UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

KLEBER ROBERTO SCHÜTT

O DIÁLOGO ENTRE A FÍSICA E A ARTE NO RENASCIMENTO

Construindo uma proposta interdisciplinar envolvendo o estudo de pontes no ensino médio

SÃO PAULO

2015

KLEBER ROBERTO SCHÜTT

O DIÁLOGO ENTRE A FÍSICA E A ARTE NO RENASCIMENTO

Construindo uma proposta interdisciplinar envolvendo o estudo de pontes no ensino médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Versão Corrigida. O documento original encontra-se disponível na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD).

Área de Concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

SÃO PAULO

2015

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

Schütt, Kleber Roberto

O diálogo entre a física e a arte no Renascimento: construindo uma proposta interdisciplinar envolvendo o estudo de pontes no ensino médio. São Paulo, 2015.

Dissertação (Mestrado) – 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. Interdisciplinaridade; 3. Renascimento; 4. História da ciência; 5. Estática.

USP/IF/SBI-091/2015

Kleber Roberto Schütt

O DIÁLOGO ENTRE A FÍSICA E A ARTE NO RENASCIMENTO

Construindo uma proposta interdisciplinar envolvendo o estudo de pontes no ensino médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

Aprovado por:

_____

Prof. Dr. João Zanetic

_____

Prof. Dr. José Cláudio Reis

_____

Prof. Dr. Ivã Gurgel

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Wilson e Dulcineia, por sempre me apoiarem e oferecerem condições nos meus estudos. Por mostrarem que por meio do esforço, honestidade e estudo consegue-se alcançar os sonhos mais utópicos.

À minha querida amiga Lucimara que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis dessa caminhada. Pelos diversos diálogos sobre política que contribuíram imensamente para minha visão de mundo.

Ao meu colega e orientador informal, Leonardo Crochik, sem o qual não teria conhecido o fascinante mundo da arte. Por fazer parte da minha formação como educador, mostrando uma visão de educação na qual me espelho em minhas aulas. Pelas diversas conversas, livros e artigos que foram fundamentais para essa dissertação.

À minha amiga de turma Kellen por lutar ao meu lado por uma educação melhor e por ouvir minhas frustrações nessa jornada acadêmica.

Ao meu querido orientador João Zanetic que sempre me apoiou e acreditou em meu trabalho. Pelas inúmeras conversas e orientação que fizeram com que essa dissertação fosse concluída. Por compartilhar seu conhecimento e vivência que propiciaram a mim uma reflexão sobre minha vida como pessoa e educador.

Aos meus estudantes da E.E. Prof. Claudinei Garcia que são uma parte importante nesse trabalho, pois sem eles nada disso teria sentido. Por compartilharmos experiências, sejam boas ou ruins, não somente no projeto, mas por todo o ano letivo.

À CAPES pela bolsa concedida e por acreditar no meu trabalho.

RESUMO

Neste trabalho utilizamos o tema gerador relacionado à pontes para construirmos, com o apoio dos professores de arte e de história, discussões históricas sobre a física e a arte do período renascentista por meio de uma sequência didática. Além das discussões históricas, nas atividades também trabalhamos questões referentes à matematização da natureza e à estática dos corpos rígidos. Buscamos na educação humanizadora de Paulo Freire nossa base pedagógica para a construção de nossa sequência valorizando atributos como a criatividade, a imaginação e a experiência em oposição à um ensino que preze a memorização e as repetições excessivas. A segunda parte deste trabalho apresentamos a aplicação da sequência no ensino médio de uma escola pública e a análise qualitativa das aulas, das atividades e de um questionário.

ABSTRACT

In this work we utilized the themes-generators related to bridges to build, with the support of art and history professors, historical discussions about physics and the art during the renaissance period through a didactic sequence. Besides the historical discussions, in the activities we also worked with questions related to the mathematization of nature and to the static of rigid bodies. We sought in the humanizing education of Paulo Freire our pedagogical basis for the construction of our sequence, valuing attributes like creativity, imagination and the experience as opposed to an education that values memorizing and excessive repetitions. In the second part of this paper we present the application of the sequence in a public high school and the qualitative analysis of the classes, activities and a questionnaire.

SUMÁRIO

1 Introdução

Este trabalho tem o objetivo de discutir algumas relações entre a física e a arte no Renascimento, mais especificamente na busca de ambas por uma harmonia e ordem matemática, por meio de uma situação problema. Essa reflexão pode auxiliar o estudante a compreender que a física está inserida num contexto sociocultural e, por isso, pode influenciar e também ser influenciada por outras áreas do conhecimento.

Segundo Queiroz (1995), tanto a arte medieval quanto a arte renascentista procuram imitar a ordem cósmica na qual são produzidas. Todavia, qual a distinção entre essas imitações da ordem cósmica? Por que o pensamento de um universo qualitativamente elaborado foi desenvolvendo-se para um universo homogêneo e estruturado a partir de leis matemáticas? Qual a influência que essa nova visão trouxe tanto à arte quanto à física?

Nicolau de Cusa (1401-1464), por exemplo, foi uma figura de transição entre o pensamento medieval e renascentista. Em suas obras filosóficas, como *Docta Ignorantia*, Cusa referia-se a um método de conhecimento pautado mais na matemática e razão (GUENDELMAN, 2009), sendo que todo pensamento consistia de uma comparação entre o desconhecido e o conhecido por meio de uma relação que melhor se expressa em números.

Cusa argumenta que toda investigação é comparativa, já que é necessário comparar o incerto a um pressuposto certo por um sistema de proporções. Assim, o conhecimento, pode-se dizer, é comparação, é colocar todas as partes em proporção para que, do conhecido, revele-se o desconhecido.

Leon Battista Alberti (1404-1472) foi um arquiteto, matemático, pintor e escultor que descreveu, sistematicamente, a construção da perspectiva em seu tratado *Della Pictura*. Foi o primeiro autor a trazer uma análise científica da perspectiva preocupando-se, assim como seu amigo Brunelleschi (1377-1446), com o estudo das proporções dos edifícios, da geometrização do espaço e da perspectiva.

Pode-se fazer uma analogia do pensamento de Cusa com a concepção de beleza albertiana:

> A beleza é uma certa harmonia regular entre todas as partes de uma coisa, harmonia tal que nada lhe pode ser subtraído ou adicionado ou mudado, sem que se lhe diminua o encanto. (...) Todas as partes que formam um todo construído o são segundo um número fixo, uma certa relação, uma

> certa ordem, como exigido pelo princípio de simetria, que é a lei mais elevada e mais perfeita da natureza (apud BRANDÃO, 1958, p. 52).

Desse modo, a beleza é caracterizada pela harmonia das partes e engloba a procura de proporções que sejam harmônicas, ou seja, é pelos números e pela proporção que a arte se torna bela. O conhecimento, a constituição do universo, também desfruta dessa ideia já que se faz por meio da proporcionalidade, conferindo-lhe beleza.

Assim, o ato de "medir" torna-se uma das primeiras coisas que o arquiteto, o pintor e o cientista têm que fazer, já que apenas por meio dos números é possível estabelecer as proporções. Alberti e Cusa compartilham, desse modo, da mesma ideia na incorruptível certeza da matemática que, assim, adquire uma importância especial.

Outro exemplo dessa busca pela harmonia por meio dos números é o homem vitruviano (figura 1). Esse conceito traz um modelo das proporções do corpo humano por meio de um raciocínio matemático que tem como base, em parte, a divina proporção[1]. Apesar dessa ideia não ser originária do Renascimento, sendo apresentada na obra *Os dez livros da Arquitetura* do arquiteto e engenheiro Marcus Vitruvius que viveu no séc. I a.C, foi apenas nas mãos de Leonardo da Vinci (1452-1519) que ela ganhou forma.

[1] É uma constante que vale, aproximadamente, 1,618. É um número que há muito tempo é empregado na arte como, por exemplo, por Leonardo da Vinci e Michelangelo. Essa razão também aparece em diversas formas na natureza.

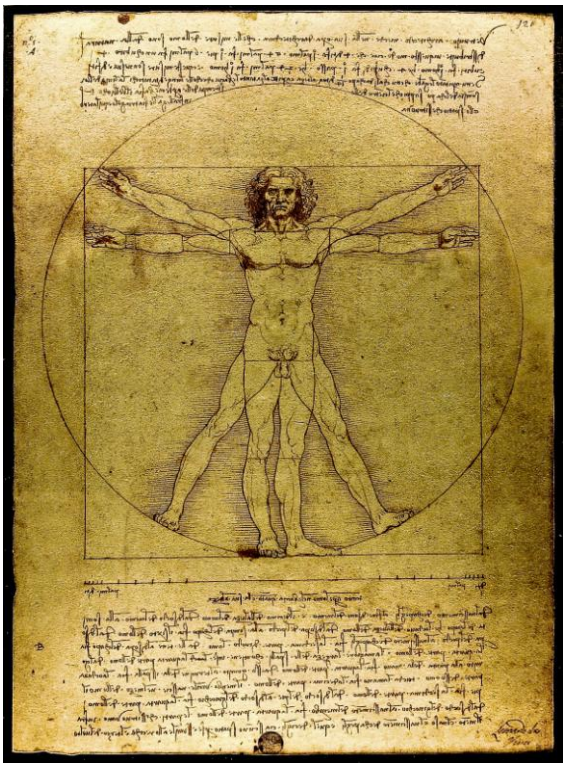


Figura 1: O Homem Vitruviano de Leonardo da Vinci, 1490.
Fonte: OLIVEIRA; FERREIRA, 2010.

A maior dificuldade resolvida por Leonardo não foi as proporções do homem, mas harmonizá-las com as figuras geométricas colocando o corpo humano estendido, adaptado no círculo e no quadrado, consideradas formas perfeitas. Nas tentativas anteriores à de Leonardo, colocava-se o círculo e o quadrado centralizados no mesmo ponto, o que não produzia a harmonia pretendida.

Já Leonardo decidiu utilizar duas formas da figura humana sobre uma mesma base e adaptar, para cada uma delas, o quadrado e o círculo. Desse modo, o desenho do homem seguiu as seguintes proporções:

> - A altura do corpo, que, segundo Vitrúvio, é igual à largura dos braços, encaixa-se perfeitamente em um quadrado;
> - Os braços levantados à altura da cabeça tocam o círculo; o mesmo acontece com as pernas abertas (OLIVEIRA; FERREIRA, 2010, p. 71).

Em relação à ciência, podemos citar Kepler que já demostra esse pensamento no título do seu livro *Mistério Cosmográfico,* no qual tem como tema principal a harmonia das formas geométricas e dos fenômenos físicos e expõe explicações sobre a ordem do universo por meio da geometria.

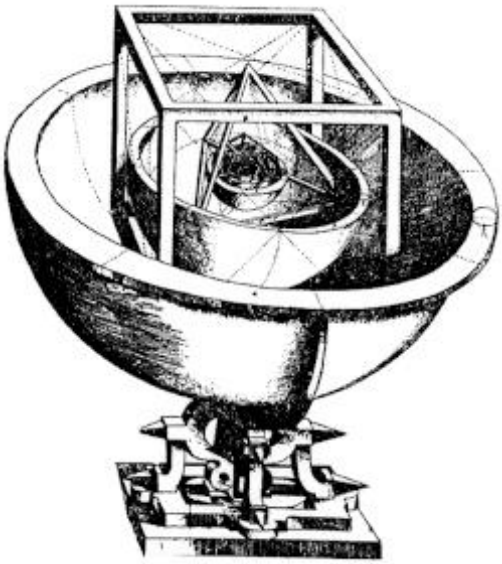


Figura 2: O modelo dos sólidos perfeitos de Kepler. As órbitas dos seis planetas estão inscritas e circunscritas nos cinco sólidos perfeitos.
Fonte: Mourão, 2003.

Kepler teve uma ideia quando, em uma aula, desenhava um triângulo equilátero com um círculo inscrito no seu interior e outro circunscrito à sua volta e percebeu que a relação dos raios desses círculos era igual à relação entre os raios das órbitas de Saturno e Júpiter. Kepler tentou

> (...) inscrever no intervalo seguinte, entre Júpiter e Marte, um quadrado, entre Marte e a Terra, um pentágono, entre a Terra e Vênus, um hexágono (...). Não deu certo (...). Foi preciso procurar formas tridimensionais (KOESTLER, nota 12, p. 169 Apud ZANETIC, 2007, p. 94)

Desse modo, Kepler acreditou estar perto de alguma relação especial, divina, mas abandonou a ideia de utilizar figuras geométricas planas porque elas não estavam dando certo. No entanto, sua atenção foi atraída pelos sólidos regulares perfeitos quando percebeu que as cinco figuras coincidiam com as seis órbitas. Assim, Kepler buscou uma harmonia cósmica relacionando os sólidos perfeitos (cubo, tetraedro, dodecaedro, octaedro e icosaedro) com as órbitas dos seis planetas conhecidos até então (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno) (figura 2), tentando criar um modelo cósmico baseado nos sólidos perfeitos numa sequência de esferas orbitando em volta do Sol.

Aprofundo essa discussão histórica no capítulo 5, apresentando o contexto renascentista, em especial com relação ao humanismo, que ajudará o leitor a se localizar e perceber as ideias que permeavam essa época e que permitiram algumas mudanças de pensamento, principalmente pela busca por uma ordem matemática na natureza. Todavia, não

analiso todas as correntes de pensamentos ou fatos que permeavam aquela época, assim como não me preocupei em fazer uma descrição linear dos fatos. Acredito que o trabalho seria demasiado longo e complexo, e não temos como objetivo fazer um total e complexo resgate histórico ou filosófico desse período.

Assim, discuto, nesse capítulo, as visões de mundo aristotélica e neoplatônica, analisando de que maneira elas influenciaram o pensamento da ciência naquela época. Inicio a discussão retratando o modo como o pensamento aristotélico foi um passo significativo para um entendimento mais lógico da natureza, mas, ao mesmo tempo, transformou-se em um dogma, dificultando a aceitação de conceitos e pensamento que viriam posteriormente. Em seguida, resgato o contexto da Revolução Copernicana com o intuito de refletir sobre como a compreensão de Deus como um ordenador da natureza, que utiliza a matemática como instrumento para essa ordem, estava presente na física.

No capítulo 6, trago algumas influências da ideia da matemática como linguagem da natureza que influenciou as artes, em especial a pintura e a arquitetura. Assim, discuto, brevemente, a perspectiva renascentista como uma maneira de geometrizar o espaço e sua utilização tanto na pintura quanto na arquitetura. Além disso, abordo a busca por esse ideal de beleza que se relacionava com a simetria e a matemática.

A discussão pedagógica será tratada no capítulo 2, na qual utilizo como base pedagógica para construção e discussão das atividades propostas o pensamento de Paulo Freire por considerá-lo um educador que busca a educação como processo de liberdade, de reflexão e humanização em detrimento de uma perspectiva educacional que objetiva apenas a transferência de saber, minimizando a reflexão. Essa escolha vem tanto de uma influência por parte do meu orientador, João Zanetic, quanto de minha própria vivência como aluno e agora como professor da rede pública de ensino, regada, também, por um amadurecimento intelectual.

Início o capítulo com uma reflexão sobre o papel da escola, em especial da aprendizagem, na sociedade contemporânea. Tal discussão ressalta a atual facilidade de se obter informação por meio da internet e dos aparelhos eletrônicos e, por isso, acredito que o papel da escola como apenas uma transferidora de informações deve ser questionado.

Assim, busco na educação humanizadora de Paulo Freire um ensino como prática libertadora, que estimule a reflexão e ação do sujeito sobre sua realidade, na busca de um “ser mais”. Trago, também, um diálogo entre a educação humanizadora de Freire e o conceito de

experiência do educador Jorge Larrosa. Em seguida, baseando-me na tese de doutorado de Zanetic (1989), trato da relação entre a física e a cultura e de sua importância para o ensino de

Reservo o capítulo 3 para discutir a proposta desta pesquisa iniciando-a a partir da problematização de uma situação real da escola. Apresento os detalhes e fotos tanto do projeto quanto de uma ponte que está em construção no entorno da escola. Utilizo essa situação para iniciar nossa discussão sobre a observação da natureza. Desse modo, procuro fazer uma relação entre essa situação e a possibilidade de se dar mais atenção aos projetos arquitetônicos do Renascimento, permitindo a abstração da obra em um espaço bidimensional antes de sua construção real, devido à utilização da perspectiva que, de certo modo, permitiu a geometrização do espaço. Por fim, apresento a metodologia a ser que seguida no decorrer deste trabalho.

No capítulo 4, abordo alguns autores que discutem a ponte entre ciência e arte. Discuto, principalmente, como a arte representou as mudanças que estavam ocorrendo no final do século XIX e início do século XX, período em que discussões referentes ao espaço e ao tempo estavam presentes tanto na física quanto na arte.

No capítulo 7, apresento algumas atividades que serão trabalhadas em sala de aula. As atividades visam possibilitar o entendimento da física como parte da cultura, compreendendo como a influência do pensamento da matemática como linguagem da natureza influenciou ambas as partes. Proponho atividades em que o estudante tenha condições de expressar sua criatividade e imaginação, e possa experimentar de uma maneira diferente a física.

Na segunda parte desta dissertação, que compreende os capítulos 8 e 9, destaco a parte prática do trabalho. Nesse espaço, descrevo todas as aulas, da maneira mais detalhada possível, e, por fim, faço uma análise qualitativa da sequência baseando-se em um questionário e nas anotações de aulas. Nessa análise, trato do conceito de equilíbrio para explicar uma possível causa para todos os estudantes projetarem sua ponte de macarrão de maneira simétrica.

1.2 Minha jornada

Tocava o sinal das 07h00min. Era hora de iniciarmos mais um dia de aula na escola. Eu, como sempre, sentava na carteira à frente dos professores e lá ficava até o fim da aula, apenas escrevendo, ouvindo e fazendo exercícios. E como era, e ainda sou, muito tímido, não mantinha um diálogo seja com os colegas de classe seja com os professores. Eu entrava e saia calado.

Os professores, no olhar daquela época, eram fascinantes e misteriosos! Acreditava que eles eram figuras de outro mundo com grande conhecimento, mas ao mesmo tempo o receio e o medo eram constantes. Medo de perguntar bobeira, de levar bronca, de falar bobagens, medo da imagem do professor.

E assim meu ensino médio numa escola pública perdurou até o terceiro ano sem novidade, quando reconheci que queria fazer física. Já tinha contato com a física desde a oitava série, nas aulas de ciências, mas ela nunca tinha despertado um “algo a mais” em mim. Apesar da facilidade de resolver e compreender os termos de física na aula, eu não tinha a ideia de torná-la minha vida profissional.

No entanto, no terceiro ano do ensino médio, comecei a pesquisar assuntos relacionados à astronomia porque queria compreender o Universo, entender seu funcionamento. Aquilo me fascinava. A internet foi de grande ajuda nessa busca, já que via vídeos, lia artigos e observava fotos com o maior entusiasmo, curiosidade e admiração. Era deslumbrante entender que cada ponto brilhante no céu era uma estrela semelhante ao nosso Sol.

Mais um dia de aula iniciava-se. Nas aulas de física, meu interesse confrontava-se com uma física-matemática, em que apenas memorizávamos uma fórmula e depois tínhamos que resolver exercícios. Eu decorava bem e resolvia todas as questões sem erro, era um típico aluno “nota dez” em todas as matérias.

Perguntava-me como algo que proporcionava horas de prazer podia ser tão maçante e desnecessário na escola. O que eram aquelas fórmulas? O que era um elétron, próton ou nêutron? Para que eu precisaria entender a lei de Ohm ou o Eletromagnetismo?

Por fim, tinha decidido que iria entender o que é física realmente e, por isso, fui procurar um curso dessa área. A vontade de ser professor não é algo que veio desde criança, na verdade até o terceiro ano nunca havia passado pela minha cabeça ser professor, mas com

o decorrer do ano fui criando a ideia de poder fazer diferente e mostrar para outras pessoas uma física, que na minha visão, era apaixonante e bela.

Assim, inscrevi-me na licenciatura em Física. Consegui uma vaga no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo e lá foi minha casa por quatro anos. Confesso que tinha em mente que se eu não gostasse do curso, ou de ser professor, eu iria sair e fazer outra coisa, possivelmente relacionado à informática. No entanto, com o passar dos semestres, o amor e a dedicação pela educação, por saber que existem diferentes pontos de reflexão sobre o processo de ensino-aprendizagem de física, foi crescendo.

No terceiro semestre, tive meu primeiro contato com o mundo artístico. Estavam abertas inscrições para uma turma de teatro e eu comecei a participar do grupo. A experiência em minha vida foi realmente incrível porque, além de abordarmos alguns temas relacionados à física, entrei em contato com uma experiência corporal, pessoal e também coletiva, enriquecedora para minha formação como pessoa e como professor.

Entre as tardes das sextas-feiras, um ano e meio se passaram até que o grupo de teatro terminou. O professor[2] responsável pelo grupo convidou-nos para participar de um programa que estava começando, o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). O tema que iríamos trabalhar era relacionado às artes e à física. Assim, abordávamos a literatura, a música, a pintura e, logicamente, o teatro.

Foi nesse grupo de pesquisa que tive contato com o trabalho da Viola Spolin. Autora e diretora de teatro, ela trouxe uma inovação no mundo teatral com relação à improvisação. Muito mais que isso, era a partir da Spolin que o professor de teatro buscava as atividades. Desse modo, passei a compreender o que se passava naquelas aulas, o que fazíamos e com qual objetivo. Minha relação com o teatro tinha mudado.

Devido a essa experiência marcante, permito-me utilizar essa autora em alguns pontos deste trabalho. Talvez a transposição de áreas seja demasiadamente perigosa e incerta porque seu livro “Jogos Teatrais” é feito para a educação teatral e não para o ensino de física. Apesar disso, acredito que trazer o diálogo entre esses dois domínios pode enriquecer e abrir novos horizontes tanto para críticas quanto para novas ideias.

Meu segundo contato com as artes deu-se no quarto semestre quando decidi fazer aulas de dança. O gosto e o prazer que a dança me proporcionava era enorme. Tanto que após três anos de aulas, tornei-me professor de dança.

---

[2] Professor Leonardo Crochik, co-orientador não oficial deste trabalho.

Apesar de não ser um pintor, ou crítico de arte, ou mesmo arquiteto; aprecio essas áreas e vejo grande potencial no diálogo entre a física e a arte para a educação e na compreensão sociocultural da física. Talvez esse trabalho seja uma extensão do meu projeto do PIBID, que tinha como enfoque mais a parte prática, ou seja, a confecção, a aplicação e a reflexão sobre atividades em sala de aula, do que a parte teórica. Resgato algumas atividades propostas anteriormente, com algumas mudanças, e complemento-as com um enfoque teórico.

Quando comecei o mestrado, já trazia essa ideia de trabalhar o diálogo entre a física e a arte. Em uma primeira versão de projeto, eu tinha o objetivo de trazer um ensino que propiciasse aos estudantes, e aos educadores, uma experiência pessoal, uma relação mais subjetiva com o objeto cognoscível. Esse ato de experienciar iria ser obtido por meio da relação entre essas duas disciplinas.

Todavia, essa ideia foi abandonada tanto por ser uma pesquisa extremamente subjetiva o que, de certa forma, dificultaria a reflexão após a aplicação da atividade quanto por ter poucos referenciais teóricos que dessem suporte às minhas intenções. Apesar de não ser o objetivo principal deste trabalho, ainda utilizo a ideia de experiência do sujeito; discuto-a no capítulo 2, por acreditar no seu potencial para a educação.

Em uma segunda versão do projeto, já pretendia utilizar o contexto renascentista como palco para a ponte entre a física e a arte. Essa pretensão advém, de certa forma, do PIBID, uma vez que utilizei o contexto renascentista para discutir a relação entre a física e a pintura.

