *Beauty and revolution in science*. New York: Cornell University Press, 1996.

MILLER, Arthur I. *Einstein & Picasso: Space, time and the beauty that causes havoc*. New York: Basic Books, 2001.

MORIN, Edgar. *Introdução ao pensamento complexo*. Porto Alegre: Editora Meridional, 2007.

NEWTON, Isaac. *Sir Isaac Newton's mathematical principles of natural philosophy and his system of the world*. Berkeley: University of California Press, 1974.

NEWTON, Isaac. *Óptica*. Madrid: Alfaguara, 1977.

OLIVEIRA, Neusa R. de. *A presença do teatro no ensino de física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OPÚSCULO, Flávia L.; POTENZA, Bruna G.; CROCHIK, Leonardo. A interlocução entre a fotografia como expressão artística e a física. In: *Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus: [s.n.], 2011.

OSTROWER, Fayga. *Criatividade e processos de criação*. Petrópolis: Vozes, 1977.

OSTROWER, Fayga. *A sensibilidade do intelecto: visões paralelas de espaço e tempo na arte e na ciência*. São Paulo: Editora Elsevier, 1998.

OSTROWER, Fayga. *Universos da Arte*. São Paulo: Elsevier, 2003.

PANOFSKY, Erwin. *La Perspectiva como Forma Simbólica*. Barcelona: Tusquets Editores, 1999.

PATY, Michel. A noção de determinismo na física e seus limites. *SientiaStudia*, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 465–92, 2004.

PENROSE, Roger. *O grande, o pequeno e a mente humana*. São Paulo: Editora UNESP, 1997.

PESSANHA, José Américo Motta. Bachelard: as asas da imaginação. In: BACHELARD, Gaston (). *O direito de sonhar*. São Paulo: Difel, 1985.

PESSANHA, José Américo Motta. Bachelard e Monet: o olho e a mão. In: NOVAES, Adauto (org.). *O Olhar*. São Paulo: Companhia das Letras, 1988.

POINCARÉ, Henri. *Science and Hypothesis*. New York: The Walter Scott Publishing Co., 1905.

POINCARÉ, Henri. *O valor da ciência*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

- POINCARÉ, Henri. A dinâmica do elétron. In: _____. *Ensaaios fundamentais*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.
- PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. *A nova aliança*. Brasília: Editora UnB, 1984.
- RAMADAS, Jayashree; BARVE, Shrish; KUMAR, Arvind. Alternative conceptions in galilean relativity: distance, time, energy, and laws. *Int. J. Sci. Educ.*, v. 18, n. 4, p. 463–477, 1996a.
- RAMADAS, Jayashree; BARVE, Shrish; KUMAR, Arvind. Alternative conceptions in galilean relativity: Inertial and non-inertial observers. *Int. J. Sci. Educ.*, v. 18, n. 5, p. 615–629, 1996b.
- REDONDI, Pietro. *Historias del tiempo*. Madrid: Editorial Gredos, 2010.
- REIS, José Cláudio de Oliveira. *Diálogos interdisciplinares: Relações entre física e pintura na virada do século XIX para o XX*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- ROOT-BERNSTEIN, Robert S. Aesthetic cognition. *International Studies in the Philosophy of Science*, v. 16, n. 1, p. 61–77, 2002.
- SANTIAGO, Socorro. O protocolo: instrumento de trabalho de Bertolt Brecht, um recurso metodológico. In: KOUDELA, Ingrid Dormien (org.). *Um vôo brechtiano*. São Paulo: Perspectiva, 1992. cap. 5, p. 93–112.
- SCHENBERG, Mário. *Pensando a física*. São Paulo: Landy, 2001.
- SCHUTT, Kleber R.; CROCHIK, Leonardo; CARMO, A.B. Ciência, arte e educação: uma abordagem interdisciplinar entre as artes e a física do século XVI ao XVII. In: *Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Manaus: [s.n.], 2011.
- SHLAIN, Leonard. *Art & Physics: Parallel visions in space, time & light*. New York: Morrow, 1993.
- SILVA, Ivan Lúcio da. *O ideal do Belo como princípio, meio e fim do ensino-aprendizagem da Física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2010.
- SPOLIN, Viola. *Improvisação para o teatro: teoria e prática da peça didática*. São Paulo: Perspectiva, 1998.
- SZAMOSI, Géza. *Tempo & Espaço: As dimensões gêmeas*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1988.
- TASSINARI, Alberto. *O espaço moderno*. São Paulo: Cosac Naify, 2001.
- TUAN, Yi-Fu. *Espaço e Lugar: A perspectiva da experiência*. São Paulo: DIFEL, 1983.
- TYNAN, Kenneth. *A vida como performance*. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.
- VECCHIO JR., Jacintho del. *A Filosofia de Henri Poincaré: A natureza do conhecimento científico e os paradoxos da teoria dos conjuntos*. Dissertação (Mestrado em Filosofia) — Universidade de São Paulo, 2009.

WEINBERG, Steven. *Dreams of a Final Theory*. Nova York: Pantheon, 1992.

WELLS, H. G. *The wonderful visit*. London: Macmillan and Co., 1895. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/ebooks/33913>>. Acesso em: 21/01/2011.

WELLS, H. G. The plattner story. In: _____. *Thirty strange stories*. New York: Harper & Brothers, 1898. Disponível em: <<http://gaslight.mtroyal.ca/plattner.htm>>. Acesso em: 21/01/2011.

WELLS, H. G. *The complete short stories of H. G. Wells*. London: Phoenix Press, 2000.

WELLS, H. G. *A máquina do tempo*. Lisboa: Público Comunicação Social, 2004.

WERTHEIM, Margaret. *Uma história do espaço: De dante à internet*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

WILES, David. *A short history of western performance space*. Cambridge: University Press, 2003.

ZANETIC, João. *Física também é cultura*. Tese (Doutorado) — FE-USP, São Paulo, 1989.

ZANETIC, João. Física e literatura: Construindo uma ponte entre as duas culturas. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 13 suplemento, p. 55–70, out. 2006a.

ZANETIC, João. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*, v. 17, n. 1, p. 39–57, jan./abr. 2006b.

ZEE, A. *Fearful Symmetry: the search for beauty in modern physics*. Princeton: Princeton University Press, 2007.

APÊNDICE A – Atividade de interpretação de animação a respeito das transformações de Lorentz

Visando abordar com precisão o significado físico da relatividade da simultaneidade e, de maneira mais geral, das transformações de Lorentz e de consequências associadas à noção de contração do espaço e dilatação do tempo, propus aos estudantes a atividade reproduzida a seguir¹. A atividade propõe uma série de 7 questões que visam orientar a “leitura” de uma representação espaço-temporal do movimento de atravessamento de um túnel por um trem (ou de atravessamento de um trem por um túnel). Vamos discutir separadamente cada uma dessas questões. Começemos pelo enunciado e primeira questão:

As imagens da figura A.1 representam o ponto de vista de dois referenciais distintos a respeito do movimento de um trem (na direção x), atravessando completamente um túnel. As figuras A.1a e A.1c representam este movimento segundo o referencial do túnel, enquanto as figuras A.1b e A.1d o representam segundo o referencial do trem. Está representado também nessas figuras o movimento de fótons que vão da parte de trás do trem até a sua parte da frente e, após a reflexão em um espelho, retornam à parte de trás, onde são novamente refletidos e assim sucessivamente. Por fim, está representado o movimento de fótons que partem do chão do trem, são refletidos no teto, novamente refletidos no chão e assim por diante.

1. Identificar nas figuras os movimentos descritos no enunciado.

A primeira dificuldade² que surge frente ao propósito de “ler” estas imagens refere-se à compreensão do que seja uma “representação espaço-temporal”. É necessário, para isso, reconhecer,

¹Essa atividade foi desenvolvida em diálogo com o professor Manoel Robilotta, quando tive a oportunidade de ser seu monitor no oferecimento da disciplina Complementos de Relatividade para a pós-graduação em Ensino de Ciências da USP.

²As dificuldades apontadas ao longo desse comentário retratam aquelas que pude perceber ao dialogar com os alunos a quem propus esta atividade.