No decorrer da pesquisa, no entanto, percebi que havia uma obra em uma ponte próxima à escola onde dou aula, e isso estava gerando discussões e dúvidas. Com a demolição da ponte, foi necessário efetuar um desvio, tanto de carro quanto a pé, para ter acesso à avenida que leva até o centro de Osasco. Não apenas isso, a reclamação da sujeira e do transtorno da obra era frequente por parte dos estudantes- pois alguns utilizavam a ponte como caminho para a escola, bem como por parte dos moradores.

Como Osasco convive há tempos com o problema de enchente, essa obra veio com o objetivo de melhorar esse problema. Dessa forma, foi feito o alargamento do rio, sendo necessário aumentar a vasão de água que passa por debaixo da ponte e, por isso, ela foi demolida e uma nova está sendo construída.

Devido a esses fatos, decidi problematizar essa situação e trazê-la para este projeto por acreditar ser uma excelente oportunidade de realizar um trabalho que dialogue com o cotidiano do estudante, sendo eventualmente uma espécie de tema gerador no sentido freireano.

2 Pressupostos educacionais

Neste capítulo, pretendo construir os alicerces pedagógicos que sustentam nossa proposta e que direcionam nosso pensamento na construção das atividades, na aplicação delas e na posterior reflexão, crítica, a seu respeito.

Como professor de física do ensino público, mesmo que com uma trajetória ainda curta, busco refletir sobre o ensino de física no âmbito público. Essa reflexão não será sobre, estando fora dele, mas sim a partir do e com o ensino médio público. Se discursarmos apenas estando fora desse espaço escolar poderemos cair num bláblablá teórico com pouca, ou nenhuma, ligação com a realidade e se nos mantivermos apenas nesse espaço poderemos perder a riqueza das situações, caindo num simples fazer. Assim, não abordarei um discurso de extremos, mas um com base na dialética presença-ausência, teoria-prática, pois assim, acredito poder fazer uma reflexão mais rica e completa. É nessa confluência de reflexão e ação que este trabalho encontra identidade com a análise e proposta pedagógica de Paulo Freire.

2.1 O papel da escola na atualidade

Nos dias de hoje, a tecnologia tem provocado mudanças significativas na sociedade, nas formas de pensar, organizar ou buscar informação. Na era da informação ou do conhecimento, percebemos que nossos estudantes buscam e absorvem grande parte de informação por meio das tecnologias a que eles têm acesso como, por exemplo, a televisão, o rádio e, principalmente, a internet, acessada nos computadores, celulares, *tablets* e *smartphones*. Essas facilidades de hoje encurtam distâncias e oferecem uma enorme quantidade de informação a poucos "*clicks*" dos estudantes.

> (...) estamos vivenciando um acelerado processo de convergência digital, cuja única plataforma de rede de telecomunicações (a internet) está

> absorvendo o transporte de serviços e mídias distintos (periódicos, jornais, livros, rádio, televisão, vídeo, música, etc) (NUNES, 2010, p. 21).

Antigamente, se precisássemos consultar algum assunto para fazer uma pesquisa escolar tínhamos como principal fonte de pesquisa os livros, os quais eram encontrados na própria escola ou em alguma biblioteca pública. A relação informação-tempo era longa, sendo necessário ir, na maioria das vezes, a um espaço físico, nesse caso a biblioteca, escolher um livro pertinente ao assunto, encontrar a página correta, ler, refletir e comparar com outros livros. Dessa maneira, nascia, mesmo que aqui retratada de modo ideal, uma pesquisa escolar.

No entanto, essa relação informação-tempo diminuiu drasticamente na atualidade. O espaço físico da biblioteca não é mais tão chamativo devido à grande facilidade de se obter informação pela internet. Se compararmos, idealmente também, os passos para uma possível pesquisa utilizando apenas a internet nos dias atuais ela se iniciará em qualquer espaço físico que contenha aparelhos com acesso à rede, passará pela digitação do assunto em uma página de pesquisa, depois a escolha do sítio com o assunto pertinente, a leitura, a reflexão e a comparação com outros sítios.

Transcreverei um exemplo que ilustra essa facilidade de acesso à informação. Estava em uma aula cujo objetivo era explicar a diferença entre calor e temperatura em uma turma do segundo ano do ensino médio quando, antes de iniciar o assunto propriamente dito, perguntei a opinião deles sobre esses dois conceitos e se havia diferença entre eles ou não. Fui anotando no quadro todas as respostas que eram ditas até que um estudante disse (informação verbal)[3]:

> Calor: é uma forma de transferir energia de um sistema a outro sendo externo ao objeto ou corpo. O calor é definido como energia em trânsito, ou seja, que passa de um corpo para outro (do corpo mais quente para o mais frio).
>
> Temperatura: é chamada de energia cinética e está associada ao estado de movimento ou à agitação das partículas que compõem os corpos. Nos possibilita entender sensações de quente ou frio medindo com termômetro, ou ao tocar um corpo ou objeto.

Na verdade, o que ele disse tinha acabado de ser pesquisado na internet pelo celular[4]. Fui conferir com ele o caminho para se chegar a essa informação. Foi simplesmente digitar na página de pesquisa: diferença entre calor e temperatura, entrou no primeiro sítio que apareceu, que nesse caso foi um blog adolescente, e leu o que estava lá.

---

[3] Informação dita por um estudante do segundo ano do ensino médio da escola E.E. Prof. Claudinei Garcia.

[4] O site pesquisado pelo estudante foi: http://keylamoreira.blogspot.com.br/2011/03/qual-diferenca-entre-calor-e.html

Uma das consequências que o excesso de informação proporciona é que, ao invés de informar, ele desinforma, uma vez que não conseguimos acompanhar todas as informações e, devido a isso, acaba dificultando a consciência sobre o que é relevante ou não (PILON, 2011). Além disso, o conteúdo disperso dessas informações contribui, se não houver um direcionamento, para que nada seja visto a fundo ou com a atenção necessária.

Concordo com Leão Serva com relação ao conceito de "desinformação funcional" em que "as pessoas consomem informações através de um ou mais meios de comunicação, mas não conseguem compor com tais informações uma compreensão do mundo ou dos fatos narrados nas informações que consumiram" (SERVA, 2001, p. 71).

O estudante, então, vivendo nesse turbilhão de informações rápidas, vai à escola, entra na sala, senta-se na cadeira e participa, na maioria das vezes passivamente, de uma aula sobre a segunda lei de Newton. Vê a definição, a fórmula F=ma e faz exercícios de fixação. Talvez ouça alguns minutos o educador narrando a história de Newton. Ao fim da aula, o educador retira-se da classe e, logo em seguida, começa outra aula, mas dessa vez sobre a Roma antiga. Então, copia um texto sobre o tema da lousa e ouve o educador "explicar" o texto.

No contexto escolar, as aulas podem ser apenas mais um lugar de transmitir informação/conhecimento, mesmo essa sendo mais direcionada, objetivando o acúmulo e memorização de conteúdo. Este trabalho, contudo, não se apoia nessa perspectiva de educação, que preza apenas o acúmulo de mais e mais conhecimentos sem uma reflexão e crítica sobre esses. Por isso, reforço essa discussão sobre o papel da escola nessa era da informação. A escola seria um ambiente para acumular conhecimento? Para preparar o estudante para o vestibular? Ou apenas uma formalidade em que o estudante deve ultrapassar os anos para ter o seu diploma em mãos?

Nessa inquietação, busco em Paulo Freire uma visão de ensino que preze uma formação reflexiva e humanizadora e não apenas de acúmulo e memorização de conhecimentos. O conhecimento, na visão Freire (1987, p.33), só existe "na invenção, na reinvenção, na busca inquieta, impaciente, permanente, que os homens fazem no mundo, com o mundo e com os outros". Ou seja, a construção do conhecimento pelo sujeito perpassa não apenas na dimensão cognitiva, mas também nas dimensões políticas, sociais, econômicas e culturais do ambiente onde ele vive.

Assim, o conhecimento é sempre um ato dialógico que envolve sujeitos ativos, que interagem e se comunicam, e o mundo onde vivem. Com característica integradora e

interativa, não é algo estático, separado do mundo, mas faz-se no mundo, com o mundo e com os sujeitos, baseando-se em uma permanente relação entre os intervenientes.

O ato de conhecer, portanto, não está ligado apenas à ação de adquirir informação, num simples "quanto mais melhor", mas na articulação dialética da experiência da vida prática com a sistematização rigorosa e crítica. Sua construção não se dá por meio da transferência passiva desse saber, por um sujeito detentor do conhecimento, para um sujeito "vazio", que espera, ansiosamente, para ser preenchido com conhecimento.

A visão do professor como aquele que transfere valores e conhecimento, que informa e narra para estudantes que nada sabem e que esperam ansiosamente o pacote de conhecimento, é problematizada por Paulo Freire:

> Para a concepção "bancária", a consciência é, em sua relação com o mundo, esta "peça" passivamente escancarada a ele, a espera de que entre nela, coerentemente concluirá que ao educador não cabe nenhum outro papel que não o de disciplinar a entrada do mundo nos educandos. Seu trabalho será, também, o de imitar o mundo. O de ordenar o que já se faz espontaneamente. O de "encher" os educandos de conteúdos. É o de fazer depósitos de "comunicados" – falso saber – que ele considera como verdadeiro saber (1987, p. 36).

Na concepção bancária, o "educar" é apenas um ato de introduzir o mundo na consciência do sujeito, apassivando-o e adaptando-o ao mundo, controlando seu direito ao pensar e à ação. Pressupõe sujeitos no mundo e não com o mundo e com os outros. Sujeitos espectadores que precisam encher sua consciência da "realidade" do mundo. Uma realidade imposta, mistificada que não é do sujeito e que serve apenas à domesticação.

Quando um estudante posiciona-se como receptor do conhecimento, não lhe é permitido refletir e questionar sobre o que aprendeu e quais são suas relações com o mundo, com si mesmo e com os outros. Nega-se, assim, seu direito de "ser mais".

2.2 - Em Busca de um Ensino Humanizador

Explorarei as ideias de educação problematizadora de Paulo Freire, uma vez que este trabalho filia-se a uma prática libertadora, que tem como base a criatividade estimuladora da reflexão e da ação dos sujeitos sobre o mundo, na sua realidade. Uma prática que, como

salienta Freire (1987), não seja um mero diálogo vertical, partindo de cima para baixo, mas horizontal, entre estudantes e educadores.

> E que é o diálogo? É uma relação horizontal de A com B. Nasce de uma matriz crítica e gera criticidade (Jaspers). Nutre-se do amor, da humildade, da esperança, da fé, da confiança. Por isso, só o diálogo comunica. E quando os dois pólos do diálogo se ligam assim, com amor, com esperança, com fé um no outro, se fazem críticos na busca de algo. Instala-se então, uma relação de simpatia entre ambos. Só aí há comunicação (FREIRE, 1994, p. 115).

Na relação vertical, temos a figura que possui uma sabedoria inquestionável e abaixo dela a figura que espera, ansiosamente, ser iluminada por essa inteligência superior. Nessa relação, preza-se a transferência e o acúmulo de "conhecimentos" e valores, o que dificulta o diálogo entre ambas as partes. Numa relação horizontal, o diálogo floresce possibilitando uma educação problematizadora.

> A educação libertadora, problematizadora, já não pode ser o ato de depositar, ou de narrar, ou de transferir, ou de transmitir "conhecimentos" e valores aos educandos, meros pacientes, à maneira da educação "bancária", mas um ato cognoscente. Como situação gnosiológica, em que o objeto cognoscível, em lugar de ser o término do ato cognoscente de um sujeito, é o mediatizador de sujeitos cognoscentes, educador, de um lado, educandos, de outro, a educação problematizadora coloca, desde logo, a exigência da superação da contradição educador-educandos. Sem esta, não é possível a relação dialógica, indispensável à cognoscibilidade dos sujeitos cognoscentes, em torno do mesmo objeto cognoscível (FREIRE, 1987, p. 39).

A educação problematizadora supera a contradição em que o educador possui os objetos cognoscíveis e os deposita nos estudantes. Ambos, educador e estudantes, participam como sujeitos ativos do processo de educar, tanto educam quanto são educados no processo, mediatizados pelos objetos cognoscíveis, pelo mundo.

O ensino de física que objetiva apenas a matematização, a memorização de fórmulas e conceitos e a transferência de conteúdo, mantendo uma relação autoritária, para, em seguida, cobrar os depósitos feitos por meio de atividades avaliativas, é a negação da criatividade, da imaginação e da dialogicidade. É importante salientar que quando criticamos a prática bancária não estamos automaticamente condenando a aula expositiva.

A crítica perfaz-se à aula expositiva que se baseia exclusivamente na transferência de conteúdos para os estudantes, numa relação antidialógica. Aulas que são verticais, em que o educador, autoritariamente, utiliza-se de todas as ferramentas a seu alcance para transferir o conhecimento.

Freire (1992) apresenta mais dois tipos de aulas expositivas. A primeira em que o educador aparentemente não faz a transferência de conteúdo, mas, da mesma forma, também limita a capacidade de refletir do sujeito. Uma exposição que não traz desafios, que se utiliza de estratégias para “domesticar”.

A segunda, que não pode ser considerada uma prática bancária, seria uma exposição pela qual o educador faz uma pequena explanação introdutória sobre o tema e, posteriormente, abre o diálogo com os estudantes, para que possam participar criticamente dessa etapa. Assim, o educador desafia os alunos a refletirem e a aprofundarem-se no tema inicialmente proposto, fazendo-os questionar o professor e também a si próprios.

Acredito que seja possível tanto ao educador quanto ao estudante refletir a respeito do conhecimento e ter condições para poder imaginar, criar, pensar e falar, transformando uma situação de poder e domínio para uma situação de diálogo. Compreendo que o estudante e o educador têm papéis diferentes no processo de ensino-aprendizagem, mas isso não impede uma situação dialógica e de respeito mútuo.

Uma educação problematizadora fundamenta-se no diálogo e não na situação de poder e domínio entre educadores e estudantes. Assim:

> O diálogo autêntico – reconhecimento do outro e reconhecimento de si, no outro – é decisão e compromisso de colaborar na construção do mundo comum. Não há consciências vazias; por isto os homens não se humanizam, senão humanizando o mundo. Em linguagem direta: os homens humanizam-se, trabalhando juntos para fazer do mundo, sempre mais, a mediação de consciências que se coexistenciam em liberdade (FREIRE, 1987, p. 11).

O diálogo é compreendido não como uma ferramenta para tornar os educandos amigos do educador ou aquele que se fundamenta na pergunta-resposta, em que o educador faz a pergunta ao estudante e este verbaliza a resposta que o educador já estava esperando. Educador e estudante, nesse caso, encenam um diálogo, em que ambos já estão cientes, a priori, das respostas e do caminhar da discussão.

Lembro-me da época em que cursava o ensino fundamental e quando íamos fazer uma atividade sempre perguntávamos ao educador se ele gostaria que nós a fizéssemos com “nossas palavras” ou com “as palavras que ele explicou e que estavam nos livros”. Refletindo sobre o passado, percebo que, na maioria das aulas, tínhamos que memorizar textos dos livros ou o que o educador estava explicando para, só assim, podermos responder as perguntas que os educadores faziam na sala. As respostas que fugiam do *script* eram ignoradas ou tidas como erradas.

Assim, o diálogo, para Paulo Freire, supõe comunicabilidade com alguém e sobre um objeto cognoscível, a fim de construírem e reconstruírem conhecimento, transformando não o outro, mas, junto com ele, o mundo. O diálogo não ocorre quando há o desejo de conquista sobre os homens, o desejo de conquistar o mundo pelo domínio do homem, mas quando há um encontro de homens, direcionados ao mundo, buscando uma reflexão crítica e superação do real.

O diálogo é condição fundamental para a humanização dos sujeitos e sua negação leva à desumanização. Humanização que não é uma doação, mas faz-se na solidariedade dos homens para se humanizarem e se libertarem da situação opressiva. Então, o ato de humanizar não pode ser algo dado por aqueles que possuem a "verdade" para aqueles que supostamente "nada sabem", pois, isto reforçaria a ideia do homem como objeto inconsciente de si e a mercê da ação exterior. Esse ato, por ter origem histórica, só pode ser feito em comunhão, dando voz não apenas ao opressor, mas também ao oprimido.

Humanizar-se, segundo Paulo Freire, é uma vocação histórica dos homens, enquanto a desumanização não o é. Desumanização que mistifica o real, que o estratifica, fazendo-o parecer a-histórico, negando aos homens que sejam sujeitos de sua história para submeter-se ao sistema como objetos. Nega o direito de busca dos sujeitos ao ser mais, alienando-os. O homem como ser mais é um ser capaz de refletir sobre si mesmo e sobre sua ação no mundo, de buscar a superação dos limites e de transformar o mundo a sua volta. É o reconhecimento da necessidade de tempo livre para essa reflexão consigo mesmo, que inclui a leitura sofisticada de textos que possibilitam a leitura do mundo e a ação do sujeito sobre ele. É o reconhecimento da importância do ato de ler como estimulador do diálogo solitário ou com os outros na compreensão do mundo e sobre o mundo.

É possível reconhecer, porém, a atual realidade desumanizante, opressora, em que a escola está imersa. Uma situação em que ao negar o direito da palavra ao estudante, tendo esse apenas que repetir a palavra do educador, rouba-se sua criatividade. Uma posição que vai contra a vocação histórica do homem de ser mais, de humanizar-se, de ser capaz de ser sujeito de sua própria mudança.

Trago essa reflexão para tentar construir condições que potencializem as possibilidades dos estudantes de ser mais, de admirarem o mundo e suas relações, problematizando-o, mas não como um conhecimento e uma reflexão dados pelo educador, e sim pela construção de ambos, educador e estudante por meio de novas formas de leituras do mundo, pelas quais ambos têm direito a pensar, a imaginar e ao diálogo.

Concordo com Crochik (2013) quando ele descreve que o conhecimento é visto como um trampolim para ascensão social individual, um “ter mais” ao invés de “ser mais”. Numa sociedade da informação, competitiva, por excelência, em que o “ter mais” é o importante, o conhecimento passa a ser uma medida de valor social daqueles que o possuem e daqueles que não o possuem e a escola torna-se um local para essa reprodução.

Nesse pensamento, um estudante pode compreender a escola como um local para obter apenas conhecimento com o objetivo de utilizá-lo para se prestar um vestibular e, assim, ter uma ascensão social, saindo, talvez, de uma situação menos favorecida para uma mais favorecida. Outro exemplo é que a partir do momento em que os educadores da rede estadual de ensino adquirem uma formação melhor, seja em cursos de especialização ou de pós-graduação, abrem-se oportunidades profissionais com melhores condições e remunerações no ensino médio, nas escolas particulares ou no ensino superior. Assim:

> 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 (CROCHIK, 2013, p. 82).

Não se trata de condenar o estudante que presta vestibular ou o professor que aceita novos trabalhos e, com isso, talvez consiga uma situação mais favorável, pois essas situações estão ligadas a questões sociais, econômicas e políticas. No entanto, isso não impede de problematizar essas questões em que “adquire-se” conhecimento objetivando apenas uma elevação social, numa cultura onde o “ter mais” é visto como sinônimo de “ser mais”.

Essa reflexão me sensibiliza porque estou imerso nela. Sei que ao término da minha pós-graduação terei um leque de opções de trabalho que antes não tinha. Opções mais chamativas, economicamente e estruturalmente, do que o ensino público. Desse modo, minha reflexão aqui presente para e com o ensino público poderá ser apenas um trampolim individual para algo melhor, talvez lecione no ensino superior formando professores que atuarão no ensino público, lugar que, talvez, não me atraia mais. Como salientou Crochik (2013), em uma reflexão pessoal como essa, seria uma “fuga para o alto”. Fuga que poderia ser minimizada com uma carreira do educador que valorize seu eventual curso de pós-graduação, incentivando-o a permanecer na escola em que leciona.

Como já discutimos, esse problema envolve questões econômicas, culturais, sociais e políticas, mas tentarei, nesse pequeno espaço, construir juntamente com os estudantes

possibilidades deles refletirem a respeito do conhecimento em diálogo consigo, com os outros e com o mundo, em detrimento de um conhecimento que tem que ser acumulado, possuído.

2.2.1 A experiência no ensino de física

Arriscando um diálogo com o educador Jorge Larrosa e o conceito de ser mais de Paulo Freire, é possível compreender a experiência como um elemento dessa busca, já que a nossa miséria de experiência no mundo moderno nos torna incapazes de criar (CROCHIK, 2013, p. 47).

Larrosa constrói a ideia de experiência fundamentando-se no sujeito e em suas relações consigo e com o mundo. Compreende o termo experiência não como um acúmulo de informação ou de tempo (quanto mais velho mais experiente), mas como uma parte constituidora do sujeito. Define a experiência como sendo:

> (...) 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, pg. 154).

Complementando esse pensamento, Viola Spolin (2003, p. 1) discute que “o ato de experienciar é penetrar no ambiente, é envolver-se total e organicamente com ele. Isto significa envolvimento em todos os níveis: intelectual, físico e intuitivo”. Dessa maneira, a experiência não se basta como algo exterior ao sujeito, mas num diálogo entre o interior e o exterior, momento em que o sujeito que experiencia, expõe-se, permite-se que algo lhe toque, que algo lhe passe.

O ato de experienciar supõe “algo”, um acontecimento que é externo, que é um “algo” que não sou eu. Portanto, não há experiência sem a aparição de alguém que a registre ou de um acontecimento que é exterior a mim, estranho a mim que o testemunho. Esse ato também supõe que é em mim, o sujeito da experiência, que se dá a experiência do acontecimento exterior a mim.

Assim, a experiência pode ser vista como um movimento de ida e volta, já que supõe um movimento de abertura de mim para fora, um movimento de exteriorização, encontrando-

se com o acontecimento e um movimento de volta, momento em que o acontecimento me afeta, produz efeitos em mim, no que penso e no que sinto.

O lugar da experiência é o sujeito, sujeito que permite que algo lhe passe, passe às suas palavras, às suas ideias, e os seus sentimentos. Não há experiência quando o sujeito se opõe ou impõe, mas quando se expõe ao mundo, ao desconhecido. O ato de experienciar não é um ato coletivo ou que ocorre no vazio, mas é singular, particular, próprio, ou seja, é diferente para cada sujeito, mesmo que o acontecimento seja o mesmo para todos.

Desse modo, o sujeito que se expõe, que experiencia, é um sujeito aberto à sua própria transformação.

> De fato, na experiência, o sujeito faz a experiência de algo, mas sobretudo, faz a experiência de sua própria transformação. Daí que a experiência me forma e me transforma. Daí que o resultado da experiência seja a formação ou a transformação do sujeito da experiência. Daí que o sujeito da experiência não seja o sujeito do saber, ou o sujeito do poder, senão o sujeito da formação e da transformação (LARROSA, 2011, pg. 7).

Tomemos um exemplo de um sujeito que participa de uma aula sobre Leis de Newton.

Se pensarmos a experiência como uma relação, talvez a explanação sobre as Leis de Newton não seja o mais importante, mas a interação que o sujeito tem com elas. Ele consegue decifrar os signos matemáticos, as letras, entender os exercícios e mais que isso, consegue responder a diversas perguntas sobre o tema e a resolver os mais variados exercícios. Todavia, esse sujeito pode não ter uma relação de ida e volta com o acontecimento exterior, nesse caso as Leis de Newton, limitando-se apenas à ida, caminho sem reflexão, que não o transforma. É um sujeito que não se expõe, não está aberto ao desconhecido. Não há subjetividade, nem reflexividade, nem transformação.