Figura A.1: Imagens cuja interpretação foi proposta em exercício a respeito das Transformações de Lorentz.

nas imagens propostas, não apenas os elementos gráficos que representam o trem, o túnel e dois fótons como também a sucessão de posições que esses corpos ocupam de acordo com a passagem do tempo. O equívoco que deve ser evitado é reconhecer na figura A.1a um trem e / ou um túnel tridimensionais. Ao contrário, é necessário reconhecer nessa figura um trem bidimensional (como o da figura 4.65 na página 320), em movimento. Após algum tempo observando as imagens, chega-se geralmente à sensação de ter reconhecido o significado de cada elemento gráfico nelas presente. A questão 2, entretanto, traz novos desafios de interpretação da imagem:

2. Identificar, nos dois gráficos $xXct$ [figuras A.1c e A.1d], o caráter absoluto da velocidade da luz.

Identificar o caráter absoluto da velocidade da luz implica mostrar que esta velocidade é a mesma segundo o referencial do trem ou do túnel. Como calcular a velocidade da luz? Ora, dividindo-se o espaço percorrido pelo tempo gasto no percurso. Para isso, será necessário estabelecer um ponto “inicial” e um ponto “final” associado ao movimento do fóton e “ler” no gráfico os valores de distância percorrida e tempo gasto. Há duas dificuldades envolvidas nessa leitura:

1. a distância percorrida *não* é equivalente ao comprimento da linha que representa o movimento do fóton.

Embora nossa intuição pretenda reconhecer toda distância percorrida como o comprimento de uma linha, na representação espaço-temporal, o comprimento de uma linha não significa uma distância percorrida, já que uma das dimensões envolvidas é a dimensão temporal³. Dessa forma, a distância percorrida pelo fóton deve ser lida diretamente pela observação da variação da grandeza x , que representa a direção de seu movimento.

2.a leitura do tempo deve ser realizada de acordo com o eixo ct do gráfico.

O hábito de reconhecer o produto da velocidade pelo tempo como uma distância pode levar-nos a não reconhecer que esse eixo representa a passagem do tempo. Por que o tempo aparece então multiplicado pela velocidade da luz? Simplesmente para representá-lo em uma unidade tal que o seu valor corresponda à distância percorrida pela luz neste intervalo de tempo. Por exemplo, se as distâncias estiverem apresentadas em km , poderíamos dizer que o tempo, nesta unidade, seria apresentado em $km - luz$, unidade que representaria o tempo que a luz demora para percorrer $1km$.

Feitas essas ressalvas, deve ser possível calcular a velocidade da luz, de acordo com os dois referenciais propostos, chegando, nos dois casos, ao valor $v_{luz} = c$. A questão seguinte aborda o problema central da relatividade da simultaneidade:

3. Identificar nos gráficos o caráter relativo da simultaneidade.

Uma maneira de responder a essa questão pode ser notar que, segundo o referencial do túnel (figura A.1c), no instante $c.t = 6$ o trem está inteiro dentro do túnel, ou seja: neste instante, a parte da frente do trem coincide com a saída do túnel (*evento 1*) e a parte de trás do trem corresponde com a entrada do túnel (*evento 2*), definindo assim dois eventos que ocorrem, neste referencial, no mesmo instante, ou seja, simultaneamente. Já segundo o referencial do trem (figura A.1d), notamos que estes dois eventos não ocorrem mais no mesmo instante e não são, por isso, simultâneos: a frente do trem coincide com a saída do túnel (*evento 1*) por volta do instante $c.t \approx 3,5$, enquanto a parte de trás do trem coincide com a sua entrada (*evento 2*) por volta do instante $c.t \approx 5,5$.

É importante ressaltar que, para afirmar a relatividade da simultaneidade, não basta reconhecer que um único evento ocorre em instantes diferentes segundo um ou outro referencial. É necessário encontrar dois eventos que sejam simultâneos em um referencial, mas não em outro.

³Aliás, o comprimento de uma linha no espaço-tempo, calculado tal como nossa primeira intuição pressuporia, utilizando o teorema de Pitágoras, não possui significado físico nenhum. Entretanto, um conceito generalizado de distância, calculado como $\delta s^2 = \delta x^2 + \delta y^2 + \delta z^2 - c\delta t^2$, possui significado físico fundamental por permanecer, tal como se esperaria de uma boa definição para uma “distância espaço-temporal”, invariante quando modificamos o referencial segundo o qual se observa o movimento.

4. Identificar nos gráficos a contração de Lorentz associada ao tamanho do trem e associada ao tamanho do túnel. Quais os comprimentos próprios do trem e do túnel?

A observação das imagens A.1c e A.1d apresenta uma contradição aparente com uma interpretação descuidada da noção de contração de Lorentz. Se o trem está em movimento rápido, os tamanhos não deveriam todos contrair segundo o seu referencial? Se essa interpretação da contração de Lorentz estivesse correta, haveria uma diferença absoluta entre um referencial em “repouso” e um referencial “rápido”: para o segundo, as distâncias seriam menores. Como é um postulado fundamental da teoria da relatividade restrita a *equivalência* entre todos os referenciais inerciais, essa interpretação está evidentemente equivocada, como a observação das imagens nos demonstra.

Entretanto o trem só está em movimento rápido segundo o referencial do túnel; consequentemente, seu tamanho será menor neste referencial; segundo o referencial do trem, ao contrário, o trem está em repouso e seu comprimento é máximo, correspondendo ao seu *comprimento próprio*: $l_{trem}^0 = 3,46$. Já o túnel está em repouso segundo o referencial do túnel, mas está em movimento rápido segundo o referencial do trem, de forma que seu comprimento é menor neste último referencial e é máximo no primeiro referencial, correspondendo, neste referencial, ao *comprimento próprio*: $l_{túnel}^0 = 3,0$. Dessa forma, se explica que, na passagem do referencial do túnel ao referencial do trem (da figura A.1c à A.1d), o comprimento do túnel diminui enquanto o do trem aumenta.

5. Os intervalos δt_1 e δt_2 correspondem ao intervalo temporal entre quais eventos?

Se observássemos apenas a figura A.1c, poderíamos dizer que δt_1 é o intervalo entre o momento em que o trem começa a entrar no túnel e o momento em que ele está completamente dentro do túnel, enquanto δt_2 corresponde ao intervalo entre este último instante e a saída completa do túnel. Entretanto, quando passamos a observar também a figura A.1d, vemos que essa interpretação não se sustenta pois o instante em que o trem está completamente dentro do túnel simplesmente não existe para este último referencial. Somos assim alertados para o fato de que, como a simultaneidade entre eventos não é absoluta, mas depende do referencial, só podemos definir com precisão um evento se ele corresponder a um acontecimento local, pontual. Como a referência ao momento em que o trem está completamente dentro do túnel corresponde a um acontecimento que envolve dois pontos espaciais distintos (a entrada e a saída do túnel), não serve para definir com precisão um evento.

Levando em consideração o exposto acima e observando as duas figuras A.1c e A.1d, podemos afirmar que δt_1 é o intervalo entre o instante em que o trem começa a entrar no túnel (ou

seja, quando a *frente do trem* e o *início do túnel coincidem*) e o instante em que a *frente do trem coincide com a saída do túnel*. Já δt_2 é o intervalo entre este último instante e o instante em que o trem sai completamente do túnel (ou seja, quando a *traseira do trem* e a *saída do túnel coincidem*). Dessa forma a definição de δt_1 e δt_2 é coerente com o que observamos nas duas figuras analisadas.

6. Identificar nos gráficos a dilatação dos tempos δt_1 e δt_2 . Em qual referencial δt_1 corresponde a um tempo próprio? E δt_2 ?

Assim como ocorreu na questão 4, aqui também, contrariamente ao que poderia supor uma interpretação ingênua da noção de *dilatação do tempo*, não é verdade que no referencial do trem (que representaria, nessa interpretação, um referencial “em movimento”) o tempo “passa mais devagar”. Como vemos nas figuras A.1c e A.1d, o intervalo de tempo δt_1 é maior no referencial do túnel, enquanto o intervalo temporal δt_2 é maior no referencial do trem. Como interpretar isso? Ora, da mesma forma que interpretamos a questão da contração espacial, ou seja, procurando identificar em que referencial cada um dos intervalos corresponde a um *tempo próprio*, a um tempo de repouso.