A experiência deve conduzir os sujeitos a voltarem para si mesmos, permanecendo em questionamento com o mundo, sempre abertos e inacabados. Pode-se pensá-la como uma experiência formativa em que o sujeito relaciona-se interiormente com o material de estudo, modificando sua maneira de perceber e se relacionar com o mundo a sua volta.

> A ideia de experiência formativa implica um voltar-se para si mesmo, uma relação interior com a matéria de estudo, contém em alemão a ideia de viagem. Experiência (Erfaharung) é, justamente, o que se passa numa viagem (fahren) o que acontece numa viagem. E a experiência formativa seria, então, o que acontece numa viagem e que tem a suficiente força para que alguém se volte para si mesmo. (LARROSA, 2003 p. 52)

Larrosa aponta uma questão fundamental da experiência formativa, a capacidade de transformação desse sujeito na sua viagem. E ainda, diz que o saber da experiência se dá na

relação entre o conhecimento e a vida humana, permitindo apropriar-nos de nossa vida. Essa relação do sujeito com a vida humana pressupõe o diálogo com outros sujeitos e com o mundo, remetendo à ideia de educação humanizadora, já que essa relação permite a transformação do próprio sujeito e do seu mundo. Assim, o movimento de volta se realiza quando o estudante, transformado pela experiência, tem um diálogo inteligente com o mundo, possibilitando uma nova visão das situações em seu entorno.

Um exemplo pessoal são minhas experiências com as leis de Newton como estudante. Essa relação me fez não apenas memorizar fórmulas e conceitos, mas compreender fenômenos do cotidiano como, por exemplo, a utilização de polias numa construção ou a diferença do atrito estático e cinético quando estamos empurrando algo. Assim, nessa relação reflito sobre quantas polias preciso utilizar para levantar um objeto, qual a dificuldade de empurrar determinado objeto numa determinada superfície por causa do atrito entre outros. Não apenas uma relação utilitarista, em que tudo que experienciei nas Leis de Newton terá que servir para algo no cotidiano, mas também uma compreensão e reflexão sobre o mundo que me cerca. Pode-se pensar que um sujeito que tenha apenas memorizado fórmulas e conceitos também consegue resolver os problemas apresentados acima, mas essa relação não pode ser considerando um diálogo inteligente com o mundo, dado que esse sujeito é incapaz de refletir e criticar sobre suas experiências como, por exemplo, refletir sobre a relação do atrito entre superfícies com a massa dos corpos, com a inércia, com os planetas e etc.

Assim, um acontecimento passa, mas não lhe passa, não o transforma. Esse sujeito, apesar de eventualmente compreender as Leis de Newton, é um sujeito que não teve uma experiência.

O importante, do ponto de vista da experiência, não é apenas transmitir e memorizar um assunto, uma leitura, um tema, mas o modo como esses se relacionam para formar ou transformar as próprias palavras ou o pensamento do sujeito. Não impor a palavra ao sujeito, como a educação bancária, mas ajudar o sujeito a dizer o que ainda não podia dizer, ajudar a falar por si mesmo, ou a pensar por si mesmo. Todavia, o ato de experienciar não torna o conteúdo a ser trabalhado algo dispensável, mas, pelo contrário, é por meio do conteúdo a ser discutido que o estudante poderá ter uma experiência.

Esse ato de experienciar, de exposição ao perigo e ao desconhecido, não deve ser exclusividade dos estudantes. Se, enquanto os estudantes se expõem o educador não o faz, perde-se a possibilidade do diálogo. O educador quando não experiencia, não se relaciona

com o conteúdo, com o ambiente e com os outros sujeitos, ou seja, nenhum acontecimento lhe passa, lhe toca. Situação em que o expor-se torna-se impor-se ou opor-se.

Larrosa argumenta que o educador que está procurando transmitir verdades, saberes imutáveis, prontos (portanto, uma educação opressora), acaba por negar o caráter de desenvolvimento e crescimento desses saberes, pois "fixam os limites da experiência possível (e que limitam portanto as possibilidades de experiência)" (LARROSA, 1997, p.46).

Ele crítica a incapacidade do sujeito de experienciar na nossa atual sociedade da informação ou do conhecimento devido a uma vida "acelerada", hiperativa, na qual o excesso de informação, de opinião e de trabalho, juntamente com a falta de tempo, memória e silêncio, são obstáculos para se ter uma experiência.

Como já discutimos no início do capítulo, nos tempos atuais, estamos imersos num mar de informações, rodeados pelos mais diversos aparelhos e com um simples "*click"* temos acesso às mais variadas informações. No entanto, o excesso de aquisição de informação sobre tudo a todo momento impede o sujeito de ter uma experiência. "Uma sociedade constituída sob o signo da informação é uma sociedade na qual a experiência é impossível" (LARROSA, 2004, p.156). A obtenção da informação pela informação, sem que haja uma relação entre ela e o sujeito, sem que ela lhe toque, dificulta as possibilidades de experiência.

A informação não exige do sujeito a complexidade de significações que a experiência exige; logo, nada lhe passa. O sujeito que se informa também opina, sobre tudo e todos. Encontra-se sempre com uma opinião formada. Pauta-se na informação pela necessidade de opinião, moldando-se uma personalidade de "um sujeito fabricado e manipulado pelos aparatos da informação e da opinião, um sujeito incapaz de experiência" (2004, p. 156). O excesso de opinião faz com que o sujeito moderno opine quase que como reflexo das informações que recebe constantemente, dificultando-o de abrir-se ao mundo, ao desconhecido, ao incerto.

Juntamente a isso, o excesso de trabalho e a falta de tempo são outros empecilhos à experiência. Esse sujeito moderno tem vivências instantâneas, pontuais e fragmentadas, em que um "estímulo fugaz e instantâneo é imediatamente substituído por outro estímulo ou por outra excitação igualmente fugaz e efêmera" (LARROSA, 2004, p. 157). Assim, a velocidade com que os acontecimentos vêm e logo são substituídos por outros acontecimentos impede o sujeito de ter uma experiência.

> O sujeito moderno é um consumidor voraz e insaciável de notícias, de novidades, um curioso impenitente, eternamente insatisfeito. Quer estar permanentemente excitado e já se tornou incapaz do silêncio. E a agitação

> que lhe caracteriza também consegue que nada lhe passe. Ao sujeito do estímulo, da vivência pontual, tudo o atravessa, tudo o excita, tudo o agita, tudo o choca, mas nada lhe acontece. Por isso, a velocidade e o que ela acarreta, a falta de silêncio e de memória, são também inimigas mortais da experiência (LARROSA, 2004, p. 158).

Se pensarmos no processo de aprendizagem, a experiência, e não o acúmulo de informação, é o que dá sentindo ao ato de educar. O sujeito experiencia diversas situações de aprendizagem na escola, momento em que este é convidado a transformar-se por meio do conhecimento e do diálogo com o mundo e com outros sujeitos. Cabe ressaltar que antes desse sujeito começar sua vida escolar ele já estava em constante diálogo com o mundo, experienciando situações que permitiram-no decifrar diversos signos presentes no cotidiano como, por exemplo, perceber por meio de alguma situação que a fumaça pode ser sinal de fogo. Na aprendizagem escolar, o sujeito é convidado a abrir-se a novas experiências que podem levá-lo a refletir sobre diversas situações ao seu redor como, por exemplo, compreender o porquê do fogo produzir fumaça, o perigo de sua inalação e, numa questão mais social, o problema das queimadas para o meio ambiente.

Paulo Freire apresenta uma ideia convergente com esta quando argumenta que o estudante não começa a vida escolar sem nenhum conhecimento e vivência no mundo, sendo o objetivo da educação escolar propiciar todo esse déficit, mas apresenta o sujeito com um conhecimento inerente das suas experiências na vida. O papel da escola é propiciar um local de diálogo entre esses dois conhecimentos, sem autoritarismo, para que o estudante possa refletir, comparar, criticar e, por fim, transformar-se e transformar sua visão do mundo e o próprio mundo.

2.3 Física e cultura

O ensino de física contempla, de modo quase generalizado, a física de maneira descontextualizada e exaustivamente instrumental, produto final de um processo histórico científico, dificultando a compreensão efetiva dos processos de construção científica. A física não pode ser compreendida como distante da realidade e concentrar-se apenas na memorização e repetição automatizada de procedimentos, mas sim percebida em toda a sua dimensão humana e social. Zanetic (1989) apresenta quatro motivos para a utilização do contexto histórico no ensino de física:

- Trazer a física como componente importante para a formação cultural dos estudantes;
- Criar situações ricas para o imaginário, tanto para futuros cientistas como para futuros cidadãos;
- Promover a formação crítica dos estudantes para poderem atuar na transformação social. Para isso é importante conhecer o processo de construção do conhecimento em suas dimensões humana, cultural e social, e não apenas os seus produtos finais;
- Pode ser de grande importância na seleção de conteúdo dos currículos escolares.

Desse modo, é possível um ensino de física que não dê ênfase apenas ao conteúdo formal, mas também ofereça condições para que o aluno se enriqueça culturalmente ao participar das aulas possibilitando uma reflexão mais crítica sobre as influências da ciência na sociedade e vice-versa.

Algumas vezes, a ciência é ensinada para os cidadãos contemporâneos como sendo uma matéria alheia, que não tem relação com a vida atual das pessoas e, por isso, não faz parte da bagagem cultural. Todavia, estamos constantemente em contato com a ciência por meio de aparelhos tecnológicos, pela manipulação ideológica da ciência nos meios de comunicação (os produtos cientificamente testados, as ciências no vestibular e etc.), por meio da crescente divulgação de livros e programas de televisão sobre ciências, de eventos mundiais que necessitam de informações básicas, como o acidente radioativo de Goiânia em 1988 e o acidente nuclear de Fukushima em 2011. Ou seja, “a maioria das pessoas consome ciência enquanto cultura mas, ao mesmo tempo, está alienada de sua presença real no cotidiano” (ZANETIC, 1989, pg. 93).

Para isso é necessário compreender a física como processo de construção histórico-social com suas contribuições humanas, culturais e sociais. Para um ensino contextualizado, a física pode se inter-relacionar com outras disciplinas sejam elas tanto da área de exatas quanto da área de humanas, pois somente assim o aluno poderá compreender a estrutura social e sua complexidade.

> Enfim, o conhecimento científico é um produto da vida social e como tal leva a marca da cultura da época, da qual é parte integrante, influenciando e sendo influenciado por outros ramos do conhecimento[...] (ZANETIC, 1989, p. 23).

Destacar um ensino que resgate a consciência cultural não significa substituir a física "formulista" por uma física "romanceada" (ZANETIC, 1989), mas sim oferecer contexto para os cálculos, para que as fórmulas apresentem um fundo cultural e que se compreenda a física como parte integrante da sociedade.

Desse modo, quando ensinamos apenas a fórmula F=m.a e então a aplicamos em diversas situações, trazemos apenas o produto final de um processo histórico. Acreditamos que seja importante perceber as nuanças históricas que envolvem o processo de construção dos conceitos de Força, massa e aceleração e também o contexto social e cultural em que se deu seu processo de construção.

Koyré (1979), por exemplo, em seu livro *Do mundo fechado ao Universo Infinito,* perpassa pelo caminho que vai de Copérnico a Newton para narrar a construção do pensamento de um universo infinito. Apesar de deixar claro que sua abordagem não contempla totalmente a história completa e integral, pois isso exigiria uma enorme e complexa narrativa, sua abordagem histórica revela os pensamentos filosóficos e técnicos que levaram à explosão da bolha do mundo.

> Também as revoluções precisam de história. Assim, as esferas celestiais que continham o mundo e o mantinham íntegro não desapareceram de uma vez, numa colossal explosão; a bolha terrestre cresceu e inchou antes de rebentar e fundir-se no espaço que a circundava (p. 8).

Ao se discutir apenas alguns elementos da teoria de Newton sem trazer seu contexto histórico e social, pode-se criar a ideia de que Newton era um gênio que construiu todos os seus conceitos num simples *insight* (queda da maçã), descartando as contribuições de pensadores que viveram anteriormente.

Também, quando discutimos a mudança da concepção geocêntrica para a heliocêntrica como apenas uma "troca" de posição da Terra com o Sol, enfatizando apenas Ptolomeu e Copérnico como seus defensores, podemos criar a ideia de que essa mudança ocorreu

naturalmente, numa mutação súbita, e não influenciou e nem foi influenciada pela vida social e cultural da época.

Retratar situações como essas no ensino de física, e na ciência de maneira geral, pode trazer, ou reforçar, a ideia de um cientista gênio e de uma ciência neutra. Ideias que, por um lado, distanciam os estudantes da física, pois esses podem acreditar que a ciência é algo apenas para os escolhidos dotados de uma mente brilhante e, por outro, afastar a física das discussões sociais e políticas da história e da atualidade.

Albert Einstein é um grande exemplo de físico que é visto por muitos como sendo dotado de um intelecto superior por ter criado a teoria da relatividade. O conceito de relatividade, no entanto, já estava presente desde a época de Galileu e foi utilizado por Einstein partindo dos dois pressupostos que deram origem à teoria da relatividade restrita. Além disso, Einstein utilizou-se das transformações de Lorentz em sua teoria e necessitou de ajuda de matemáticos para a formulação teórica da sua teoria da relatividade geral.

Quando trazemos essas discussões para a sala de aula não queremos diminuir a importância de Einstein ou de outros cientistas, mas sim resgatar o processo histórico e social de construção de conceitos ou pensamentos. Desse modo, poderemos apresentar tanto o cientista como uma pessoa comum, e não um gênio, quanto as influências da ciência na sociedade e vice-versa.

Uma boa figura que retrata a cultura da física e suas relações com o mundo é Galileu Galilei. Este distancia-se dos cientistas da época ao abandonar a escrita em latim, passando a escrever em italiano e, dessa maneira, aproximando a ciência, antes restrita apenas aos intelectuais, de um público mais amplo.

Galileu utilizou seus conhecimentos de desenho e do claro-escuro, adquiridos em Florença, para desenhar a Lua como havia observado com sua luneta, em 1610. Por meio da perspectiva, Galileu, como consequência de suas observações com a luneta, foi capaz de medir a altura das montanhas lunares e “a geometrização da projeção das sombras pode ter lhe permitido perceber as irregularidades da superfície lunar” (REIS; GUERRA; BRAGA, 2005, p.72). Dessa maneira, a Lua deixou de ser a imagem da perfeição e da imutabilidade, associada à perfeição aristotélica, e passou a ser mais um corpo celeste com características comuns, como a Terra.

Contudo, se compararmos os desenhos de Galileu (fig. 3) com os feitos pelo astrônomo inglês Thomas Harriot (1560-1621) (fig. 4), que também fez observações da Lua com uma luneta no ano de 1609, portanto antes de Galileu, percebemos que eles não “viram”

a mesma coisa. Harriot representou a Lua de maneira diferente daquela feita por Galileu. Sua representação continha manchas, ao invés das crateras e montanhas lunares que não têm nenhuma relação com a superfície lunar. Essa diferença não pode ser interpretada pela pouca habilidade para o desenho, mas, na realidade, "demonstra que Harriot não dispunha de condições para interpretar a geografia da Lua sem o treinamento artístico que teve Galileu" (REIS; GUERRA; BRAGA; 2005, p.72). Após ver os desenhos feitos por Galileu, Harriot refez seu desenho da lua (fig. 5) de uma maneira muito similar à de Galileu, ou seja, tentando representar as irregularidades da lua.

Assim, os conhecimentos adquiridos por Galileu sobre o desenho, em especial a perspectiva e a técnica de claro-escuro, ajudaram-no a ver uma Lua que Harriot não conseguia. Harriot não tinha formação artística nem os conhecimentos artísticos que Galileu possuía, sendo-lhe difícil interpretar o que via na Lua. "O contexto cultural fez a diferença entre os dois filósofos naturais" (REIS, 2002, p. 6).

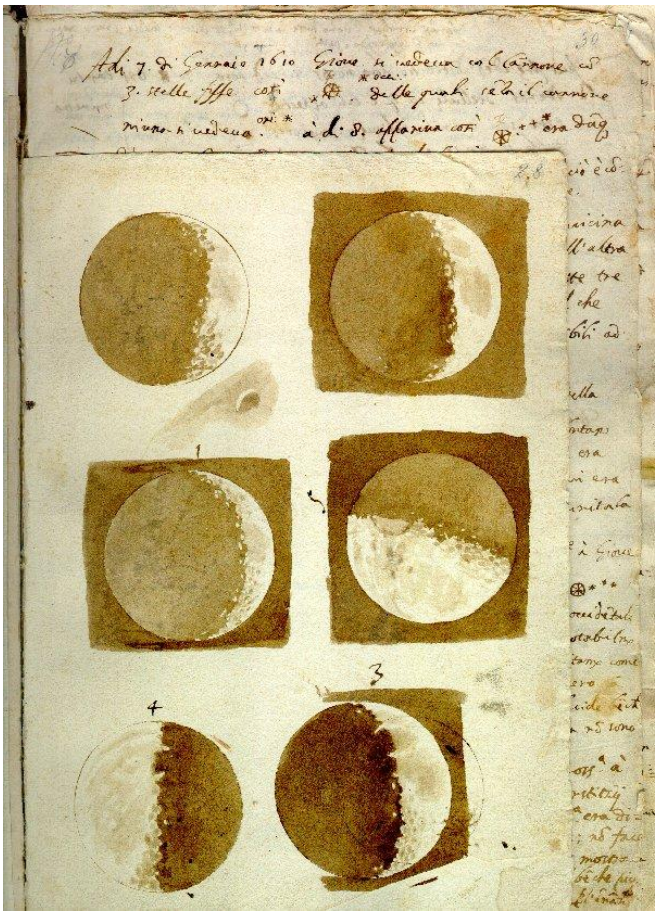


Figura 3: Desenho da Lua e suas irregularidades feito por Galileu Galilei.
Fonte: REIS, 2002.

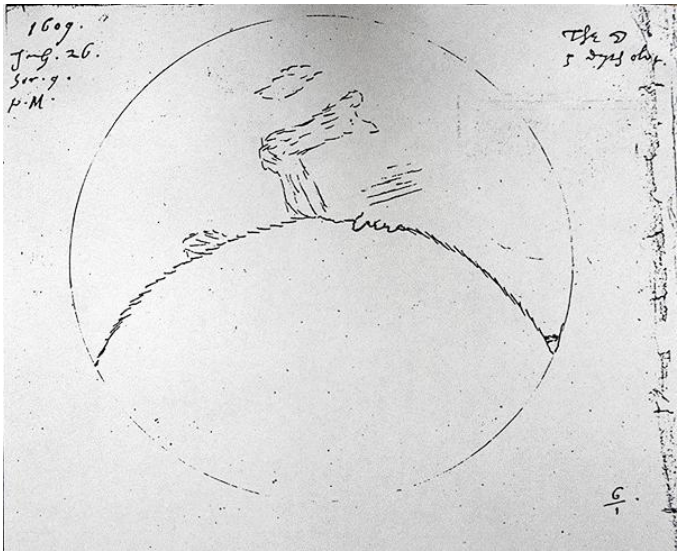


Figura 4: Desenho da lua feito por Thomas Harriot.
Fonte: REIS, 2002.

Figure 20

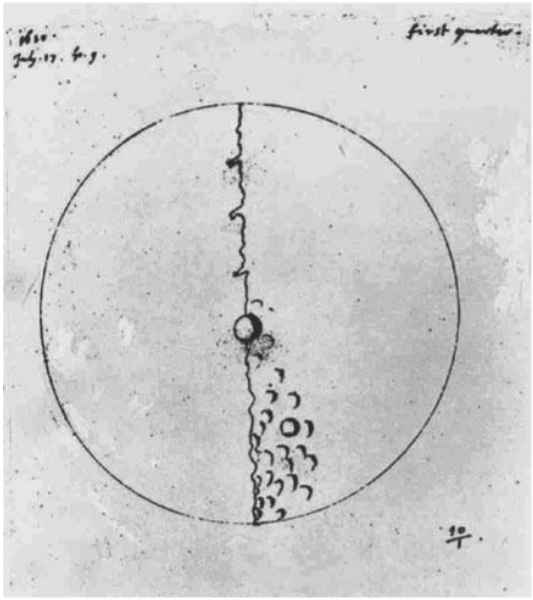


Figura 5: Desenho da Lua de Harriot após ver os desenhos de Galileu
Fonte: REIS, 2002.

Outro ponto de destaque foi a defesa de Galileu com relação ao sistema heliocêntrico, iniciativa que causou problemas com a instituição social dominante da época, a Igreja. Galileu, ao observar as irregularidades da Lua, assim como as manchas solares, coloca em cheque o pensamento aristotélico da época que considerava o mundo sublunar como o da corrupção e da imperfeição e o mundo supralunar como perfeito e incorruptível. Desse modo,

Galileu começa a misturar o supralunar com o sublunar, pois se a Lua e o Sol têm irregularidades o pensamento aristotélico não se sustenta.

A física enquanto cultura não pode ignorar aspectos “externalistas”, como a influência sociocultural e abordagens ideológicas, bem como aspectos “internalistas” como a história da física, a experimentação, as teorias científicas e suas aplicações. Ao ignorarmos esses aspectos, podemos privilegiar apenas a parte instrumental e esquecer que a física deve ser entendida como um elemento cultural necessário para a formação de qualquer cidadão contemporâneo.

3 Construindo uma proposta pedagógica

Uma proposta pedagógica que busca um ensino humanizado, que preze a imaginação, a criatividade e a experiência dos sujeitos, deve ser construída a partir da realidade dos sujeitos. Seria uma contradição se propuséssemos um ensino libertador, pautado no diálogo, mas arquitetássemos todo o plano de trabalho sem que houvesse um diálogo com a realidade do estudante.

Isso, no entanto, não isenta a função do educador. Este, como participante do diálogo, tem o papel de, a partir das situações concretas dos estudantes, problematizar e elaborar atividades e reflexões para a formação de um cidadão que possa conhecer-se, interagir com os outros e com o mundo e refletir sobre si mesmo e sobre o seu entorno.

Nessa visão, introduzo uma situação real e especifica do entorno da E.E. Prof. Claudinei Garcia, localizada na periferia de Osasco, para construirmos as reflexões e as atividades que são apresentadas no decorrer desta dissertação.

3.1 Da realidade à ideia da pesquisa

Parti de uma obra de infraestrutura que está sendo realizada no entorno da E.E. Prof. Claudinei Garcia. A obra teve início no começo de 2013 e previa a destruição da antiga ponte para a construção de uma nova, visando melhorias no escoamento da água que passa por debaixo dela.

A ideia de utilizar essa situação para problematizá-la no ensino de física deu-se tardiamente. Tinha, *a priori*, a intenção de refletir sobre o diálogo entre a física e as artes no período renascentista com o intuito de apresentarmos uma física com elementos históricos, sociais e culturais para que o aluno percebesse que a física faz parte de um contexto sociocultural. No entanto, após conversas informais com estudantes e com vizinhos, percebi que as obras que estavam ocorrendo era uma realidade passível de ser problematizada nas aulas.

Assim, optei por trazer essa situação para nossas reflexões nesse trabalho porque acredito que a associação com elementos que fazem parte do cotidiano do estudante poderá auxiliar na busca de um ensino humanizado. Como salienta Feitosa (1999):

> Cada pessoa, cada grupo envolvido na ação pedagógica dispõe em si próprio, ainda que de forma rudimentar, dos conteúdos necessários dos quais se parte. O importante não é transmitir conteúdos específicos, mas despertar uma nova forma de relação com a experiência vivida. [...] Conhecer [o estudante] enquanto indivíduo inserido num contexto social de onde deverá sair o "conteúdo" a ser trabalhado (p. 50).