Ao ler a resposta à questão 5, vemos que δt_1 é um intervalo temporal entre dois eventos que ocorrem na *frente do trem*. Já δt_2 é um intervalo temporal entre dois eventos que ocorrem na *saída do túnel*. Em que referencial os dois eventos associados a δt_1 ocorrem no mesmo lugar? Evidentemente, no referencial do trem (neste referencial, os eventos ocorrem no ponto⁴ $x^{trem} = 3,46$, associado à frente do trem). Portanto, δt_1 corresponderá a um tempo próprio e será mínimo neste referencial: $\delta t_1^0 = \delta t_1^{trem} = 5,2/c$. O mesmo raciocínio se aplica a δt_2 : os dois eventos associados a esse intervalo temporal acontecem no mesmo lugar apenas no referencial do túnel (correspondendo à saída do túnel: $x^{túnel} = 3,0$). Portanto, δt_2 corresponderá a um tempo próprio e será mínimo no referencial do túnel: $\delta t_2^0 = \delta t_2^{túnel} = 6/c$.

Como então dar sentido, nestes exemplos, à noção de dilatação do tempo e de relógios que funcionam mais devagar? Da seguinte forma: segundo o referencial do túnel, o cronometrista que está na frente do trem e cronometra o intervalo δt_1 está em movimento rápido. Por isso, o observador em repouso com relação ao túnel vê o relógio do cronometrista 1 funcionar mais devagar, explicando porque o valor registrado por este cronometrista $\delta t_1^0 = 5,2/c$ é menor que o valor registrado pelo referencial do túnel ($\delta t_1^{túnel} = 6/c$). Já segundo o referencial do trem, é o cronometrista que está na saída do túnel e registra o intervalo de tempo δt_2 que está em movimento rápido. Por isso, um observador em repouso com relação ao trem vê o relógio do

⁴Um esclarecimento de notação. Os sobrescritos utilizados a seguir referem-se ao referencial a partir do qual estamos analisando uma grandeza qualquer. Assim, por exemplo, δt_1^{trem} significa o valor da grandeza δt_1 segundo o referencial do trem. O sobrescrito ⁰ significa o referencial de repouso associado àquela grandeza: δt_1^0 é o valor de δt_1 em seu referencial de repouso.

Figura A.2: Representações do movimento a partir do referencial de um carro viajando, com relação ao túnel, à metade da velocidade do trem, ou seja, a um quarto da velocidade da luz.

cronometrista 2 funcionar mais devagar, explicando porque o valor registrado por este cronometrista $\delta t_2^0 = 6/c$ é menor que o valor registrado pelo referencial do trem ($\delta t_2^{trem} = 6,93/c$).

7.(difícil...) Qual seria o referencial em que o intervalo $\delta t \equiv \delta t_1 + \delta t_2$ seria mínimo?

Nesse caso, temos que aplicar o mesmo raciocínio desenvolvido a propósito da questão anterior. Perguntamos: δt corresponde ao intervalo temporal entre quais eventos? Entre o início da entrada do trem no túnel (a coincidência entre a frente do trem e a entrada do túnel) e a sua completa saída do túnel (a coincidência entre a sua traseira e a saída do túnel). Torna-se evidente que esses dois eventos não ocorrem no mesmo lugar nem no referencial do túnel (neste referencial o primeiro evento ocorre em $x^{túnel} = 3,0$ e o segundo em $x^{túnel} = 6,0$) nem no referencial do trem (neste referencial o primeiro evento ocorre em $x^{trem} = 3,46$ e o segundo em $x^{trem} = 0$). Portanto, δt não corresponde a um tempo de repouso em nenhum desses dois referenciais. Em qual referencial ele corresponderia a um tempo de repouso, sendo mínimo? Em um referencial em que os dois eventos ocorram no mesmo lugar, ou seja, na mesma posição. Associemos esse referencial a um carro que se deslocasse paralelamente ao deslocamento do trem. Para determinar qual é esse referencial do carro, precisamos determinar qual seria a velocidade deste referencial com relação ao referencial do túnel. Observando a figura A.1c, vemos que este carro precisaria estar, segundo o referencial do túnel, na posição $x^{túnel} = 3,0$ no instante $t^{túnel} = 0$ e na posição $x^{túnel} = 6,0$ no instante $t^{túnel} = 12/c$, realizando neste intervalo de tempo um deslocamento $\Delta x^{túnel} = 3,0$. Sua velocidade com relação ao referencial do túnel seria, portanto, $v_{carro}^{túnel} = \frac{3,0}{12,0/c} = 0,25c$ ⁵. Neste referencial, o intervalo temporal $\delta t \equiv \delta t_1 +$

⁵Vale a pena notar que, se quiséssemos determinar a velocidade do carro com relação ao trem, o resultado seria diferente do que poderíamos pensar ao utilizar a relatividade Galileana. Observando a figura A.1d, vemos que o carro deveria percorrer, no referencial do trem, uma distância $\Delta x^{trem} = -3,46$ em um intervalo de tempo $\Delta t^{trem} = 12,12/c$. Portanto, sua velocidade com relação ao referencial do trem deve ser $v_{carro}^{trem} = \frac{-3,46}{12,12/c} = -0,29c$ (quando, utilizando a relatividade Galileana, esperaríamos obter $v_{carro}^{trem} = -0,25c$).

δt_2 corresponde a um tempo próprio e é, portanto, mínimo. Na figura A.2 podemos ver a representação do movimento neste referencial e notar que, neste caso, temos $\delta t = 11,62/c$.

As figuras expostas a propósito deste exercício foram extraídas de uma animação que eu criei, utilizando o software *Mathematica*, para cumprir a esse propósito (CROCHIK, 2012). Através dela, é possível alterar livremente o referencial a partir do qual se analisa o movimento proposto, assim como comparar as relatividades Galileana e Einsteiniana. Durante a reflexão, os alunos foram estimulados e manipular essa animação.

APÊNDICE B – Exercício de associação entre imagens e fragmentos textuais

O exercício reproduzido a seguir¹ foi utilizado com os estudantes visando desenvolver o diálogo entre a observação de imagens e a compreensão de fragmentos textuais que problematizassem diferentes concepções espaciais.

“Associar cada uma das frases abaixo a uma (ou mais) imagens abaixo. Construir a seguir uma leitura de cada uma das imagens e uma visualização das frases a ela associadas”.

1. “O quadro é uma intersecção plana da pirâmide visual” (Leon Batista Alberti, 1435 apud PANOFSKY, 1999, p. 43-4; ver página 222)².
2. “O lugar existe antes dos corpos que se encontram nele. Portanto, é necessário estabelecê-lo graficamente antes deles” (Pomponio Gauricus, 1504 apud PANOFSKY, 1999, p. 40-1; ver página 221).
3. “Percebeis, portanto, o repouso daquela pedra, enquanto sem mover em nada os olhos a vedes sempre em frente, e percebeis que ela se move, quando para não a perder de vista, é necessário mover o órgão da visão, ou seja, o olho. Portanto, toda vez que, sem mover o olho, vísseis continuamente um objeto no mesmo aspecto, sempre o julgaríeis imóvel. (...) Imaginai agora estar num navio e ter fixado o olho na ponta do mastro: acreditais que, porque o navio se movesse também velocissimamente, ser-vos-ia necessário mover o olho para manter a vista sempre na ponta do mastro e seguir o seu movimento?” (GALILEI, 2004, p. 331; ver página 147).

¹Essa atividade foi desenvolvida em diálogo com o professor Manoel Robilotta, quando tive a oportunidade de ser seu monitor no oferecimento da disciplina Complementos de Relatividade para a pós-graduação em Ensino de Ciências da USP.