Com essa ideia firmada, encontrei-me com o responsável pela obra para solicitar a aprovação dos registros fotográficos da construção e do projeto da obra. Explicado o porquê desses registros, foi-me liberado a efetuá-los. As figuras 6, 7 e 8 apresentam as fotos do projeto e da obra da ponte.

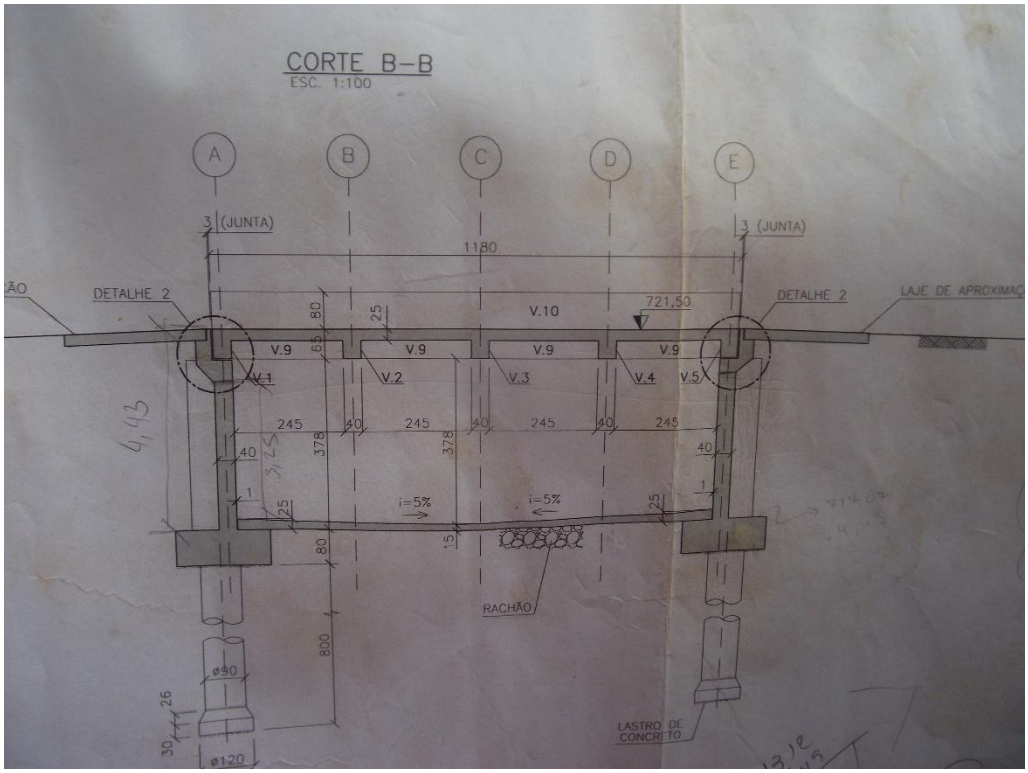


Figura 6: Projeto da ponte.
Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Andamento da obra de construção da ponte no dia 08/10/2013.
Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Andamento da obra de construção da ponte no dia 21/05/2014
Fonte: Autoria própria.

De posse dos registros fotográficos, tinha o desafio de decidir o que abordaria de física partindo dessa situação. Conteúdos como Leis de Newton, estática dos corpos rígidos e

resistência dos materiais foram pensados como passíveis de serem aproveitados. Todavia, não pretendia apenas me apropriar da parte meramente instrumental, mas também resgatar o contexto sociocultural da física, pois “sendo a ciência um conhecimento historicamente construído é muito difícil compreendê-la sem conhecer o seu processo de construção” (REIS, 2002, p. 17).

Como já havia pensado em discutir a relação entre a física e a arte no Renascimento, optei por articular essa situação com discussões referentes à matematização da natureza em ambas as áreas de conhecimento e à importância que o projeto ganhou com o desenho em perspectiva.

É importante ressaltar que, apesar de ser um trabalho que dialoga com as artes, não podemos nos esquecer de abordar a física nas atividades e discussões. Além disso, não sou formado em arte e nem a leciono. Minha formação e área de atuação é em física, o que dificulta, mas não impede, essa viagem pelas artes em toda sua complexidade.

Por conta disso, nas propostas de discussões apresentadas acima, passarei por questões referentes à estática dos corpos rígidos, momento no qual serão estudados os conceitos de força, equilíbrio estático e decomposição de forças. No entanto, não tenho a pretensão de transformar essas discussões em aulas com o intuito de decorar fórmulas e fazer inúmeros exercícios, mas sim de entender os conceitos gerais de estática, visando à compreensão da situação problema.

3.2 Metodologia

Uma das dificuldades que este trabalho apresentava era relacionada à metodologia de pesquisa a ser utilizada. Não faz parte dos objetivos desta dissertação averiguar o nível de entendimento de alguns conceitos de física nos estudantes antes da intervenção e depois fazer uma comparação do entendimento desses conceitos após a intervenção. Também não foi utilizada nenhuma forma quantitativa para medição do entendimento de conceitos que os estudantes adquiriram ao final do trabalho.

Com uma proposta de trabalho que seja construída a partir de e com o ensino público, tenho como preocupação a intervenção no âmbito escolar para que os estudantes passem a perceber a ciência a partir de um viés sociocultural e o resgate de um ensino humanizado, auxiliando-os a compreender o mundo que os cerca e suas vidas para terem a oportunidade de poder transformá-lo.

Este trabalho apresenta um levantamento teórico, uma proposta e uma reflexão antes do agir, ou seja, ele não se propõe a utilizar uma situação escolar e, a partir dela, oferecer reflexões sobre a mesma, mas, a partir de reflexões anteriores, criar a cena em que a situação escolar ocorreria. Isso não significa que concebo um planejamento rígido, sem a possibilidade de diálogo e alterações, mas que valho-me de uma reflexão anterior para construir uma proposta de aula.

Proposta que dialogou constantemente com os estudantes e com o educador na sala de aula e nas reflexões pós-aula. Assim, não pretendia chegar à sala sem um planejamento e nem criar uma proposta rígida. Descrevo a ideia inicial de planejamento e de proposta de aula antes de iniciá-la e, em seguida, as mudanças que foram sendo feitas nela no decorrer das aulas.

Devido a isso, a atenção do trabalho ficou mais reservada a antes da intervenção e a aplicação. Contudo, isso não significa não contemplar uma reflexão pós-aula. Utilizei os registros das atividades que propus e as notas de campo do educador para elaborá-las. Reflexões que se pautaram não apenas em “aprendeu um conceito ou deixou de aprender”, mas, na dinâmica das aulas com toda sua complexidade e a percepção dos estudantes com relação à física e seu contexto sociocultural.

As notas de campo foram efetuadas no término de todas as aulas utilizando um caderno com as anotações diárias, as dificuldades encontradas, o desenvolvimento dos estudantes na compreensão do contexto sociocultural da física e no entendimento dos conteúdos propostos, e as possíveis melhorias nas aulas e/ou atividades. As anotações referentes ao desenvolvimento da compreensão do contexto sociocultural da física e dos conteúdos propostos foram feitas por meio da percepção que o educador tinha do envolvimento dos alunos, das ideias e questionamentos que eles traziam.

Além desse material, tinha à disposição as atividades que os estudantes fizeram. No entanto, não contava apenas com atividades escritas, mas também desenhos e trabalhos manuais.

Compreendo que um ensino humanizado não pode trazer a visão do estudante como "objeto" de pesquisa, na qual o pesquisador, com uma ideia de neutralidade, vai até esse objeto para coletar os dados de maneira pontual, científica e profissional, e em seguida retorna ao seu local de trabalho para produzir o conhecimento advindo dessa coleta. Brandão (2001) enfatiza o aspecto de dominação das pesquisas que desconsideram os sujeitos sociais como tais.

> Na verdade, até aqui tem sido o trabalho cientifico que divide o mundo sobre o qual realiza a prática de "conhecer para agir" em dois lados opostos: o lado "popular" dos que são pesquisados para serem conhecidos e dirigidos, versus o lado "cientifico", "técnico" ou "profissional" de quem produz o conhecimento, determina os seus usos e dirige "o povo", em seu próprio nome ou, com mais frequência, no nome de para quem trabalha. A expressão aparentemente neutra que existe na ideia de "objeto de pesquisa", muitas vezes subordina a ideia e a intenção de que aqueles cujas "vida" e "realidade" afinal se "conhece", sejam reconhecidos para serem objetos também da história (p. 10).

Portanto, busco o conceito de pesquisa-participante de Brandão e Borges (2007) para tentar converter a relação tradicional de pesquisa sujeito-objeto, entre educadores e estudantes, em uma relação sujeito-sujeito, partindo do pressuposto de que todas as culturas são fontes de saber. A articulação crítica do conhecimento científico com o conhecimento popular favorece um conhecimento novo e transformador, momento em que a compreensão da realidade social pode ser construída.

> (...) a pesquisa participante se situa entre as correntes das ciências sociais que rejeitam a chamada neutralidade científica e partem do princípio de que a investigação deve servir a determinados setores sociais, buscando uma resposta coerente que permita, por um lado, socializar o conhecimento e, por outro, democratizar os processos de investigação e educação. A pesquisa participante sustenta acertadamente que os métodos e técnicas convencionais tomam o grupo investigado como objeto de pesquisa e não como sujeito principal e que não existe uma separação indesejável entre a teoria e a prática, entre pesquisa e ação concreta (BRANDÃO, 2001, p.158-159).

A pesquisa participante é um método de pesquisa que insere o pesquisador no campo investigado, tornando-o parte do universo da pesquisa de campo. Tal método tem como uma de suas premissas a influência mutua entre o pesquisador e os sujeitos da pesquisa. Isso é relevante quando se considera que toda a produção do conhecimento se dá por processos de mediação entre os homens no interior das relações sociais.

Esse método situa-se entre as diversas práticas de investigação que primam pela presença do sujeito-pesquisador nas problematizações construídas em sua pesquisa,

observando não apenas as experiências e percepções dos diferentes sujeitos envolvidos, como também o sentido político e social que emana da própria investigação-ação. Essa metodologia converge com nossa proposta de educação já que se esforça em incorporar o olhar do outro na construção de um trabalho mais democrático e dialógico.

3.2.1 Os Três Momentos Pedagógicos

As aulas de física tradicionais, que se baseiam em copiar o conteúdo, explicá-lo rapidamente, fazer exercícios e corrigi-los, oferecem poucas relações com o cotidiano, vinculando-se quase que somente com o mundo escolar. Essa falta de elo com o mundo pode fazer com que o estudante veja a física como desnecessária na sua vida. Assim, um conhecimento cuja função limita-se à sala de aula, em particular para a realização de provas, é sério candidato a ser descartado. (PIETROCOLA, 2005, p. 18)

De certa forma, os estudantes do ensino médio estudam física apenas para irem bem nas provas e passarem de ano. Após estudarem, se estudarem, para as provas e irem bem nelas, eles tendem a não estudar mais o conteúdo e até esquecê-lo por acreditarem que nunca mais irão precisar deles.

Foi devido a isso que utilizo uma situação cotidiana, já descrita anteriormente, para trabalhar em sala. A proposta dessa situação é problematizar o cotidiano dos estudantes, com a discussão dos conceitos físicos envolvidos, tanto para uma melhor aprendizagem da Física quanto para análise crítica de suas relações com questões sociais e culturais no Renascimento. O próprio Freire (1987), que discutimos no capítulo anterior, sugere uma concepção problematizadora da educação para romper a situação vertical e fomentar a reflexão sobre si, os outros e o mundo.

Para isso, busco em Delizoicov uma fundamentação para as atividades em sala de aula por meio do processo de codificação-problematização-descodificação ou *momentos pedagógicos* (DELIZOICOV, 2005), baseados na pedagogia freireana.

Delizoicov (2005) apresenta em seu texto *Problemas e Problematizações* duas ideias de problematização: gênese do conhecimento e eixo estruturador da atividade docente. Na primeira concepção, “o problema como gênese do conhecimento”, Delizoicov traz de Gaston Bachelard a ideia de que o conhecimento se origina da busca para problemas consistentemente formulados. Além disso, ele ressalta o não-reconhecimento, pelos

professores, de que há “obstáculos pedagógicos” para a formação do pensamento científico do estudante e que esses obstáculos não podem ser negados ou negligenciados.

Esses obstáculos estão, de certa forma, ligados ao conhecimento alternativo que os estudantes trazem para a aula de Física. Conhecimentos empíricos já construídos, frutos da interação do estudante com a vida cotidiana e que, portanto, chocam-se com a cultura escolar. Assim, é necessário partir do real do estudante, problematizá-lo e trabalhar os conteúdos científicos observando e localizando os conhecimentos alternativos.

> Em outros termos: é para problematizar o conhecimento já construído pelo aluno que ele deve ser apreendido pelo professor; para aguçar as contradições e localizar as limitações desse conhecimento, quando cotejado com o conhecimento científico, com a finalidade de propiciar um distanciamento crítico do educando ao se defrontar com o conhecimento que ele já possui e, ao mesmo tempo, propiciar a alternativa de apreensão do conhecimento científico (DELIZOICOV, 2005, p. 128)

Assim, Delizoicov (2005) diz que problematizar não se restringe apenas à apresentação de problemas a serem solucionados com conteúdo ministrado em aula, mas são, pelo contrário, situações que devem ter o potencial de gerar no estudante tanto a curiosidade quanto a necessidade de assimilação de um conhecimento que ele ainda não possui e que ainda não foi discutido pelo educador. Assim, é preciso que o problema formulado esteja no mundo do estudante e tenha uma significação, de modo a conscientizá-lo de que a sua solução exige um conhecimento.

Na concepção de “Problema como eixo estruturador da atividade docente”, Delizoicov (2005), baseando-se nos educadores George Snyders e Paulo Freire, destaca o papel dos temas significativos. Por meio de uma abordagem que resgate temas que tenham um potencial de ser significativos para os estudantes e que dialoguem com os conteúdos de física, podemos planejar atividades em sala de aula de tal modo que direcionamos uma problematização, no nosso caso a construção da ponte, para a formulação do problema que estará relacionado ao novo conhecimento que será trabalhado.

Ambos, Snyders e Freire, defendem o ensino por meio de temas, temas que surgem do cotidiano do aluno, que abrem e possibilitam o diálogo entre o educador e o estudante. Nessa perspectiva, Freire argumenta que o conteúdo programático “se organiza e constitui na visão de mundo dos educandos, em que se encontram seus temas geradores” (FREIRE, 1987, p.58).

> (...) o tema gerador não se encontra nos homens isolados da realidade, nem tampouco na realidade separada dos homens. Só pode ser compreendido nas relações homens-mundo. Investigar o “tema gerador” é investigar, repitamos, o pensar dos homens referindo à

> realidade, é investigar seu atuar sobre a realidade que é sua práxis (FREIRE, 1987, p. 56).

Paulo Freire enfatiza a necessidade de um trabalho constante e sistemático com o conhecimento cotidiano que o estudante traz para o ambiente escolar, por meio de um trabalho de codificação-problematização-descodificação. Esse processo articula, sistematicamente, situações que se relacionam com o ambiente do estudante, devendo ser planejado de tal maneira que explore tanto a dimensão dialógica do ato educativo quanto a dimensão problematizadora do ato gnosiológico.

Segundo Delizoicov (2005), o processo de codificação-problematização-descodificação pode ser estruturado com o auxílio dos chamados momentos pedagógicos. São três momentos: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento.

Na problematização inicial, apresentam-se situações que tenham relação com o cotidiano dos estudantes e que necessitem a introdução de novos conhecimentos para obter-se uma interpretação mais ampla da situação. Em seguida, abre-se o diálogo, a partir de algumas questões, para conhecer e problematizar o conhecimento que os estudantes trazem. Assim, a função do professor se volta mais para fomentar a discussão, lançar dúvidas sobre o assunto e questionar posicionamentos do que dar respostas ou explicações.

Posteriormente, na organização de conhecimento, seleciona-se os conhecimentos necessários para a compreensão da problematização inicial e dá-se início ao estudo desses sob orientação do professor. Nessa etapa, as atividades são empregadas com o intuito de que o estudante desenvolva os saberes fundamentais para uma compreensão mais ampla das situações que estão sendo problematizadas.

Por fim, a aplicação do conhecimento destina-se a retomar o conhecimento que vem sendo incorporado pelo estudante para analisar e interpretar tanto as propostas iniciais quanto outras situações que, mesmo que não estejam relacionadas diretamente ao motivo principal, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. O objetivo desse momento é muito mais capacitar os estudantes a empregar e articular, constantemente e rotineiramente, os conhecimentos incorporados com situações do cotidiano, do que apenas encontrar uma solução por meio de fórmulas e algoritmos matemáticos que relacionam grandezas físicas.

> Independentemente do emprego do aparato matemático disponível para se enfrentar esta classe de problemas, a identificação e emprego da conceituação envolvida, ou seja, o suporte teórico fornecido pela física é que

> está em pauta neste momento. É o potencial explicativo e conscientizador das teorias físicas que deve ser explorado (DELIZOICOV, 2005, p. 130).

Nessa proposta, a obra da ponte foi apresentada como problematização inicial. Apesar da maioria dos estudantes residirem nas proximidades da obra, trouxe os registros fotográficos tanto da construção quanto do projeto e, em seguida, dei início ao diálogo com a turma.

Em seguida, na segunda etapa, o educador desenvolveu os saberes fundamentais para que o estudante compreenda, amplamente, a situação inicialmente apresentada. Nessa etapa, resgatamos o contexto renascentista por meio da leitura de um texto, *A Monalisa das Pontes* (Anexo A), que trata do projeto de uma ponte feito por Leonardo da Vinci que não foi construído na época do Renascimento devido à dificuldade de sua construção. No entanto, em 2001, um grupo de arquitetos resolveu resgatar esse projeto e, após algumas modificações, construíram a ponte como uma passarela para pedestres sobre a autoestrada que liga Oslo, na Noruega, e Estocolmo, na Suécia.

Dessa forma, o educador apresenta a temática das pontes num contexto renascentista, perpassando pelos valores (como a racionalidade, a observação e a modelagem da natureza) que estavam presentes na física e na arte desse período, juntamente com um o processo de ensino-aprendizagem de estática.

Por fim, na última etapa, retornamos ao problema inicial, utilizando os conhecimentos adquiridos para os estudantes compreenderem a ponte e compreenderem a física como parte da cultura. Tínhamos a proposta de ampliar a discussão para outras pontes como a ponte da Água Espraiada, localizada em São Paulo, e a ponte Metálica, localizada em Osasco.

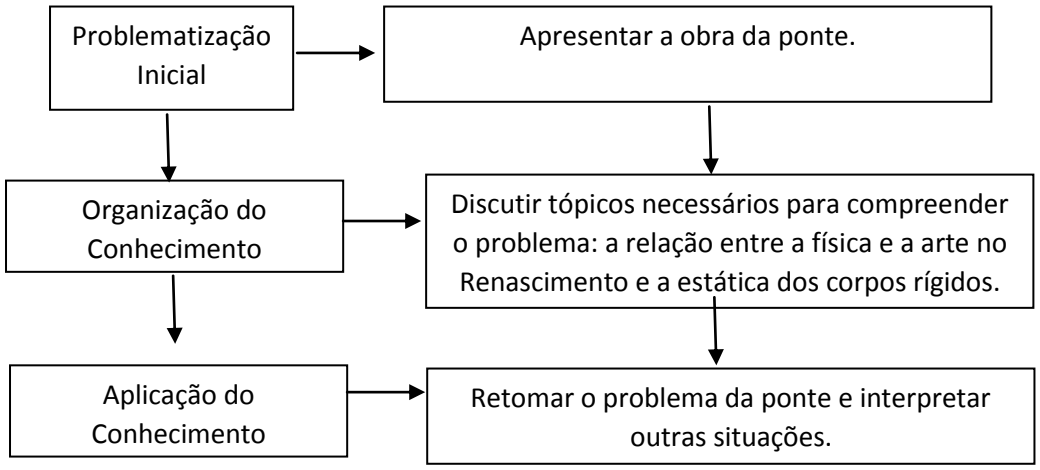


Diagrama 1: Os três momentos pedagógicos.
Fonte: Autoria própria

4 Ciência e Arte

É possível duas áreas de conhecimento aparentemente diferentes, ciência e arte, dialogarem entre si? De que forma pode ocorrer esse diálogo, ou confronto, ao longo do tempo? Quais são as semelhanças e as diferenças entre elas? De que maneira as ideias, conceitos e teorias da ciência fazem parte do imaginário de artistas na sua criação? Qual a importância da questão estética na atividade dos cientistas? De que maneira a ciência e a arte representam o contexto em que vivem?

Diversos autores defendem essa aproximação (SNOW, 1997; ZANETIC, 2006; REIS, 2002), considerando ambas como parte integrante da cultura em um determinado contexto sociocultural. O físico e escritor inglês Charles P. Snow (1997) argumenta em seu livro "*As duas culturas*" que a separação entre ciência e arte é uma perda, de caráter prático, intelectual e criativo, para toda a sociedade já que ambas as culturas se auto empobrecem quando não dialogam uma com a outra. Ele defendia uma maior penetração da ciência na arte e vice versa já que "quando esses dois sentidos se desenvolvem separados, nenhuma sociedade é capaz de pensar com sabedoria" (SNOW, 1997, p. 49).

O Psicólogo cognitivo Howard Gardner (1997) tenta estabelecer aproximações e diferenças entre as artes e as ciências naturais em seu livro "*As artes e o desenvolvimento humano*". O autor argumenta que tanto a arte quanto a ciência assemelham-se no fato de serem modos de comunicação de ideias, mas diferem na maneira como a comunicação é feita, ou seja, enquanto o artista transmite de maneira preponderantemente subjetiva suas impressões sobre o que ele considera relevante no mundo como, por exemplo, suas paixões, medos, reflexões sobre o mundo e etc., o cientista tenta ao máximo suprimir a subjetividade de suas criações.

O Físico estadunidense Arthur I. Miller traz em suas publicações um paralelo entre a ciência e a arte no início do século XX. Miller (1995) ressalva em seu artigo "*Aesthetics, Representation and Creativity in Art and Science"* como a representação do mundo e o conceito de estética estão presentes em ambas as culturas. Um exemplo dado por Miller é o caso do pintor John Constable (1776-1837) que defendia uma aproximação entre ciência e arte para possibilitar ao pintor novas maneiras de "ver" o mundo. Constable era fascinado pelo desenvolvimento científico e buscava utilizar o estudo das condições climáticas, dos

efeitos da luz e da percepção da luz e mudança em suas obras para buscar o "visual verdadeiro", principalmente na pintura do céu, sua grande paixão. Observamos isso em seu quadro Wivenhoe Park (figura 9) de 1816.

Figura 9: John Constable, Wivenhoe Park, 1816

Em 1836, Constable apresentou uma palestra na Royal Institution, em que ele começou falando sobre sua visão de ciência e arte:

> Pintar é uma ciência e essa deveria ser averiguada como uma investigação nas leis da natureza. Por quê, então, pinturas paisagistas não podem ser consideradas uma ramificação da filosofia natural, na qual os quadros são apenas os experimentos? (Miller, 1995, pg.187)[5]

Constable acreditava que, como o cientista, o pintor deveria observar e experimentar, pois somente assim se poderia representar algo da melhor forma possível. Desse modo, embora o artista não possa pintar um verdadeiro pôr do sol, ele pode tentar fazê-lo por meio do conhecimento sobre a luz e a cor. Apesar de Constable ser considerado do movimento romântico, a utilização de cores e luz, principalmente na construção do seu céu dava grandes indícios do movimento impressionista que viria alguns anos à frente.

Em seu livro "*Einstein, Picasso: space, time, and the beauty that causes havoc*" Miller tentar encontrar paralelos entre Einstein e Picasso. Para Miller (2001), tanto Einstein quanto Picasso debruçaram-se sobre as mesmas questões, ou seja, o espaço, o tempo e a representação da simultaneidade que resultaram em uma nova estrutura da natureza, com a teoria da relatividade, e

[5] Tradução livre do trecho: "*Painting is a Science and should be pursued as an inquiry into the laws of nature. Why, then, may not landscape painting be considered as a branch of natural philosophy, of which pictures are but the experiments?*"

uma nova forma de representá-la, com a utilização da geometrização do desenho e da pintura pelos artistas.

No final do século XIX muitos físicos, dentre eles Willian Thomson, acreditavam que a física daria uma explicação definitiva para a natureza quando conseguissem resolver dois "pequenos" problemas da física. Um problema relacionado ao resultado negativo da detecção do éter pela experiência de Michelson-Morley e, consequentemente, a propagação das ondas eletromagnéticas e outro problema, na termodinâmica, relacionado à violação do Teorema da Equipartição de Energia para baixas temperaturas e à catástrofe do ultravioleta para altas temperaturas.

As previsões de Willian Thomson estavam, felizmente, equivocadas. No século XX a física tomou rumos absolutamente impensáveis e aqueles dois problemas influenciaram a teoria da relatividade de Einstein e a formulação da mecânica quântica.

Miller (2001) argumenta que a estética estava presente em ambos os trabalhos e foi uma das questões fundamentais tanto para Einstein quanto para Picasso.

> A abordagem de Einstein para tempo e espaço não foi essencialmente matemática. Noções de estética foram essenciais para sua descoberta da relatividade em 1905 e de uma nova representação da luz. E em 1915 como meios de expansão da teoria da relatividade para incluir a gravidade [Relatividade Geral]. Nem os estudos de Picasso sobre espaço foram totalmente artísticos no sentido restrito deste termo, como seu interesse em desenvolvimentos científicos revela. A nova estética de Picasso para o Demoiselles foi a redução de formas para a geometria (p. 4)[6].

Einstein tinha preocupações estéticas com relação à assimetria que ocorre na descrição do movimento relativo entre magnetos e condutores. Havia duas interpretações para explicar o problema de uma corrente elétrica induzida em um condutor por um magneto:

- Quando o magneto é mantido em repouso com relação ao laboratório e um condutor move-se perto dele a corrente é induzida porque o movimento das cargas sob o campo magnético do magneto origina uma força sobre cada elétron livre (de carga e) do condutor, perpendicular ao campo magnético B e à velocidade **v** do elétron;

---

[6] Tradução livre do texto: *"Einstein´s approach to space and time was not primarily mathematical. Notion of aesthetics were essential to his discovery in 1905 of relativity and a new representation for light, and the in 1907 of means to widen relativity theory to include gravity. Nor were Picasso's studies of space totally artistic in the narrow sense of this term, as his interest in scientific developments reveals. Picasso´s new aesthetic for the Demoiselles was the reduction of forms to geometry."*

- Quando o magneto move-se e o condutor é mantido em repouso a corrente é considerada como sendo produzida por um campo magnético variável, de acordo com a lei de indução de Faraday.

Apesar das equações utilizadas para resolver o problema serem diferentes, o resultado é o mesmo. Tal assimetria era inaceitável para Einstein. Para resolver o problema, Einstein propôs dois postulados, enunciados na seguinte forma:

1. Todas as leis da física têm a mesma forma em qualquer referencial inercial;

2. A velocidade da luz no vácuo independe da velocidade da fonte.

Esses dois postulados, mais a hipótese de isotropia do espaço, deram origem à teoria da relatividade especial. Uma das consequências desses postulados é colocar em discussão o absolutismo dos conceitos newtonianos de espaço, tempo, massa e simultaneidade. Quando Einstein considerou a velocidade da luz como um novo absoluto, esses conceitos passaram a ser relativos, ou seja, dependem da velocidade do referencial. Além disso, as aparentes assimetrias, discutidas acima, desaparecem sob a luz da relatividade einsteiniana.

Para Einstein, os conceitos de espaço e de tempo não são mais independentes como na teoria Newtoniana, mas sim dependentes, formando o *continuum* espaço-tempo que é constituído por três dimensões (largura, espessura e profundidade) e uma dimensão temporal.

Assim como Miller, José C. Reis apresenta algumas relações entre a física e em sua tese de doutorado e em diversos artigos escritos juntamente com o grupo Teknê[7]. Um exemplo dado por Reis (2002) nessa época foi em como pintores, como Monet, tentaram mostrar a temporalidade do espaço em suas obras. Monet em seu conjunto de obras “Monte de Feno” (figura 10) pinta monte de fenos em diferentes épocas.

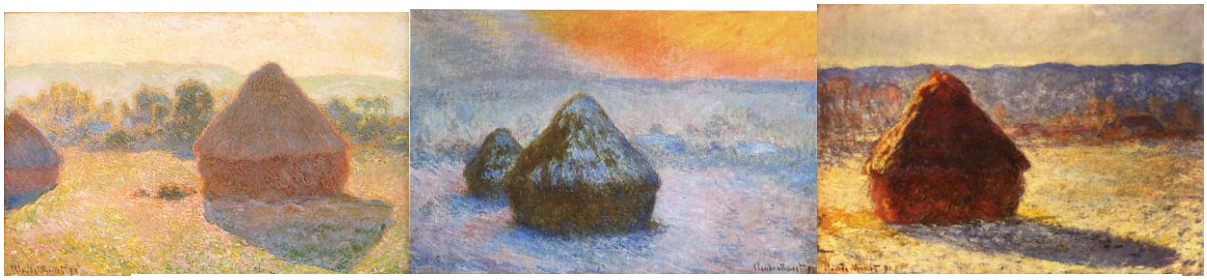


Figura 10: Três obras do conjunto Montes de feno representando a temporalidade. Claude Monet, Montes de feno, 1891

[7] Grupo formado por Andrea Guerra e Marco Braga, além do próprio José Claudio Reis.

O cubismo apropriou-se desse conhecimento científico para tentar representar, em uma superfície plana, a maneira como um corpo poderia ser visto na quarta dimensão. Segundo Silva (2010), Braque e Picasso substituíram o sistema de representação tridimensional fundamentado no ponto de vista único e central por outro de n-dimensões fragmentárias que, por sua vez, é fundamentado nas geometrias não euclidianas.

Essa fragmentação da realidade é observada na pintura cubista ao representar simultaneamente partes dos objetos que não poderiam ser vistas ao mesmo tempo. Segundo Reis (2002), Picasso transcendeu Monet ao juntar espaço-tempo num único quadro. Na obra *Les Demoiselles D' Avignin* (figura 11), de Pablo Picasso, por exemplo, são vistas quatro mulheres em pé e uma agachada como se fosse vista simultaneamente de perfil e de frente.

Figura 11 – Pablo Picasso, *Les Demoiselles D' Avignin, 1907.*

A figura agachada está representada, segundo Silva e Benutti (2007), em três pontos de vista diferentes, a parte esquerda do seu corpo é mostrada como se fosse visto em 3/4, o rosto que, ao contrário do esperado, está virado para o observador e a parte direita do corpo que está paralelo à superfície da tela, de costas para o observador. É como se Picasso estivesse andando em torno da modelo e a partir de suas impressões tivesse representado esses diferentes momentos de percepção no retrato da mesma.

Ao invés de objetos bem localizados no espaço e definidos no tempo, o que se observa, no cubismo, é um espaço tridimensional fragmentado, com objetos dispostos sobre diversos planos, como um jogo entre as dimensões espaciais e temporais. Segundo Reis (2002), a pintura cubista fracionou a apreensão da realidade e os pedaços desse fracionamento não puderam mais ser reagrupados, a totalidade da percepção não se resumiria a uma mera soma das partes. Por isso, aos olhos de um observador acostumado com a arte renascentista, que representa o real por meio da técnica de perspectiva, as obras cubistas parecem deformadas.

Miller (2001) diz que o cubismo representa o mundo de uma maneira que vai além da sua aparência que observamos no cotidiano e, igualmente, a ciência também se depara com um mundo que já não consegue mais ser representado dentro do senso comum.

Salvador Dali na sua obra *A persistência da memória* (figura 12) dialoga com as noções de espaço e de tempo einsteinianas por meio de três relógios que se encontram maleáveis na superfície, parecendo fluir sobre ela, denotando o caráter não absoluto do tempo, ou seja, a dilatação do tempo. É importante salientar que essa maleabilidade dos relógios, que está relacionada à noção de tempo na relatividade einsteiniana, é uma propriedade do *continuum* espaço-tempo e não um efeito mecânico dos relógios, ou seja, o que "amolece" é o próprio tempo e não os relógios.

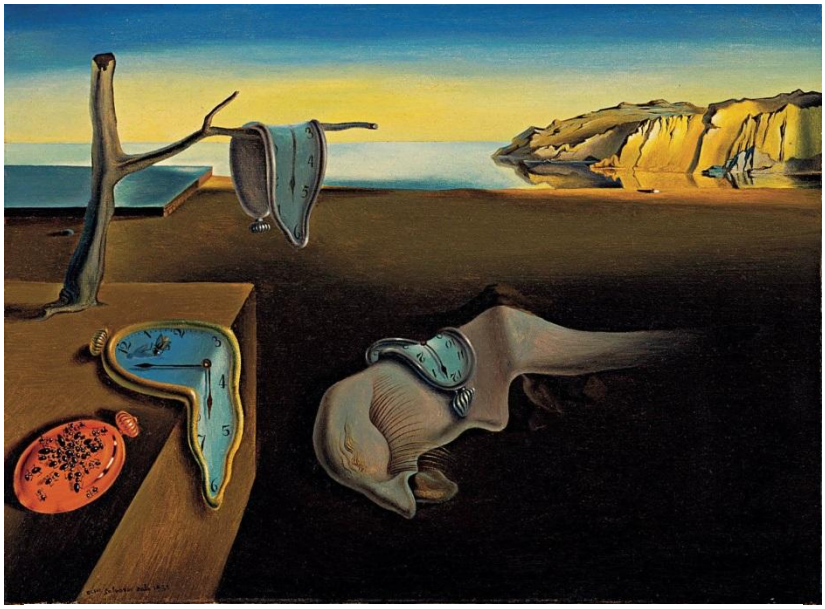


Figura 12 – Salvador Dali, A persistência da memória, 1931.

"Os relógios fluem sobre um espaço que é representado pelas pedras, pela árvore, por uma figura animalesca (estes em primeiro plano), por uma grande planície, pelo mar, pelas

montanhas e pelo céu limpo, ao fundo*" (*ANDRADE et al, 2007, pg. 409). O próprio Salvador Dali expõe essa relação entre seus relógios e o espaço.

> O tempo é impensável sem o espaço, dizem cada um dos meus quadros. Meus relógios moles não são apenas uma imagem fantasista e poética do real, mas esta visão (...) é, com efeito, uma definição mais perfeita de tempo-espaço, que as mais altas especulações matemáticas possam dar" (DALÍ, 1976).

O cubismo também influenciou o desenvolvimento do conceito de complementaridade da física quântica. Bohr propôs a ideia de considerar os comportamentos ondulatórios e corpusculares dos elétrons como sendo complementares de uma entidade única de tal forma que não podemos observar esses lados simultaneamente. Miller (1995), afirma que essa ideia de complementaridade teria ocorrido a Bohr por causa de seu interesse pelo cubismo. Bohr achava impressionante o fato de o cubismo permitir ao observador mover-se em volta dos objetos de forma a ver vários de seus aspectos simultaneamente. Logo, por meio desse recurso de representação, o artista pode utilizar pontos de vista múltiplos ao invés de um único. Bohr pode encontrar nas múltiplas perspectivas do cubismo o paralelo perfeito para a sua ideia. Assim como no cubismo, onda e corpúsculo constituem aspectos complementares de uma única realidade. Seu modelo teve a grande importância de permitir que o comportamento do elétron, que desafiava a lógica clássica, pudesse ser descrito em termos visuais e intuitivos (Miller, 1995; p.188-189).

João Zanetic é outro grande defensor da aproximação entre essas duas culturas. Na sua visão, a aproximação de ambas é útil não apenas para interpretar o mundo, mas também para transformá-lo (ZANETIC, 2006). Zanetic destaca a ponte com a literatura como fonte geradora de reflexão e conhecimento.Mantendo o mesmo contexto do final do século XIX e começo do século XX, pode-se observar questões relacionadas ao tempo presentes na literatura como, por exemplo, os livros *Máquina do tempo*, *Os irmãos Karamozov* e *Som e Fúria.*O livro *Máquina do Tempo,* publicado em 1895 por Herbert George Wells (1866-1946), traz uma discussão sobre a viagem no tempo e a quarta dimensão. Segundo Bergonzi (1961) Wells idealizou sua obra após a reunião *Debating Society da Royal College of Science* em que Hamilton-Gordon apresentou, em janeiro de 1887, seu trabalho "*Fourth Dimension*" em um debate. Publicado em Abril de 1887 pelo *Science Schools Journal* o trabalho sugere quatro possibilidades para a quarta dimensão: tempo, vida, paraíso e velocidade. Apesar de tratado de maneira confusa, essa foi uma das primeiras abordagens das possibilidades de uma geometria não euclidiana multidimensional.

A viagem no tempo já era abordada em narrativas nesse período, mas essas viagens eram justificadas através de sonhos, delírios e devaneios (ALLEN, 1974, p.45). H.G Wells inova ao utilizar uma abordagem científica, mesmo que fictícia, utilizando-se de uma teoria quadridimensional para explicar a possibilidade de suas viagens no tempo. Apesar disso, a maneira como a máquina funciona não é aprofundada, restringindo-se apenas à funcionalidade do controle da velocidade.

> – Pode ter existência real um cubo que não dure por nenhum espaço de tempo?
>
> Filby ficou pensativo
>
> - Não há dúvida – continuou o viajante do tempo - de que todo corpo real deve estender-se em quatro direções: 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.(...) Não existe diferença entre o Tempo e qualquer das três dimensões do espaço, exceto que nossa consciência se move ao longo dele (WELLS, 2010, p.22).

Nesse diálogo, o "Viajante do tempo" discute a relação entre o espaço e o tempo, baseando-se em uma geometria quadridimensional, dez anos antes da teoria da relatividade de Einstein. Assim, percebe-se que algumas indagações sobre o espaço e tempo estavam presentes no ambiente cultural da época e não apenas na física. (REIS; GUERRA; BRAGA, 2005).

No romance *Brat'já Karamazovy* (Os irmãos Karamazov), de Fiódor Dostoiévski (1821-1881), a ciência está presente em diálogos entre os personagens Ivan e Aliócha, retratando elementos da relação espaço-tempo que surgiria com a relatividade (ZANETIC, 2006, pg. 64).

Dostoiévski familiarizou-se com a geometria não euclidiana de Lobachevsky ao longo de seus estudos na Academia de Engenheiros Militares e, acredita-se, que isso renovou e ampliou seu conhecimento com a nova geometria na hora de escrever Irmãos Karamazov (KNAPP, 1987).

> É preciso notar, no entanto, que, se Deus existe, se ciou verdadeiramente a terra, fê-la, como se sabe, segundo a geometria de Euclides, e não deu ao espírito humano senão a noção das três dimensões do espaço. Entretanto, encontraram-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 de 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... Que as paralelas se encontrem sob meus olhos, verei e direi que se encontram; e no entanto não o admitirei. Eis o essencial, Aliócha, eis minha tese (Dostoiévski, 1970, p.177).

Nessa conversa com Aliocha, Ivan atribui sua incapacidade de entender Deus a limitações da sua mente, especificamente o fato de que ele tem uma "lamentável, terrena, compreensão euclidiana". Ivan possui uma mente "tridimensional" enquanto a harmonia divina parece operar em alguma quarta dimensão. Desse modo, ele justifica suas limitações da mente alegando que as preocupações místicas e sobrenaturais estão fora do seu alcance e que a rejeição da quarta dimensão é a única resposta possível para um homem sensato.

Por fim, o romance *Som e Fúria* de William Faulkner, escrito em 1929, utiliza de uma narrativa não linear em que acontecimentos do passado se entrelaçam com o presente. Eventos que estão próximos de se concretizarem são cortados e, quando retornamos à narrativa, já aconteceram. Assim, Faulkner funde os tempos passado e presente simultaneamente em sua narrativa

Espero que os exemplos apresentados nesse capítulo permitam o leitor compreender a aproximação existente entre a física e a arte. Esse diálogo entre áreas aparentemente tão distintas é possível porque ambas são parte integrante da cultura e, por isso, artistas e cientistas representam o mesmo mundo, mas utilizam diferentes linguagens para isso.

4.1 Imaginação e criatividade.

A ideia de que a criatividade e a imaginação são restritas aos artistas em geral enquanto a física trabalha apenas com as faculdades cognitivas, e mais a ideia de que a física tem que ser ensinada como algo árduo e complexo em que apenas os "escolhidos" são capazes de compreender e admirar é um pensamento equivocado, pois:

> A ciência pode ser fonte de prazer, caso possa ser concebida como atividade criadora. A imaginação deve ser pensada como principal fonte de criatividade. Explorar esse potencial nas aulas de ciências deveria ser atributo essencial e não periférico. A curiosidade é o motor da vontade de conhecer que coloca nossa imaginação em marcha. Assim, a curiosidade, a imaginação e a criatividade deveriam ser consideradas como base de um ensino que possa resultar em prazer (PIETROCOLA, 2004, p. 133).

A curiosidade também é muito valorizada e problematizada na pedagogia freiriana, que enfatiza o processo de transformação da curiosidade ingênua, diante do desafio representado no adentrar a qualquer ramo do conhecimento, para a curiosidade epistemológica, que se desenvolve com o trabalho com esse conhecimento elaborado historicamente. As diferentes áreas do conhecimento lidam com a criatividade e a imaginação de maneira característica de seu desenvolvimento histórico. Por exemplo,

> A imaginação nos atinge e nos penetra de formas diferentes na ciência e na poesia. Na ciência, ela organiza nossa experiência em leis, sobre as quais baseamos nossas ações futuras. A poesia, porém, é outro modo de conhecimento, em que comungamos com o poeta, penetrando diretamente na sua experiência e na totalidade da experiência humana (BRONOWSKI, 1998, p.20, apud ZANETIC, 2006, pg. 57).

A imaginação liberta a mente humana, permitindo-lhe viajar a todos os lugares de maneira extraordinariamente livre. O artista usa a imaginação ora para descrever o mundo real em que vive ora para construir mundos “imaginários”, que retratam seu interior, penetrando diretamente na sua experiência. Os cientistas também utilizam a imaginação na medida em que o conhecimento científico resulta sempre de um exercício da imaginação.

Gaston Bachelard, por exemplo, que mostra a ciência e a imaginação poética como opostas, concorrentes e complementares por meio da representação do *homem diurno,* e suas elaboradas construções racionais; e do *homem noturno*, e a função irreal da imaginação criadora. Dessa forma, o homem não é regido apenas pelo seu lado diurno, da razão, mas por uma dialética entre o diurno e o noturno.

Segundo Silva (2009), Bachelard considera dois aspectos da mesma realidade imaginativa: a imaginação formal e a imaginação criadora. A imaginação formal, que se fundamenta no racionalismo, está relacionada à função do real, cujas bases encontram-se na percepção e na memória; enquanto a imaginação criadora, que se relaciona ao devaneio, cumpre a função do irreal e coloca em movimento a articulação simbólica entre o mundo interior e o exterior. Assim, enquanto a imaginação formal é útil para o saber cientifico, a imaginação criadora permite a investigação sobre as ações que são produto desse imaginário.

> Através da imaginação formal o homem estabelece um tipo de relação que diz respeito à reprodução do mundo material, tornando-o primordialmente um observador do universo à sua volta, enquanto que através da imaginação criadora, vinculada à energia arquetípica, sua ação é distinta, pois se coloca contra a própria materialidade das coisas, procurando superá-las e até mesmo transformá-las, dependendo do tipo de resistência que os arquétipos provocam à psique. Dessa forma, o homem deixa na natureza a sua marca. (p. 4)

A ciência consiste em olhar o mundo real, um mundo que pode ser contrastado com diversos mundos imaginários criados pelo cientista para explicar a natureza. Em alguns momentos é necessário, primeiramente, imaginar como funciona nosso mundo para poder desbravá-lo.

Nos trabalhos de Einstein, por exemplo, a imaginação e a intuição estavam presentes. Em sua juventude Einstein utilizava-se de seus experimentos mentais para imaginar como seria se viajássemos na velocidade da luz. Na fase adulta, continuou com seus experimentos mentais, possibilitando-lhe fazer previsões (ou aplicações) certas de muitas de suas ideias, incorporando a temática crítica que os físicos e filósofos da ciência desenvolveram na virada do século XIX para o século XX.

Da mesma maneira, a criatividade não pode ser compreendida como um atributo restrito apenas aos artistas ou vista como um dom, algo "sobrenatural" que apenas alguns possuem. Esse pensamento cria o estereótipo que envolve a ideia da "descoberta" ser algo exclusivamente individual e feito apenas por pessoas especiais, escolhidas.

Cria-se, assim, uma relação apenas entre o produto final e o seu criador. O filósofo Gilbert Ryle (1900-1976), segundo Boden (1999), dizia que o conceito da criatividade está diretamente relacionado com o produto final das ações criativas, como um *insight*, e menos com as ações em si mesmo, principalmente com o processo que as levaram a acontecer.

Não buscarei apoio nesse modelo reducionista em que o processo de criação é resumido a momentos divinos de inspiração momentânea e individual. Acredito que a criatividade "(...) não está limitada a uns poucos escolhidos, pois (...) todos nós temos um grau de poder criativo que está fundamentado em nossas habilidades humanas comuns" (BODEN, 1999, p. 12).

O ato criativo estaria ligado à superação de uma situação limite. Momento em que o sujeito é convidado e desafiado a utilizar suas capacidades cognitivas, modalidades de percepção, sua intuição, sua imaginação etc., para, juntamente com outros sujeitos e com o ambiente, poder superar um problema de forma inovadora. "Esta superação que não existe

fora das relações homens-mundo, somente pode verificar-se através da ação dos homens sobre a realidade concreta em que se dão as ‘situações-limites’” (FREIRE, 1987, pg. 106-107).

Um sujeito que tenha a liberdade e sinta-se capaz de criar/recriar para superar dificuldades, pode sentir-se capaz de transformar, de mudar, de melhorar a si mesmo e as situações em que vive.

5 O Renascimento

Este capítulo traz discussões sobre o desenvolvimento científico no período renascentista com o objetivo de levantar as principais ideias e pensamentos que estavam permeando essa época. Não pretendo levantar todo o desenvolvimento científico do Renascimento, mas sim trazer uma reflexão sobre potenciais ideias e pensamentos que nos auxiliarão a construir uma visão da física como parte de um contexto sociocultural.

Neste trabalho, não me preocuparei em narrar, rigorosamente, todos os eventos linearmente. Ademais, não tenho o objetivo de descrever minuciosamente as sequências de eventos ou relações de causa e efeito. Compreendo este capítulo como um contexto para o trabalho; interesso-me, desse modo, não em uma história de acontecimentos, mas por significados que poderão ajudar-nos a situar nossas atividades e reflexões.

Assim, não tenho o propósito de fazer um trabalho de história da ciência, descrevendo todos os fatos que levaram ao Renascimento, o seu desenvolvimento, e a sua decadência, pois, por um lado, não sou um historiador da ciência e, por outro, não é a pretensão desta pesquisa. Do mesmo modo, não almejo fazer um trabalho de filosofia, relatando todas as vertentes de pensamento que movimentaram esse período, assim como sua queda, já que não sou filósofo e esse também não é o nosso objetivo. Todavia, utilizei-me de historiadores e de filósofos para construir as reflexões aqui presentes.