²Os autores e as fontes das citações e dos quadros apresentados nessa atividade não foram originalmente explicitados na atividade, para evitar influenciar as correlações estabelecidas pelos alunos e foram incluídos aqui apenas para registrar devidamente as autorias. Inclui aqui também a referência à página aproximada desta tese em que procuro comentar e / ou contextualizar cada frase e cada imagem.

4. “Temos negligentemente confundido esse espaço com o espaço visual puro ou com o espaço euclidiano. Euclides, em um de seus postulados, postula a indeformabilidade de figuras em movimento, portanto não preciso insistir neste ponto. Se quiséssemos associar o espaço da pintura a uma geometria particular, teríamos de recorrer aos estudiosos das geometrias não-euclidianas” (GLEIZES e METZINGER, 1912, *Du Cubism* apud HENDERSON, 1983, p. 93; ver seção 4.10.2 na página 287).
5. “Eu a chamei de paralelismo elementar. É uma decomposição formal; ou seja, elementos lineares seguindo uns aos outros como paralelas e distorcendo o objeto. O objeto é completamente esticado, como um elástico. As linhas seguem umas as outras em paralelas, modificando-se sutilmente para formar o movimento. (...) Paralelismo elementar: repetição de uma linha equivalente a uma linha elementar (no sentido de similar em qualquer ponto) para gerar uma superfície. O mesmo paralelismo ao passar do plano ao volume: espécie de multiplicação paralela do continuum n -dimensional para formar o continuum $n+1$ -dimensional” (DUCHAMP, apud HENDERSON, 1983, p. 127; ver página 307).
6. “As teorias do espaço e as do tempo são, assim, paralelas. Para passar de uma a outra foi suficiente mudar uma palavra: substituiu-se ‘justaposição’ por ‘sucessão’. Desviou-se sistematicamente da duração real. (...) O real não são os ‘estados’, simples instantâneos tomados por nós, ainda uma vez, ao longo da mudança; é, ao contrário, o fluxo, é a continuidade de transição, é a mudança ela mesma. Esta mudança é indivisível, e mesmo substancial. (...) Restituamos ao movimento sua mobilidade, à mudança sua fluidez, ao tempo sua duração” (BERGSON, 1974, p. 109-11; ver página 310).
7. “Parece-me claro que essa sucessão não será encontrada na repetição de pernas, braços e rostos, como muitas pessoas estupidamente acreditaram, mas será alcançada através da busca intuitiva pela forma única que oferece continuidade no espaço. É a forma-tipo [form-type] que faz o objeto viver no universal. Portanto, ao invés do antiquado conceito de diferenciação nítida entre corpos, (...) nós utilizamos o conceito de continuidade dinâmica como forma única” (BOCCIONI apud HENDERSON, 1983, p. 110; ver página 311).
8. “Você não leva a sério as quatro dimensões da relatividade e considera o presente como se ele fosse a realidade única. O que você chama de ‘mundo’ corresponde, na terminologia da física, a ‘seções espaciais’ para as quais a teoria da relatividade, mesmo a relatividade especial, nega realidade objetiva” (EINSTEIN apud LEVRINI, 2002, p. 611; ver página 321).

9. “Assim termina a notável história dos olhos de Davidson. É talvez o melhor caso autenticado de existência de visão à distância. Explicação não há, exceto a que o professor Wade ofereceu. Mas essa explicação invoca a quarta dimensão e uma dissertação a respeito dos tipos teóricos de espaço. Falar de torções no espaço é simplesmente absurdo para mim. Talvez porque eu não seja matemático. Quando eu disse que nada iria alterar o fato de que o local está a oito quilômetros de distância, ele respondeu que dois pontos podem estar a um metro de distância e ainda assim ser reunidos torcendo o papel” (WELLS, 2000, p. 70; ver página 294).

(a) DUCHAMP, Marcel. Nude Descending a Staircase No. 2, 1912 (ver página 307).

(b) GRIS, Juan. Paisagem com casas em Ceret, 1913 (ver página 295).

(c) BOCCIONI, Umberto. Formas únicas de continuidade no espaço, 1913 (ver página 311).

(d) EYCK, Jan Van. Ofício Fúnebre. Entre 1415 e 1417 (ver página 224) .

Figura B.1