Por fim, não pretendo esgotar toda a discussão sobre o assunto e nem examinar todas as complexas dimensões desse período. Considero-o como um contexto cultural em que a ciência e as artes dialogam mutuamente, mesmo que às vezes esse diálogo seja de surdos. Essa relação será construída com base no modo como os artistas e “cientistas” renascentistas se relacionavam com a natureza e como a compreendiam. Perceber que nesse período a busca por uma representação matematizada da natureza permeava ambas as áreas, sendo que cada área representava esse pensamento em linguagem própria, permite entendermos a física como parte de um contexto sociocultural.

As relações entre essas duas áreas do conhecimento nem sempre ocorrem de maneira direta, causal (uma descoberta na ciência causa algo nas artes, por exemplo), mas também indiretamente, mediadas pelo mundo, seu contexto social, econômico, religioso e cultural (REIS, 2002). Por exemplo, com a descoberta da perspectiva no Renascimento foi possível

retratar espaços que se assemelham a um mundo infinito nas obras plásticas, diferentemente da representação de um mundo fechado e finito da arte medieval. Esse conceito de espaço infinito será tratado algum tempo depois por Galileu e sua lei da inércia e posteriormente por Descartes[8], pois para se pensar essa lei é necessária a aceitação da infinitude do espaço já que tal lei refere-se à possibilidade de um corpo manter-se em movimento retilíneo uniforme *ad infinitum*, se a somatória de forças que atuam sobre ele for zero.

A física irá incorporar, com Descartes, Galileu e Newton, esse novo universo que os artistas começaram a construir com o advento da perspectiva. Essa estruturação do universo, no entanto, não pode ser atribuída a uma explicação causal em que o universo criado pelos artistas é a causa para a formulação da lei da inércia, mas sim que ambos, artistas e cientistas, estavam representando as mudanças que estavam ocorrendo naquele contexto histórico, sendo que, nesse caso, a arte antecipou-se à física na representação dessas mudanças.

5.1 O contexto renascentista

O período conhecido como Renascimento inicia-se no século XV, com datas variáveis dependendo da visão que se privilegia, e culmina no Barroco por volta do século XVI. Esse período se refere ao resgate ideal às formas da antiguidade enquanto verdadeira fonte da beleza e do saber, buscando-se, por meio da leitura dos clássicos gregos e latinos, uma linguagem que fosse universal, recuperando modelos e regras da arte antiga (BYINGTON, 2009).

Contudo, esse período foi muito mais amplo e complexo do que um simples resgate dos ideais da cultura greco-romana. A ideia de que apenas no período renascentista ocorreu um súbito interesse pelos autores clássicos é errônea, pois mesmo na Idade Média o interesse pelos autores greco-romanos nunca deixou de existir. Por exemplo, o poeta italiano Dante (1265-1321) manifestou inegável entusiasmo pelos clássicos. Também, estudava-se autores como Cícero, Virgílio, Sêneca e também filósofos gregos nas escolas das catedrais e mosteiros.

[8] A lei da inércia da maneira como conhecemos atualmente foi descrita por Descartes e não por Galileu. Galileu foi precursor desse pensamento por meio da inércia circular, mesmo nunca tendo usado esse termo.

Não podemos esquecer o desenvolvimento filosófico, científico, e literário produzido pelos árabes. Kuhn (1990) retrata que os árabes foram importantes para que a Europa regatasse o conhecimento dos pensadores antigos, já que foi por meio das traduções dos árabes, com suas contribuições inseridas, que os europeus tiveram acesso à literatura antiga.

> Durante os séculos em que o ensino na Europa estava em plena decadência, ocorreu o grande Renascimento da ciência no mundo muçulmano. [...] Os filósofos muçulmanos inicialmente reconstituíram a ciência antiga [...] E depois acrescentaram suas contribuições. Eles produziram avanços originais fundamentais em matemática, química e óptica [...]. [A Europa] cristã recuperou o ensino antigo a partir dos árabes e usualmente em traduções árabes (p. 100/101).

A ideia do termo Renascimento pertence à própria época e a seus protagonistas, os humanistas italianos, que chamavam esse novo fervor vivido nas diversas áreas do conhecimento de *Rinascita (*BYINGTON, 2009). *Rinascita* se deve à redescoberta e revalorização de autores da antiguidade clássica para tentar "trazer à luz" o mundo que foi sepultado pelas "trevas" da Idade Média.

No entanto, hoje não consideramos mais a Idade Média como totalmente improdutiva, estancada, como sendo as "trevas" e o período renascentista como trazendo a "luz", mas compreendemos que tradições medievais não haviam desaparecido completamente seja sob a forma de ideias, formas ou imagens (BYINGTON, 2009).

Byington (2009) ressalva a grande complexidade do processo histórico da Alta Idade Média ressaltando que a dita imobilidade medieval contrapõe-se a uma grande convulsão política e social do século IV ao XII, criando um vazio político que culminaria em choques de cultura, valor e tradições. Esse período evolutivo longo, complexo, contraditório e tortuoso, abriria espaço para uma nova sociedade que se estruturaria em princípios, normas, regras e doutrinas diferentes da anterior.

O grande desenvolvimento dos estudos de gramática, retórica e dialética, baseados nos modelos clássicos, que ocorreu nos primórdios do Renascimento foi designado *studia humanitatis* (BYINGTON, 2009), ficando conhecido com o nome de humanismo. O ideal do movimento humanista foi um importante móvel do progresso renascentista e tornou-se o próprio espírito da época.

Isso não significa que o humanismo foi a filosofia oficial do Renascimento, mas que os valores e ideias defendidas por esse movimento abriu portas para um novo pensamento e compreensão do homem e do mundo sendo, desse modo, importante para o entendimento do contexto renascentista.

> Não houve uma filosofia oficial renascentista. Entretanto, os pensadores renascentistas se identificavam com o chamado humanismo. Os humanistas renascentistas se interessavam pelos valores do indivíduo de um modo desconhecido da antiguidade ou na Idade Média. Exemplo o filósofo Michael de Montaigne, que escreveu um livro cujo tema era sua própria existência (SHMIDT,2005, p. 135).

O movimento humanista pode ser compreendido, num sentido amplo, como a valorização dos homens, suas capacidades e aspirações, e da natureza. Apesar da valorização do homem nesse período, as pessoas não se tornaram descrentes de Deus, mas apenas mudaram a forma de pensar sobre as suas criações e sobre o mundo (GODINHO, 2012). Um exemplo é Johannes Kepler (1571-1630), astrônomo e matemático, que incorporou pensamentos religiosos em seus trabalhos. Motivado pela ideia de que Deus era um geômetra, ele tentou encontrar formas geométricas que permitissem esclarecer a posição dos planetas no Universo.

O pensamento medieval teocentrista pregava a submissão do homem à vontade divina, sendo que as principais fontes para o acesso ao conhecimento eram de caráter religioso ou revelações divinas. Já os renascentistas, impregnados pelos ideais humanistas, buscavam representar o homem ideal e a natureza de maneira fiel. Não ficavam restritos a apenas observar a natureza, mas a estudavam procurando sempre imitá-la com precisão e até superá-la (QUEIROZ, 1995).

É possível ver essas diferenças entre o pensamento medieval e o renascentista contrapondo duas figuras humanas: São Francisco de Assis e Leonardo da Vinci. Segundo Godinho (2012), esses dois homens tinham em comum a admiração por pássaros, mas enquanto São Francisco amava-os divinamente, Leonardo observava-os e estudava a possibilidade do homem voar como um pássaro.

Minois (1990) sintetiza algumas ideias do movimento humanista com relação ao surgimento de um espírito que busca a verdade por meio da razão.

> O humanismo triunfante e sua virtude enervante - no sentido etimológico – ganha as mais altas esferas do clero, inclusive os papas. As preocupações intelectuais se sobrepõem às exigências espirituais e dogmáticas, o saber sobre o agir, as veleidades sobre as decisões. O imenso apetite de cultura inverte os limites impostos pela fé dos séculos precedentes. O espírito se abre a todos os domínios do conhecimento humano; os exclusivos recuam. O mundo dos intelectuais começa a se instalar no terreno, com uma retomada de admiração pelas antigas obras pagãs, um desejo de usufruir os bens presentes e um otimismo sorridente para o futuro, que os engenheiros já povoam de máquinas fantásticas que tornarão a vida mais agradável. O Céu não é esquecido, por certo, mas, por enquanto, não há pressa (p. 291 apud WOORTMANN, 1996, pg 6).

O pensamento antropocentrista do Renascimento vê uma confiança na capacidade do homem, abrindo um caminho para a busca de novos estudos e conhecimentos. Os estudiosos renascentistas tinham a concepção de que tudo podia ser esclarecido pela razão e pela ciência ou, como salientou Adam (2010), que a razão venceu as crenças e o misticismo religioso medieval na busca do conhecimento e tornou-se a medida de todas as coisas, sendo desacreditada qualquer coisa que não tenha sido comprovada.

Nesse período, houve uma mudança na maneira com que o homem se comportava e vislumbrava o mundo, um momento de transição que foi fundamental para as ciências exatas e para as ciências humanas em particular, pois "a partir dele uma nova humanidade e uma nova alteridade começam a ser descobertas, juntamente com uma nova cosmografia e uma nova cosmologia" (WOORTMANN, 1996, pg. 5).

Garin (1996) diz que essa complexa mudança cultural foi, antes de tudo, uma ruptura de equilíbrio e de esquemas, em que os humanistas substituíram as trilhas já sem perspectiva da especulação medieval por novos impulsos. Diante de perguntas que até aquele momento haviam ficado sem resposta, abriam-se, dessa maneira, novas e imprevisíveis possibilidades.

No entanto, o humanismo não consegue construir uma nova maneira de explicar o mundo natural para substituir a escolástica medieval. Essa época é marcada por contestações e embates que, só no século seguinte, culminaram num universo matematizado, quando o mecanicismo, que dá conta desde a gravitação até o "homem máquina" passa a dominar o pensamento.

Mesmo com o humanismo renascentista trazendo renovações no pensamento e a curiosidade, esse período ainda era dominado pelo discurso teológico. Por outro lado, as explicações acerca do mundo eram feitas, na maioria das vezes, por meios apenas filosóficos já que ainda não existiam recursos matemáticos básicos como os sinais de + e – (começaram a ser utilizados por volta do século XVI) e o signo = (que se tornou comum no século XVII) (ROQUE, 2012).

Além do humanismo, a retomada dos clássicos fez surgir o naturalismo renascentista. Segundo Pessoa (2007), compreende-se o naturalismo como uma valorização da natureza, buscando explicar o mundo a partir da natureza que carrega certa unidade e tem leis próprias. No naturalismo renascentista, a natureza é embutida de uma espécie de alma à semelhança do homem já que

> (...) era influenciado pelo *hermetismo*, uma tradição semirreligiosa e mágica vinda da Antiguidade, e atribuída a Hermes Trimegisto, do Egito, que teria previsto a ascensão do Cristianismo. A divulgação de manuscritos herméticos na Toscana, por volta de 1460, despertou muito interesse. Ensinava que o homem é capaz de descobrir elementos divinos dentro de si, defendendo uma afinidade mística entre o mundo e a humanidade, entre o macrocosmo e o microcosmo. Em meio a seu misticismo, estimulava a observação científica e a matemática, dentro de uma concepção pitagórica de descrição da natureza por meio de números (pg. 9).

Essas mudanças, contudo, não ocorreram apenas em alguns setores como na filosofia e nas artes e nem esses setores devem ser entendidos como separados como se fossem pseudocategorias. Nesse período, a nova maneira de ver o mundo e o homem trouxe elementos capazes de modificar diferentes campos do conhecimento humano, entendidos como dinâmicos, inter-relacionados e como produtos e causas dessa nova sociedade.

5.2 As duas visões da natureza: o aristotelismo e o neoplatonismo

Nessa época, conviviam, nem sempre harmonicamente, duas visões de natureza que eram derivadas das escolas escolásticas: a concepção aristotélica e o neoplatonismo[9].

Na visão aristotélica, o mundo era dividido em duas regiões que eram incomunicáveis, distintas em substância e governadas por leis diferentes. O sublunar, que vai do centro da Terra à sua atmosfera, seria das coisas corruptíveis, mutáveis, da imperfeição, e composta por quatro elementos: fogo, terra, ar e água que estão em permanente mistura, gerando matérias "uniformes" e "não uniformes". Enquanto o supralunar, que compreende a Lua, o Sol, os cinco planetas e as estrelas, seria o mundo da ordem eterna, justiça plena e do imutável, constituído por um quinto elemento: o éter ou "quintaessência".

No mundo sublunar, os movimentos eram considerados como um tipo particular de mudança, a mudança de lugar. A sua análise era feita por meio de categorias amplas, qualitativas, derivadas dos conceitos de causalidade e teleologia (DION, 2008). Assim, todo o movimento que ocorresse nesse mundo tinha uma causa e explicar esse movimento equivalia

[9] Essa visão resgata o pensamento platônico original aliado ao humanismo e ao retorno do pitagorismo, sendo, em alguns casos, mesclado com misticismo.

exatamente a determinar sua causa. Além disso, o conceito de teleologia de Aristóteles afirmava que todas as coisas tendiam naturalmente para um fim, sendo que essa causa final faz o objeto mover-se, ou transformar-se, com o objetivo de atingir a perfeição. Perfeição que se realiza na medida em que o objeto cumpre a função para qual foi designado em essência.

Na concepção aristotélica, não faria sentido uma descrição matemática dos fenômenos, já que tal descrição não se ajustaria à estrutura de um mundo em que os fenômenos são naturalmente considerados qualitativos. O importante era o ato da mudança, a transformação de potencialidade em realidade como, por exemplo, a queda de uma pedra até o solo ou uma semente que se torna uma planta.

Apesar de a matemática constituir uma das três ciências especulativas, juntamente com a física e a metafisica, ela não era destinada ao estudo dos fenômenos terrestres[10] (DION, 2008). E a matemática, que significava essencialmente geometria na época, era uma ciência espacial que estudava as propriedades das figuras ideais, como triângulos, quadrados e círculos, propriedades deduzidas formalmente de suas definições.

Na concepção de Aristóteles, as figuras geométricas eram imutáveis e perfeitas, sendo que as linhas dessas figuras não podiam ser igualadas com as que ocorriam na natureza imperfeita e sujeita a mudança. Desse modo, ocorria uma separação entre o mundo da matemática e o mundo terrestre.

Entretanto, o mesmo pensamento não era válido para a região supralunar, pois esse mundo era imutável e perfeito da mesma forma que a geometria e, por isso, esta era um instrumento adequado para analisar os céus.

Convivendo ao mesmo tempo em que o aristotelismo, o neoplatonismo considera que a matemática está inserida na própria estrutura do mundo. Essa concepção acredita na relação que haveria entre os elementos primários da constituição dos corpos (terra, fogo, água e ar) e os quatro, entre os cinco, sólidos geométricos regulares (DION, 2008). Desse modo, a natureza, embora mutável e corruptível, era matemática *a priori*.

Apesar do pensamento pitagórico também compreender a realidade como subjugando-se a algo “divino”, nesse caso o mundo eterno da matemática, o neoplatonismo contribuiu ao pensamento da época ao introduzir um estilo matemático de pensar. Nesse caso, para se

[10] A matemática seria uma ciência intermediária, ou seja, mesmo separada das coisas sensíveis podemos conceber seus objetos como subsistentes em si mesmo, não sendo necessário um elo com a matéria sensível. Assim, é possível definir as formas geométricas sem uma relação com a matéria dada.

conhecer a essência do mundo era necessário conhecer a harmonia matemática que lhe é devida.

5.3 Em busca de harmonias matemáticas na natureza

No final da Idade Média, a teologia agostiniana[11], que norteou a Doutrina Cristã por todo medievo seria, pela primeira vez, confrontada por uma filosofia mais racional e lógica, que não priorizava a revelação e a fé. Esse confronto entre razão e revelação deu-se a partir da publicação e do estudo das obras de Aristóteles, inaugurando o que ficou conhecido como doutrina tomista.

Essa doutrina se deve ao monge dominicano São Tomás de Aquino (1225-1274) que, influenciado por Aristóteles, criou um sistema de doutrinas teológicas e filosóficas. O valor dessa filosofia está na conciliação do pensamento mais lógico e racional de Aristóteles com a fé cristã.

O tomismo, adotado oficialmente pela Igreja a partir do século XIV[12], busca por meio da lógica aristotélica harmonizar a razão e a fé. Procura demonstrar que a razão poderia provar a existência de Deus. Haveria, desse modo, duas fontes independentes de conhecimento: A razão, que recorre à experiência dos sentidos, produziria o conhecimento racional, e a revelação, que dá fé para auxiliar a compreender o que está além do alcance da razão.

A lógica era de que ambas, razão e fé, não se contradiriam, já que emanavam do mesmo lugar (KOBUSCH, 2003). Assim, a razão é o que permite o entendimento real das coisas, já que os sentidos apenas dão um conhecimento exterior das coisas, mas a razão pode conduzir ao erro, momento em que a fé deve ser levada em conta. O conflito entre a razão e a fé existe quando a primeira se propõe a explicar a natureza sem o auxílio da fé.

No período inicial do Renascimento, não houve um grande desenvolvimento científico devido ao apego dos estudiosos aos escritos clássicos de Aristóteles e Ptolomeu, por exemplo

---

[11] Na doutrina Agostiniana a fé e a razão complementam-se na busca da felicidade e da beleza. Essas não são alcançadas por meio do intelecto, mas por ato de crença e fé. A razão relaciona-se com a fé no sentido de provar a sua correção, ou seja, o conhecimento dependia de uma iluminação divina e a razão estava a seu serviço.

[12] Com a aceitação crescente do tomismo pela Igreja católica, a obra de Aristóteles tornou-se virtualmente um dogma cristão (TARNAS, 1999).

(DURANT, 2002). O valor desse período inicial, segundo Garin (1996) reside nas primeiras manifestações de interesse em estudar e reexaminar doutrinas e postulados, em aprofundar e expandir conhecimentos, em investigar e analisar teses e teorias.

O filósofo e físico francês Jean Buridan (1300-1358), por exemplo, foi um dos primeiros a questionar os pensamentos aristotélicos no período que compreende o fim da Idade Média e início do Renascimento.

Aristóteles acreditava que um movimento constante no sentido horizontal precisa de uma causa constante, ou seja, enquanto um corpo está se movendo, deve haver uma força agindo sobre ele. Desse modo, o movimento de um corpo diante de uma resistência seria proporcional à força motora do movimento, e inversamente proporcional à resistência do meio. Tal relação torna impossível a existência do vácuo, já que quando não há resistência, o objeto se moveria cada vez mais rápido até atingir uma velocidade infinita.

No mundo aristotélico, cada esfera (supralunar e sublunar), é governada por um conjunto diferente de leis. No mundo sublunar, o movimento retilíneo para cima e para baixo seria o natural fazendo com que os corpos pesados, por sua própria natureza, procurem seu lugar natural, ou seja, tendem para o centro do universo num movimento natural. Todavia, não seria natural a um corpo pesado mover-se para cima, movimento violento ou não natural, necessitando de uma causa externa constante atuando sobre ele, caso contrário, o movimento violento cessaria. Os corpos leves, ao contrário, se moveriam naturalmente para fora do centro do universo. Na esfera celestial, o movimento circular uniforme seria o natural, responsável, portanto, pelo movimento dos corpos celestes.

A questão gerada dessa Mecânica era a de determinar o que mantinha o corpo em movimento quando não havia mais contato com o que causou-lhe o movimento como, por exemplo, o porquê de uma flecha manter seu movimento após ser impulsionada por um arco. De acordo com a Mecânica de Aristóteles, o ar era dividido pela flecha em movimento e fechava-se atrás dela, dando continuidade ao movimento, ou seja, a flecha era impulsionada pelo próprio ar.

Buridan rejeitou a teoria de Aristóteles e desenvolveu uma versão modificada da física do *ímpetus*, que já estava presente na época. Na visão de Buridan, o *ímpetus* não era algo que se perdia, que durava um determinado tempo, mas sim algo que era permanente, ou seja, que agiria até o instante em que aparecesse alguma resistência. Assim, o *ímpetus* aplicado a um corpo geraria uma energia motora proporcional à velocidade e à massa mantendo o corpo em movimento. Nicolau de Cusa (1401-1464) atribuiu o movimento das esferas celestes à ação

do *ímpetus*. Assim, "a mecânica terrestre começava a se encontrar com a mecânica celeste, algo proibido pela separação imposta pela visão de mundo aristotélica" (ZANETIC, 2007, p. 46).

Nota-se, no entanto, que havia certa confusão entre os pensadores medievais com relação à causa e efeito do movimento por parte do *ímpetus*, ou seja, de vez em quando o *ímpetus* era compreendido como força que provocava o movimento (causa do movimento) e às vezes era entendido como qualidade do movimento (efeito do movimento) (ZANETIC, 2007).

Assim, não apenas Buridan, mas outros pensadores[13], começaram, mesmo de maneira rudimentar, a mudar a maneira como se pensa e se constrói a ciência. Essa mudança de pensamento terá sua consolidação na ciência moderna inaugurada pela metodologia de Galileu.

A volta da concepção pitagórica de que tudo é número, no século XV, trouxe a ideia de que todo o fenômeno natural poderia ser descrito em linguagem matemática. Assim, a filosofia aristotélica sofreria diversas críticas, pois suas explicações não tinham conteúdo matemático, concentrando-se apenas na explicação conceitual dos fenômenos, nas causas das mudanças na Natureza e no Universo.

No período medieval, a Bíblia é o símbolo da relação entre o homem e Deus. Como a natureza provinha do verbo de Deus não eram necessárias mais explicações para os fenômenos que ocorriam nela (CARUSO; ARAÚJO, 1998). Dante Alighieri (1995), por exemplo, na Divina Comédia demostra, por meio do Grande Livro do Universo, a ordem da essência divina.

> Tu ó Graça abundante, me animando,
> Olhos fitar ousei na luz eterna,
> A visão almejada consumado.
>
> E lá na profundeza vi que se interna
> Unido pelo amor em um só volume
> O que pelo universo se esquaderna:
>
> Acidente, substância e o seu costume,
> Conjuntos entre si por tal maneira,
> Que da verdade exprimo um simples lume
> (Paradiso,XXXIII, 82-90)

[13] Por exemplo, Alberto Magno, Roger Bacon, Robert Grosseteste, Leonardo de Pisa, Mondinode Luzzi, Nicolau Oresme, entre outros.

Dante alega que Deus é o Livro-Mestre do Mundo e para percebermos a divina essência da natureza é necessário fortalecermos nosso olhar por meio da divina iluminação.

O mundo místico medieval começa a ser desencantado pela ciência renascentista quando esta, produto do pensamento humano, transforma os mistérios e os milagres em leis universais e em regularidades matematizáveis (WOORMANN, 1996). Embora os renascentistas não fossem antirreligiosos, a imagem de Deus como o ordenador do universo para uso do homem é transferida ao homem que, com sua razão, desvenda o mundo de Deus. Desvendando as leis da natureza esse homem encontra um mundo mecânico e autorregulado.

5.3.1 A Unificação do Mundo Supralunar com o Sublunar

A doutrina tomista daria ao modelo geocêntrico de Ptolomeu uma situação de prestígio e de aceitação generalizada. Além disso, esse modelo era aceito também pela incorporação dos pensamentos dos grandes cientistas, pensadores e filósofos gregos (Platão, Eudoxo, Aristóteles, Apolônio, Hiparco).

O sistema ptolomaico não apenas funcionava, mas também articulava perfeitamente o pensamento de Aristóteles. Eram atribuídos movimentos naturais aos astros, sendo que a Terra não partilhava desse movimento, já que ocupava seu lugar natural, ou seja, em repouso e no centro do universo.

Havia fortes argumentos para considerar o sistema aristotélico-ptolomaico coerentes. Pode-se apresentar um forte argumento contra a rotação da Terra: se ela se movesse toda vez que um objeto é atirado verticalmente para cima não cairia no mesmo lugar, mas sim em um lugar ao oeste de seu ponto de partida. Além disso, os corpos não seriam atirados para longe da Terra, por causa de sua rotação? Se ela girasse, não observaríamos as aves nos céus passarem para oeste em grande velocidade? Esses argumentos, segundo Martins (1990), eram fortes porque indicavam que nada à nossa volta se move; e, se ela se movesse, as coisas deveriam se comportar de um modo diferente. Como isso não ocorre, conclui-se que a Terra não se move.

Além de parecer estar parada, a Terra também parece estar imóvel no meio dos céus. Ptolomeu utiliza argumentos astronômicos para defender sua ideia. Se imaginarmos que a

Terra esteja no centro da esfera das estrelas, veríamos metade da esfera das estrelas no céu visível da noite. E esse fato realmente acontece, já que em qualquer noite, de horizonte a horizonte, é possível observar, a cada momento, a metade do zodíaco. Se a Terra não ficasse no centro, a observação da esfera das estrelas não seria igual, algumas vezes veríamos mais da metade da esfera e outras vezes menos. Assim, "a evidência astronômica parece indicar que a Terra está no centro da esfera de estrelas. E se ela está sempre nesse centro, ela não se move em relação às estrelas (MARTINS, 1990, pg. 32)".

As observações dos astrônomos da antiguidade pareciam indicar que todos os movimentos celestes deveriam ser simples, já que as estrelas se movimentavam uniformemente em círculos e o Sol tinha uma trajetória circular, em relação às estrelas, embora seu movimento não fosse uniforme. A observação mostrava que todos os fenômenos celestes, mesmo os planetas, pareciam ter ciclos periódicos como, por exemplo, as revoluções dos planetas em relação às estrelas e a idas e retrocessos que ocorriam em intervalos regulares. Segundo Martins (1990), talvez esses movimentos complexos fossem compostos por movimentos periódicos simples, sendo o movimento circular uniforme o mais simples. Portanto, é possível explicar todos os movimentos celestes a partir da composição de movimentos circulares uniformes.

Destarte, os astrônomos se lançaram a procura de composições de movimentos circulares uniformes que explicassem a movimentação dos astros observados no céu. O mais famoso sistema antigo que usa esferas foi desenvolvido por Eudoxo de Cnidos e aperfeiçoado por Calipo (MARTINS, 1990). A ideia consistia em pensar que cada astro está sobre a superfície de uma esfera, concêntrica à Terra, girando com velocidade angular constante. Cada esfera, todavia, está ligada por seus polos a outra esfera, cujo eixo está inclinado em relação ao da primeira, girando com velocidade angular constante diferente da primeira esfera. Essa segunda esfera estaria presa a uma terceira esfera e assim por diante.

Essa ideia pretendia explicar o movimento retrógrado dos planetas[14], mas esse sistema foi abandonado e substituído já que não era suficientemente prático e versátil como os outros sistemas[15]. Assim, foi necessário introduzir artefatos matemáticos como os deferentes[16], os

[14] Quando observamos um planeta percebemos que em determinados pontos de sua órbita ocorre um retrocesso, ele aparenta inverter seu movimento, e, em seguida, retorna novamente a mover-se na direção em que estava.

[15] Segundo Martins (1990), o sistema de Eudoxo conseguiu excelentes resultados para Saturno, Júpiter e Mercúrio; bons resultados para a Lua; médios para o Sol e Vênus; e péssimos para Marte.

epiciclos[17] para tentar salvar as aparências do sistema (KUHN, 1990) de forma a explicar, de maneira satisfatória, o movimento dos planetas e o movimento retrógrado. Algumas vezes, eram utilizadas esferas excêntricas para explicar os movimentos dos astros, mas a introdução dessas esferas pode ter causado certa estranheza, pois o astro não teria como centro a Terra, mas um ponto, denominado equante[18], que não tem nada de especial. Essa ideia deve ter parecido artificial já que: porque motivo um planeta iria girar em torno de um ponto fora da Terra, um ponto artificial no qual não há nada de especial?

Todavia, apesar de pouco natural os excêntricos permitiam usar um número menor para descrever o movimento dos astros. Por exemplo, no caso do movimento aparente do Sol no céu, com apenas um excêntrico, sem utilizar epiciclos, era possível descrever seu movimento anual com boa precisão.

É importante notar que o movimento dos astros é tão complexo que é necessário um esquema tridimensional de círculos, ou seja, círculos em planos diferentes, para explicar satisfatoriamente os fenômenos.

Ptolomeu trouxe uma grande síntese dessas ideias da astronomia grega em seu livro *Almagesto*. Nele, dedicou-se a melhorar o sistema geocêntrico para explicar o movimento retrógrado dos planetas, construindo figuras geométricas que reproduziam o movimento de todos os corpos celestes conhecidos à sua época.

Ptolomeu diferenciou-se de seus predecessores em dois aspectos:

> 1) o uso totalmente livre de todos os tipos de recursos matemáticos (excêntricos, epiciclos, equantes e etc.), sem qualquer limitação de princípio em relação à simplicidade dos movimentos básicos; 2) um maior sucesso na concordância entre teoria e observação, graças a um maior cuidado nas próprias observações utilizadas e a um feliz ajuste de movimentos circulares, de vários tipos. (MARTINS, 1990, pg. 64)

Como salienta Martins (1990), a ciência de Ptolomeu é ciência do mais alto nível, baseado em muitos dados, com excelentes descrições dos fenômenos e boas previsões. As pessoas adotavam esse sistema por notarem seu enorme valor e por não existir uma alternativa que o combatesse.

---

[16] Círculo principal associado a cada astro que serve de base para o movimento de círculos menores. O centro do deferente podia coincidir com o centro da Terra ou ele poderia ser excêntrico (não coincidem com o centro da Terra).

[17] Esferas menores que se apoiam sobre o deferente.

[18] Ponto geométrico que não é o centro do círculo e nem o centro da Terra, em relação ao qual a velocidade angular do movimento principal é uniforme.

Nesse sistema complicado, mas geometricamente plausível, os astros estariam sobre esferas concêntricas (Orbes) e, ao final, estaria a esfera das estrelas fixas. Todas as esferas fariam seu movimento com velocidades diferentes, o que explicaria a diferença de velocidade no movimento com que os diversos planetas se moviam.

Esse sistema explicava o movimento retrógrado dos planetas por meio da combinação do movimento dos diferentes artifícios geométricos (Figura 13), assim como também resolvia uma série de problemas básicos como, por exemplo, as fases da lua, o movimento aparente do Sol, a previsão de eclipses e as estações do ano.

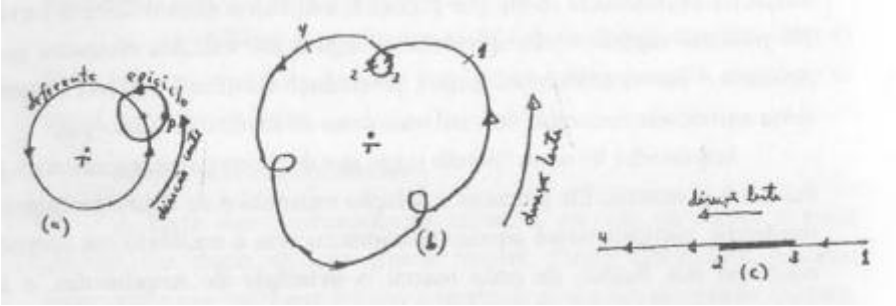


Figura 13: (a) O sistema básico deferente-epiciclo. (b) O movimento aparente por ele gerado no plano da eclíptica. (c) Uma porção (1 – 2 – 3 – 4) do movimento como visto por um observador situado na terra central.
Fonte: KUHN, 1990.

No ano de 1543, foi lançado o livro de Nicolau Copérnico (1473-1543), astrônomo e matemático, intitulado *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Copérnico, resgatando o pensamento heliocêntrico de Aristarco dos Samos (270 a.c), postula, em sua obra, que o Sol era o centro da órbita de todos os planetas e, por isso, de todo o Universo[19]. A lua girava em torno da Terra, e a Terra, assim como os demais planetas, girava em torno do Sol em órbitas circulares.

Copérnico, segundo Zanetic (2007), queria construir um sistema que resgatasse a concepção de harmonia geométrica presente no pensamento dos antigos pitagóricos, ou seja, ele pretendia construir as órbitas dos corpos celestes segundo movimentos circulares perfeitos sem a necessidade de muitos artefatos matemáticos.

Um aspecto epistemológico encontrado em Copérnico é a tentativa de descrever a realidade física (MARTINS, 1990). Essa questão era considerada um problema para os

[19] Nesse sistema o Sol não está totalmente no centro de todas as órbitas, mas sim um pouco deslocado do centro. Dessa maneira, esse sistema não seria totalmente heliocêntrico (como também os sistemas de Kepler e de Newton), mas são, na realidade, um modelo heliostático. (HALL, 2007; MARTINS, 1990)

filósofos, mas não para os astrônomos já que do ponto de vista astronômico, era possível tanto utilizar uma teoria geocêntrica quanto heliocêntrica. Como já enunciado, a teoria geocêntrica tinha bons, e fortes, argumentos, cabendo à visão heliocêntrica de Copérnico não apenas mostrar que ela é útil e adequada, mas também que a física seja compatível com essa teoria. Copérnico não conseguiu fazer isso, já que fazê-lo exigiria substituir toda a física aristotélica por outra.

Apesar de objetivar a simplicidade e a harmonia em seu sistema, Copérnico também se utilizou de alguns artifícios matemáticos utilizados por Ptolomeu, ou seja, os epiciclos, para estar em conformidade com os dados astronômicos da época. Assim, no sistema copernicano, encontravam-se 34 círculos para explicar a estrutura do Universo, enquanto o modelo ptolomaico requereria 80 círculos. Segundo Kuhn (1990), Copérnico seria considerado o último ptolomaico, já que sua estrutura e pensamento ainda estavam entrelaçadas com as Orbes e os epiciclos do modelo ptolomaico.

> Em sua obra, Copérnico não atacou o universo de duas esferas, embora seu trabalho acabasse por confrontá-lo. Também não abandonou o uso de epiciclos e dos excêntricos. O que Copérnico atacou, dando início a uma revolução de pensamento, foram pequenos aspectos matemáticos que pareciam triviais (KUHN, 1990, pg. 52).

Alguns problemas resolvidos pelo heliocentrismo foram:

1. Com a rotação da Terra, o movimento diário de rotação dos corpos celestes torna-se apenas um movimento aparente;
2. Como os planetas Mércurio e Vênus estão sempre próximos ao Sol, mostra-se que estão entre a Terra e o Sol;
3. Os planetas Marte, Júpiter e Saturno estão, em algum momento, em oposição ao Sol, já que suas órbitas em volta do Sol têm raios maiores que os da órbita da Terra;
4. Pode-se obter facilmente as distâncias entre Mercúrio e Vênus ao Sol;
5. É possível explicar os movimentos retrógrados dos planetas. A explicação para esse fenômeno não é tão simples como aparenta ser no modelo heliocêntrico, mas é significativamente complexo (figura 14);
6. O sistema copernicano permite o cálculo dos períodos dos planetas pela observação dos tempos decorridos entre dois máximos consecutivos dos movimentos retrógrados;
7. Esse sistema permite determinar as distâncias dos planetas externos à órbita da Terra ao Sol, em função da distância da Terra ao Sol.

Copérnico tinha a ideia que seu sistema era perfeitamente coerente, uma vez que envolvia todos os corpos celestes, coerência que ele não encontrava no sistema ptolomaico.

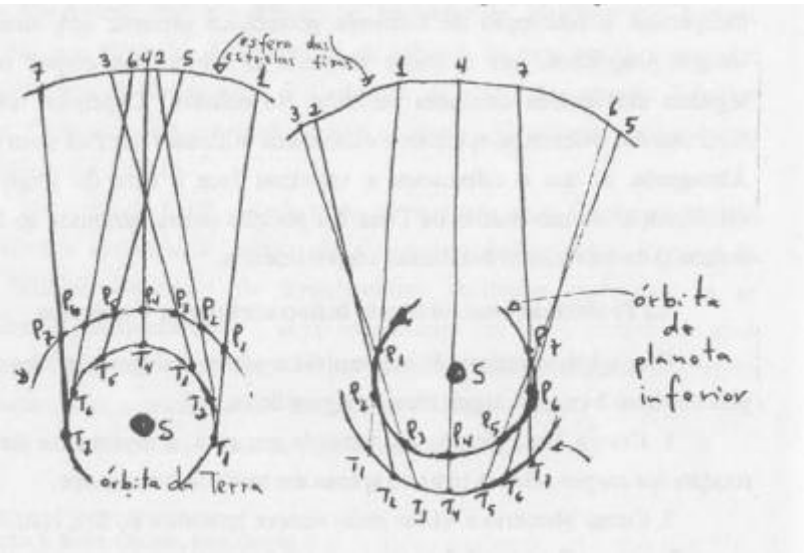


Figura 14: Explicação dos movimentos retrógrados no sistema heliocêntrico.
Fonte: KUHN, 1990.

O paradigma heliocêntrico não foi aceito de imediato e também teve que enfrentar problemas e críticas. Problemas como:

1. A explicação das estações, que era mais simples no sistema ptolomaico, apenas considerando o plano da órbita do Sol inclinado de um ângulo de 23,5°, enquanto que no sistema heliocêntrico era necessário ter três movimentos da Terra para explicar esse fenômeno;
2. No modelo de Copérnico Vênus deveria apresentar fases de variação em tamanho e brilho. Isso não era observado a olho nu;
3. Outro problema era a ausência de paralaxe, ou seja, como a Terra girava em torno do Sol deveria ocorrer certo deslocamento na determinação das estrelas quando observadas em épocas diferentes;
4. O sistema ptolomaico, devido a séculos de aprimoramento, tinha melhores previsões e descrições dos movimentos celestes, pelo menos logo após a publicação do *De revolutionibus;*
5. Se a Terra se move por que o ar não se move produzindo um forte vento permanente para leste?

O Universo de Copérnico ainda era um mundo fechado com a esfera das estrelas fixas, sua concepção de espaço era finita e seu céu continuava sendo a morada de Deus. Seus argumentos eram impregnados de elementos teológicos como, por exemplo, o Sol ser o centro porque era um Astro dotado de perfeição, já que era fonte de luz. Enfim, reforçando o argumento de Kuhn, Koyré (1973) diz que Copérnico não proporcionou uma revolução completa, mas uma "meia-revolução", cabendo a seus sucessores fazerem as mudanças mais radicais.

A obra de Copérnico, no entanto, não iria atingir apenas a física, mas toda a *Weltanschauung* (visão de mundo) renascentista. O sistema de Ptolomeu se apoiava harmonicamente na física aristotélica, mas a cosmologia copernicana era incompatível com essa física, requerendo, dessa maneira, uma nova física. A cosmologia copernicana não mudou apenas a posição central da Terra com o Sol, mas abriu um caminho para críticas ao tomismo por pensadores como Kepler, Descartes, Galileu e Newton.

Esses pensadores, assim como Thomas Digges, Giordano Bruno e, ironicamente, Tycho Brahe[20], articularam o paradigma copernicano para que se saísse vitorioso em relação ao sistema ptolomaico.

O sistema de Ptolomeu continuou vigorando com força até meados de 1580, pois, apesar do sistema de Copérnico ser mais bem definido esteticamente, "quase ninguém acreditava que o sistema de Copérnico representava a estrutura real do cosmos*"* (ROQUE, 2012, pg. 294). Tanto que Copérnico era lembrado devido às suas compilações de tabelas astronômicas do que ao seu sistema.

Uma passagem interessante do *De Revolutionibus Orbium Coelestium* que expressa o que poderia ser considerado um momento importante em que o espírito científico caminha para a matematização, antecipando, de certo modo, o mecanicismo, ao conceber o universo como a máquina-mundo.

> Portanto, após considerar longamente esta incerteza da matemática tradicional, passou a intrigar-me o fato de que não existisse entre os filósofos ... uma explicação definida do movimento da máquina-mundo estabelecida em nosso favor pelo melhor e mais sistemático dos criadores. (Apud BURTT, 1983, p. 39).

[20] Tycho Brahe não era a favor do Heliocentrismo, mas suas observações ajudaram Kepler na defesa desse sistema.

Essa ideia também pode ser encontrada em Rheticus (1514-1574). Rheticus foi aluno de Copérnico e publicou, no ano da morte de Copérnico, a obra de seu mestre, juntamente com uma introdução sua, com o título Narratio Prima.

> Os matemáticos, tanto quanto os médicos devem convir que ... a Natureza nada faz em vão e que nosso Autor é tão imensamente sábio que cada uma de suas obras não tem apenas um uso, mas dois ou três e frequentemente mais. Pois, quando vemos que este único movimento da Terra é suficiente para produzir um número quase infinito de fenômenos aparentes, não devemos atribuir a Deus, o criador da natureza, a habilidade que observamos nos simples fabricantes de relógios? (p. 461 apud WOORTMANN, 1996, pg. 26).

Na sua introdução, Rheticus esforça-se para provar que a teoria de Copérnico estava de acordo com os princípios teológicos vigentes na época ao afirmar, por exemplo, a circularidade uniforme das órbitas, da mesma maneira que Platão e os pitagóricos. Além disso, ele ressalta a imagem de Deus como um relojoeiro, ideia que seria retomada por Kepler que identificava o mecanismo da Machina Mundi àquele relógio (WOORTMANN, 1996).

A obra de Copérnico abriu um confronto de ideias, do qual pensadores fizeram parte para a concretização da chamada revolução copernicana. Não irei, no entanto, discutir exaustivamente cada pensador, mas focar nos pensadores que, de certo modo, são mais importantes nessa época.

Johannes Kepler (1571-1630) foi um astrônomo, matemático e astrólogo que contribui significativamente para essa revolução ao lançar leis para descrever os movimentos dos corpos celestes. Em posse dos dados de observação de Tycho Brahe (1546-1601)[21], foi possível a Kepler quebrar mais significativamente os padrões epistemológicos e metodológicos da Idade Média, substituindo-as por um modo diferente de conceber o cosmo. Ou seja, busca-se expressões e leis matemáticas que visam explicar os fenômenos celestes (MOURÃO, 2003).

Kepler estava comprometido em estabelecer uma relação entre a geometria e as observações, em busca de harmonia cósmica matemática mais sofisticada que aquela buscada e construída por Copérnico. Dessa forma, Kepler pode ser considerado, segundo Zanetic

[21] Brahe foi um astrônomo e era um excelente observador, o que proporcionou ricos dados de observações que ajudaram Kepler nas suas pesquisas. Brahe também criou um modelo hibrido do sistema copernicano e ptolomaico, no qual o Sol e a Lua estavam em órbita em torno da terra, mas os planetas restantes estavam em órbita em torno do Sol.

(2007), como um dos precursores da física teórica e experimental já que, embora tivesse liberdade total para produzir teorias, estas precisavam estar de acordo com as observações.

Foi com Kepler que as influências ptolomaicas-aristotélicas, das quais Copérnico não conseguiu libertar-se, foram, de certa forma, cortadas. Com os dados de Brahe, Kepler conseguiu resolver o problema das discrepâncias entre a teoria e a observação dos planetas, mudando o incômodo e criticado sistema copernicano para um sistema mais simples e exato que conseguia calcular com maior precisão a posição dos planetas.

No entanto, Kepler ainda estava preso à hegemonia do círculo e da esfera o que o levou a tentar acomodar seus dados e os de Tycho a órbitas circulares (ZANETIC, 2007). Depois de várias tentativas, que duraram anos, parecia-lhe que tinha alcançado um ajuste quase perfeito entre os dados e a órbita circular, um ajuste com uma diferença máxima de menos de 8 minutos de arco.

Sua alegria durou pouco já que os dados de Tycho tinham uma precisão melhor do que o desvio de 8 minutos, possuindo um desvio da ordem de décimo de grau. Kepler percebeu que a órbita de Marte, o planeta no qual ele dispunha de mais dados e sobre o qual estava trabalhando, não poderia ser circular.

Assim,

> Tendo abandonado a ideia da órbita circular, Kepler começou a trabalhar com uma forma bastante inusitada para quem era movido pela busca da harmonia matemática: a oval. Após muitas tentativas de ensaio e erro, Kepler finalmente abandonou a oval e passou a trabalhar com elipses tendo o Sol localizado num dos focos (ZANETIC, 2007, p. 100).

Para explicar o movimento dos planetas Kepler criou duas leis[22]. A primeira diz que a órbita dos planetas em torno do Sol não são esféricas, mas sim elípticas e o Sol está em um dos focos. A segunda lei consiste no fato de que a velocidade orbital de cada planeta varia de tal maneira que a reta que une o centro do Sol ao centro do planeta varre áreas iguais em tempos iguais.

De certa maneira, essas leis colocavam em cheque alguns dogmas. Ao dizer que as órbitas dos planetas são elípticas, Kepler derrubava a ideia de que os planetas se movimentam em órbitas circulares, ideia que tinha explicação metafísica, ou seja, essa órbita era circular porque o círculo era uma forma perfeita e os planetas estão no plano da imutabilidade e da

[22] Kepler criou mais uma Lei conhecida como lei dos períodos. Essa lei diz que o quadrado do período de revolução de um planeta é proporcional ao cubo da distância média dele ao Sol

perfeição. Da mesma forma, a segunda lei contesta a ideia de imutabilidade dos planetas ao dizer que a velocidade desses astros não é constante.

Kepler era um homem religioso e não aceitou totalmente algumas de suas teorias, tentando, durante algum tempo, usar a ideia da Santíssima Trindade para explicar suas descobertas, mas decidiu abandoná-la (MOURÃO, 2003). No entanto, conseguiu descobrir relações entre as velocidades dos planetas e as notas musicais, reavendo o pensamento grego de Pitágoras sobre a musicalidade do cosmos.

> Mesmo com o fundo religioso, segundo o qual Deus havia racionalmente estabelecido uma escala das distâncias entre o Sol e os planetas, a proposta de Kepler era essencialmente de natureza cosmológica. O mundo devia apresentar uma organização racional e, para Kepler, não bastava verificá-la empiricamente, era preciso justificá-la teórica e teologicamente (MOURÃO, 2003, p. 46).

Mourão argumenta que a proposta de Kepler não era algo meramente astronômico, mas essencialmente cosmológico, pois o cosmo, para Kepler, tinha uma organização racional que garantiria a perfeita disposição das estruturas, cabendo ao intelecto explicá-las teoricamente e teologicamente. Assim, mesmo a ciência caminhando para um entendimento mais racional e quantitativo da natureza, a racionalidade ainda mistura-se com a religiosidade e o misticismo.

Não estamos afirmando que os pensadores anteriores a Kepler eram totalmente qualitativos e não utilizavam a matemática. Temos, por exemplo, na Grécia cálculos que levaram à medida do tamanho da Terra, medidas relativas da Terra ao Sol e da Terra à Lua, ou mesmo a fenomenal construção matemática do sistema ptolomaico. A questão é que a matemática de Kepler não carrega somente “valores e medidas”, mas caracteriza-se por agir racionalmente sobre a realidade e seu entendimento, prosseguindo na mudança como o homem conceberá o mundo e a ciência.

Por sua ligação com a crença metafísica-religiosa, Kepler acreditava que o mundo não foi criado ao acaso por Deus, mas que Ele criou o mundo, mesmo os humanos não entendendo a razão que o levou a isso, utilizando uma estrutura objetiva que pode ser entendida pela razão humana por meio de leis objetivas (BRANDÃO, 2003).

A utilização da matemática como forma de representar o mundo e utilização da experimentação serão ingredientes incorporados de forma definitiva ao método científico inaugurado por Galileu Galilei (1564-1642).

Galileu Galilei foi um astrônomo e físico, contemporâneo a Kepler, de suma importância para a mudança de pensamento ao reforçar as ideias heliocêntricas por meio de suas observações astronômicas. Também foi o fundador da ciência moderna ao combinar a observação experimental com a descrição de fenômenos em leis e expressões matemáticas.

Como salienta Camenietzki (2009), Galileu não introduziu o dado empírico-sensitivo no pensamento cientifico, a filosofia escolástica é firmemente alicerçada na observação e no dado sensível imediato, mas o conteúdo que a observação do mundo passou a ter na ciência.

> Para Galileu, a Natureza revela seus segredos quando as perguntas são formuladas matematicamente; a observação passa a ser, com ele, a experimentação. Não basta observar as coisas, trata-se de "construir um fenômeno", ou seja, estruturar uma pergunta inserida num contexto teórico, que receberá como reposta um número, um ente matemático (pg. 10).

Galileu foi o primeiro a utilizar um telescópio[23] para investigações astronômicas, descobrindo diversos fenômenos que viriam a reforçar as ideias de Copérnico. Ao observar a Lua, Galileu percebeu que ela não era lisa e perfeita, como a filosofia aristotélica-ptolomaica acreditava, mas que tinha crateras e relevos. Apesar de parecer uma constatação sem importância, essa ideia reforçava a inconsistência do ideal de que o céu era a morada de Deus e por isso era perfeito e imutável[24].

Da mesma forma, as observações das luas de Júpiter e as manchas solares iam contra esse ideal, pois se, no primeiro caso, um corpo pode girar em torno de um planeta que não seja a Terra por que a Terra teria a exclusividade de todos girarem ao seu redor e por que ela não poderia girar em torno de outro corpo? No segundo caso, as manchas solares demostravam, mais uma vez, que os corpos celestes não são perfeitos.

Galileu, assim como outros copernicanos, via uma necessidade de unificar a física terrestre e celeste já que, por um lado, a Terra deixava de ocupar o centro do universo e passava a ser um planeta e, por outro, as suas observações demostraram que o céu não é perfeito e imutável. Essas argumentações tornavam a diferenciação entre o celeste e o terrestre sem sentido (MOSCHETTI, 2002). Segundo Camenietzki (2009), Galileu trazia para a física terrestre o procedimento matemático, típico da astronomia que viria a se instalar definitivamente na prática científica.

---

[23] A invenção do telescópio é creditada a Hans Lippershey. Galileu apresentou um telescópio melhorado conseguido por meio de experimentação e do polimento do vidro.

[24] Kepler demostrou a inconsistência desse céu perfeito por meio da mudança do círculo para a elipse nas órbitas dos planetas e Galileu trouxe a observação em favor do sistema copernicano.

Galileu, segundo Chatelet (1994), diz que, por mais complicado que seja um objeto sensível, sempre existe a possibilidade, por meio da abstração mental, de reduzir o objeto complicado a uma forma simples utilizando-se a força da análise. Assim, torna-se possível modificar algo complicado em uma soma de n objetos mais simples. Desse modo, não há pretexto algum para não geometrizar a natureza, o dado sensível. Se a realidade a ser estudada for demasiada complicada, o esquema a ser tirado dela será complexo e, portanto, será necessário mais objetos simples para explicá-la.

> Se podemos calcular o volume das realidades simples, então também podemos calcular o volume de qualquer objeto, por mais aparentemente complicado que ele possa ser. Assim, Galileu propõe projetar toda a realidade que se dá no espaço geométrico definido por Euclides e tornar possível a sua matematização, tornando-o, desse modo, integralmente transparente (pg.61).

Para Koyré (1992), a maneira como Galileu aborda a investigação sobre a natureza foi fortemente influenciada por Platão e Pitágoras. Observa-se essa influência na importância que Galileu confere à matemática como um instrumento para compreender a natureza. Nas palavras de Galileu, encontrada em seu livro *O Ensaiador*:

> A filosofia se encontra escrita neste grande livro, o universo, que permanece constantemente aberto aos nossos olhos (isto é, o universo). Mas o livro [da natureza] não pode ser entendido a menos que se aprenda primeiro a linguagem e as letras no qual ele está escrito. Ele está escrito na linguagem da matemática e seus caracteres são triângulos, círculos, e outras figuras geométricas sem as quais é humanamente impossível entender uma única palavra dele (Apud CHATELET, 1994, p. 59).

Novamente encontramos a metáfora do Livro, mas com diferenças em relação à ideia de Dante. Enquanto Dante acreditava que era necessário fortalecer a fé para se conhecer o Livro-Mestre (Deus), Galileu vai enfatizar o papel da matemática como instrumento na busca da verdade da natureza à qual a ciência se dedica.

A representação do livro mundo já possuía uma longa história antes de Galileu, dos filósofos da Idade Média, e também por contemporâneos de Galileu como Francis Bacon e Tommaso Campanella[25]. Numa poesia de Campanella, há um soneto com as seguintes palavras: “O mundo é o livro em que a inteligência eterna escreve os próprios conceitos”.

A contribuição que Galileu trouxe à metáfora do livro mundo foi ter dado atenção à maneira como esse livro é escrito, ou seja, aos caracteres, ou ao alfabeto, que se utiliza para

[25] Foi um filósofo, poeta e teólogo que viveu na período renascentista (1568-1639).

compreender o mundo. Observa-se isso na passagem abaixo, presente no livro *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*.

> Tenho um pequeno livro que é menor que o de Aristóteles e de Ovídio, no qual estão contidas todas as ciências, e com pouquíssimos outros estudos se pode formar uma ideia bem feita: e isso é o alfabeto; e não há dúvida de que aquele que souber combinar e ordenar bem esta e aquela vogal com essas e aquelas outras consoantes obterá respostas muito verdadeiras para todas as dúvidas e daí extrairá os ensinamentos de todas as ciências e de todas as artes, justamente daquela maneira que o pintor partindo de simples cores diferentes, separadamente colocadas sobre a tela, vai, com a mistura de um pouco desta com um pouco daquela e de outras mais, figurando homens, plantas, fábricas, pássaros, peixes e, em suma, imitando todos os objetos visíveis sem que na tela apareçam nem olhos nem penas nem escamas nem folhas nem seixos: antes é necessário que nenhuma das coisas a serem imitadas ou certa parte delas estejam atualmente entre as cores, querendo que com elas possam ser representadas todas as coisas, e que, se aí estiverem , por exemplo, penas, estas só serviriam para pintar pássaros ou penachos (CALVINO apud ZANETIC, 2007, p. 151).

Calvino (1993) apud Zanetic (2007)[26], argumenta que o alfabeto, para Galileu, é o mundo. Assim, quando se fala em alfabeto ele pretende um sistema combinatório em condições de explicar toda a multiplicidade do universo. Além disso, nessa passagem vemos Galileu fazer uma comparação com a pintura: a combinação das letras do alfabeto é análoga à combinação das cores em uma tela. Assim, é necessário se recorrer à combinação de elementos mínimos, como as cores simples ou as letras do alfabeto, para representar o real.

Galileu resgata a concepção de que a natureza seria concebida por meio de analogias entre os fenômenos e leis e relações obtidas de forma idealizada. Desse modo, a linguagem da natureza, por excelência, seria a geometria, sendo o mundo seu palco onde a inspiração e a aplicação das leis e relações se dão. Nessa tradição, a matemática apresenta-se como o revestimento de formas ideais, acreditando que ela estaria na própria essência da natureza.

Todavia, Galileu traz um ponto a mais quando apresenta o papel da matemática como recurso do pensamento para sua estruturação teórica, ou seja, seria uma "tradução matemática", na qual o cientista seria tradutor da natureza por poder transitar entre as duas vias: a natureza e a matemática. Assim, segundo Paty (1989)[27] *apud* Pietrocola (2002, p. 93), para Galileu a "Matemática era concebida como um conhecimento que permitia uma leitura direta da natureza, da qual, precisamente, era a língua".

---

[26] CALVINO, Italo. *Por que ler os clássicos*, 1993.
[27] PATY, M. 1989. Matéria Roubada, Edusp, SP, p. 234, 1995.

Para utilização da matemática no mundo terrestre, foram necessárias duas posições essenciais de Galileu: estudar o movimento sem se preocupar com sua causa e fazer uma distinção entre as qualidades primárias e secundárias.

Quando a primeira posição é aceita há uma desvinculação, mesmo que nesse caso seja apenas no estudo do movimento, entre a física e algum pensamento metafisico, já que essa ação afasta a explicação das causas dos fenômenos, enfatizando apenas a estrutura do fenômeno.

> Ao estudar a queda, Galileu, pela fala de Salviati, se recusará a "empreender a investigação da causa da aceleração do movimento natural, a respeito da qual vários filósofos apresentaram diferentes opiniões", considerando-as como "fantasias", cujo exame resultaria em "pouco proveito" para o tipo de análise que se propunha a fazer (DION, 2008, p. 70).

Em relação à segunda posição, há uma separação entre características que são próprias da matéria, condições primárias, e não podem ser separadas dela, nesse caso, são os números, as grandezas, as figuras, a posição e o movimento, e características que são secundárias, produtos de nossos sentidos e que não são próprias do objeto como, por exemplo, sabores e cores. Desse modo, segundo Banfi (1992), Galileu tenta isolar as características objetivas dos objetos, que podem ser compreendidas sob a luz da razão, das percepções qualitativas e subjetivas dos sentidos humanos.

Essas duas posições foram um importante passo para a unificação do sublunar com o supralunar, mas ainda havia um problema que era necessário ser resolvido: como equiparar formas geometricamente perfeitas, e abstratas, em um mundo em que os corpos terrestres nunca assumem as formas perfeitas da geometria?

Galileu vai resolver esse problema dando ênfase na imutabilidade da matéria no decorrer do tempo em oposição ao pensamento aristotélico que considerava a matéria corruptível. Esse pensamento pode ter sido influenciado pela concepção atômica, segundo a qual "tudo o que acontece deve ser entendido como efeito apenas das mudanças matemáticas nesses corpos materiais" (BURTT, 1983, p. 78). Dessa forma, a imutabilidade e a indestrutibilidade da matéria poderiam ter influenciado o pensamento de Galileu

> Assim, partindo de uma identificação entre inalterável e eterna, Galileu associa, na sequência, eternidade a necessidade, saltando da necessidade física para a necessidade lógica – a partir daí, considera satisfeitas, para a matéria, condições que são fundamentais para a matemática, o que o leva a propor que esta possa ser tratada da mesma forma que a razão humana opera com os objetos da geometria (DION, 2008, pg. 8).

Além disso, Galileu, segundo Koyré (1992), nega a abstração das noções matemáticas e também o privilégio das figuras regulares, ou seja, no pensamento aristotélico, o mundo terreno é irregular e mutável e, por isso, não era possível utilizar as formas abstratas e perfeitas da geometria, mas Galileu ressalta que a matéria não é amorfa (ela tem uma forma geométrica) e, embora as formas dos objetos não sejam perfeitas como as figuras geométricas, Galileu acreditava que "uma esfera não é menos esfera por ser real: os seus raios não são desiguais; senão não seria uma esfera. Um plano real – se for um plano – é tanto plano quanto um plano geométrico: senão não seria um plano" (KOYRÉ, 1992, p. 352).

Galileu, enquanto partidário da geometria, deveria apoiar a causa da superioridade das formas geométricas, mas enquanto observador da natureza ele recusa a ideia de uma perfeição abstrata (CALVINO apud ZANETIC, 2007). Assim, ao invés de considerar a Lua como sendo uma esfera perfeita, ele a "vê" como uma imagem de uma Lua montanhosa, áspera e desigual.

Galileu questionava-se por que uma esfera (ou pirâmide) deveria ser mais perfeita que uma forma natural como, por exemplo, a de um animal ou uma planta. Acreditava que a Terra, ou as coisas naturais, eram belas por essência, sendo a mutabilidade parte dessa beleza, enquanto a possível imutabilidade da Terra era vista como inútil, morta, já que não permitia o desenvolvimento das coisas, mas apenas a estagnação. Galileu discute essa questão no seu livro *Diálogo*:

> 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 por serem impassíveis, imutáveis, inalteráveis, etc.: julgo a Terra nobilíssima e admirável pelas tantas e tão diversas alterações, mutações, gerações, etc. que nela incessantemente ocorrem; e quando, sem estar sujeita a nenhuma mutação, ela fosse toda uma vasta solidão de areia ou massa de jaspe ou que, no tempo do díluvio, congelando-se as águas que a cobriam se transformasse num globo de cristal, onde não nascesse nem se alterasse ou mudasse coisa nenhuma, eu a consideraria um corpanzil inútil no mundo, cheio de ócio e, para usar poucas palavras, supérfluo e como se não estivesse na natureza e não faria diferença entre estar viva ou morta; e o mesmo digo sobre a Lua, Júpiter e todos os outros globos do mundo. (...) Esses que tanto exaltam a incorruptibilidade, a inalterabilidade, etc. creio que se reduzem a dizer coisas pelo grande desejo de viver muito e pelo terror que têm da morte; e não consideram que, quando os homens fossem imortais não lhes tocaria vir ao mundo. Estes mereceriam encontrar-se numa cabeça de Medusa, que os transformasse em estátua de jaspe ou de diamante, para tornar-se mais perfeito do que são (CALVINO apud ZANETIC, 2007, p. 154).

Galileu faz uma relação entre as figuras geométricas abstratas e a natureza de tal forma que mesmo a natureza podendo ser irregular ela não seria imprecisa ou indeterminada, já que o objeto mais irregular ainda possuiria uma forma geométrica que poderia ser comparada a alguma figura geométrica (KOYRÉ, 1992). Assim, um objeto que seja irregular pode ser considerado mais complexo que uma figura perfeita, mas podemos extrair dessa complexidade alguma figura geométrica para compará-las rompendo, dessa maneira, a distância entre a geometria e a mundo terreno. Galileu diz:

> Assim como para querer que os cálculos correspondam aos açúcares, às sedas e às lãs é necessário que o contador leve em conta a tara das caixas, embrulhos e outras embalagens, assim também, quando o filósofo geômetra quer reconhecer em concreto os efeitos demonstrados em abstrato, é necessário que desconte os impedimentos da matéria: pois, se souber fazer isso, asseguro-vos que as coisas corresponderão de modo não menos ajustado que os cálculos aritméticos (GALILEU, 2004, p. 289)

Galileu compreende a natureza além das aparências e de seus possíveis impedimentos, permitindo-lhe encontrar regularidades e decifrar o mundo terreno por meio da matemática, já que a natureza é, em última ordem, matemática. A possiblidade de transitar pelos dois mundos é possível se tratarmos os fenômenos de uma forma ideal, atuando em um mundo apenas análogo ao real, de tal forma que os acontecimentos são apurados sem, porém, perder seus atributos básicos.

Utilizando os métodos matemáticos, é possível extrair da natureza regularidades e leis que, retornando ao mundo real, podem ser passiveis de experimentação. Assim, iniciava-se, de forma mais significativa, não apenas a unificação do supralunar e do sublunar, mas também um acordo natureza-matemática.

Essa questão da matematização da física, e especialmente de sua geometrização, ganha, dessa forma, uma dimensão que rompe os limites da Física, aproximando-a da geometria e da análise combinatória em atividades plásticas, como, por exemplo, a pintura e a arquitetura (ZANETIC, 2007).

6 A harmonia matemática na Arte

A transformação de uma natureza que era explicada principalmente por meios qualitativos e filosóficos para uma natureza matematizada, com leis e regras próprias, não ocorreu somente na física. Esse pensamento em busca da harmonia matemática atingiu também as artes como veremos no decorrer desse capítulo.

Vale lembrar que não tenho a intenção de reduzir a arte a um tratamento científico e matemático, pois compreendo que cada área tem suas especificidades, e a arte, em especial, não é uma prática rigorosamente objetiva e precisa com um método cientifico. Pretendo, no entanto, levantar argumentos que mostrem que algumas áreas das artes também buscaram leis e regras próprias para compreender a natureza, assim como a física, buscando, desse modo, um diálogo entre ambas as partes.

Outro cuidado diz respeito à generalização dessa busca por regularidades e leis na arte. Não se trata de salientar que todo o conhecimento artístico foi influenciado por esse pensamento, pois esse trabalho não engloba todo o conhecimento artístico, mas apenas uma pequena parcela dele.

6.1 Perspectiva: a natureza representada por leis geométricas

Nesta parte, procurarei mostrar que a arte também foi influenciada pela busca por uma harmonia matemática com relação à natureza, levando à criação de regras e leis próprias para representar a natureza assim como ocorreu na física.

Podemos considerar a perspectiva[28] como sendo um nome genérico de uma técnica para representar objetos tridimensionais em planos bidimensionais, de tal forma que os

[28] Segundo Fragoso (2005), o termo perspectiva já era utilizado na Idade Média, mas com um significado diferente do atual. Esse termo designava o estudo da visão, compreendendo desde a natureza e o comportamento da luz até a anatomia e funcionamento do olho humano. Desse modo, a perspectiva dizia respeito ao conjunto de conhecimentos que hoje conhecemos como óptica e não à estratégia de representação do espaço em superfícies bidimensionais, empregada no Renascimento.

objetos que ocupam planos mais distantes de um ponto associado ao olho de um observador hipotético são representados menores que os objetos que estão em planos mais próximos.

Segundo Fragoso (2005, p. 17), podemos dizer que “nas imagens em perspectiva, a profundidade do espaço tridimensional é representada a partir de um (convencional) encontro das paralelas em um ou mais ‘ponto(s) de fuga’”.

A quantidade de pontos de fuga em uma representação em perspectiva varia de acordo com a posição do objeto que está sendo representado em relação ao plano de projeção (figura 15). É importante salientar que a perspectiva é uma ilusão para tentar conferir distância num plano bidimensional. Na realidade, observamos esse encontro de paralelas por meio da visão, mas não existe, realmente, esse encontro na natureza.

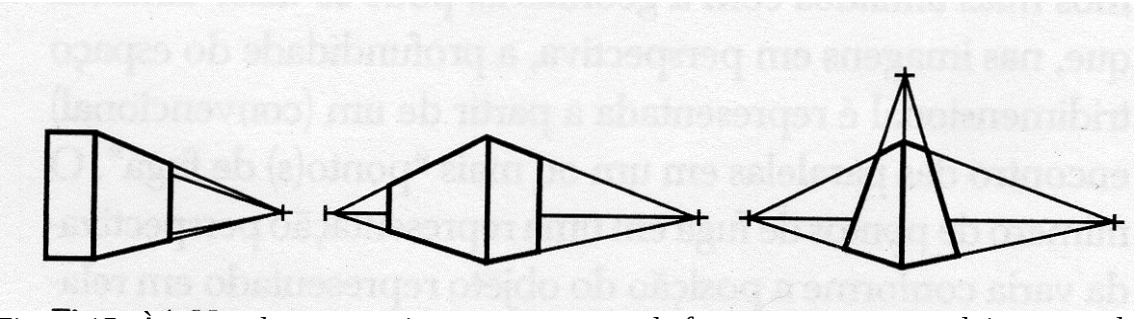


Figura 15- À esquerda, perspectiva com um ponto de fuga, ao centro, com dois pontos de fuga, à direita, com três pontos de fuga.
Fonte: Fragoso, 2005.

No Renascimento, podemos citar Brunelleschi (1377-1446) como um dos pioneiros no desenvolvimento da perspectiva geométrica. Brunelleschi teria realizado uma experiência utilizando um pequeno painel representando a vista exterior do batistério de Florença.

Nessa demonstração, o espectador deveria pôr o quadro representando o batistério diante de um espelho e, por meio de um pequeno orifício feito no quadro, observar o reflexo da imagem pintada (figura 16). Todavia, para que o quadro e o modelo transparecessem o mesmo, o observador deveria se posicionar em frente ao modelo, no mesmo local em que o pintor teria se posto. Assim, o observador, vendo com apenas um olho através do orifício, poderia verificar as regras da perspectiva central que permite representar uma imagem comparável com o objeto imóvel.

Figura 16 - O experimento de Brunelleschi para a produção de perspectivas.
Fonte: Flores, 2007.

Feyerabend (1992) diz que esse procedimento tem todas as propriedades de um experimento científico. Primeiramente, ele diz que é realizada uma comparação entre o objeto produzido pelo homem, a imagem desenhada por Brunelleschi, e a "realidade". Em segundo, a comparação entre a imagem e a "realidade" é feita em condições estritamente determinadas, ou seja, o observador deve situar-se em um ponto calculado com exatidão, assim como manter o aparato e o espelho a uma determinada distância calculada também com precisão. Em terceiro lugar, a imagem não foi simplesmente pintada, mas sim construída por meio de regras, o que nos leva à prática da projeção horizontal e vertical em perspectiva.

Apesar de podermos fazer uma comparação entre a imagem e a "realidade",

> [...] a mera prática não explica porque a construção leva a idêntica impressão de imagem e realidade. Para isto é preciso combinar com uma determinada concepção sobre a natureza do processo visual (pg. 126).

Essa explicação baseada no processo visual estaria, segundo Edgerton (1975), na união do processo visual com uma pirâmide de raios visíveis. Assim, apenas aqueles raios que chegam verticalmente à superfície do olho produzem um efeito, gerando uma imagem bidimensional da face do objeto que é então vista pelo olho.

Em quarto lugar, esse experimento conduz a uma teorização da pintura. A formulação de uma imagem se converte em um problema de geometria. Assim, na visão de Alberti, o problema pode ser resolvido, já que:

> Existem novos princípios que nos permitem representar em um plano as condições de parte da pirâmide. Porém, a função do pintor é a seguinte: desenhar com linhas um plano e colori-lo de forma que, considerando a distância certa de um ponto determinado, se assemelhe plenamente aos objetos representados (FEYERABEND, 1992, p. 127).

Desse modo, a imagem seria um corte transversal da pirâmide óptica. A função do pintor, nesse caso, é imitar a natureza por meio do desenho em perspectiva e para isso é necessário que o pintor aprenda geometria para poder representar a natureza.

Em quinto lugar, essa nova concepção de representação retira a pintura, a arquitetura e a escultura de uma posição meramente artesanal podendo, desse modo, demostrar sua cientificidade. Nessa época Alberti "tenta mostrar que a pintura e a arquitetura têm bases científicas" (FEYERABEND, 1992, p. 128).

E, por fim, há críticas a essa nova forma de pintura. Alberti usa o princípio de Euclides que: se um ângulo de visão é mais agudo, então o objeto visto parece menor. Todavia, Leonardo da Vinci critica essa comparação alegando que as leis apresentadas por Alberti só têm validade em condições bem determinadas e restritas. Um pintor pinta para pessoas que se movem livremente diante de uma pintura e se a imagem deve apresentar-se como algo natural para todos os observadores deve-se construir por meio de outras leis.

Alberti escreve, dez anos depois do experimento de Brunelleschi, o tratado *Della Pittura* (Da pintura), que, segundo Costa (2004), é o primeiro tratado a considerar a pintura como objeto de uma teoria sistematizada. Alberti dedica o livro 1, de um total de 3 livros, a questões matemáticas.

Nesse primeiro livro Alberti, amparado pelos conhecimentos da geometria, define o ponto, a reta e o plano; explica a circunferência e o diâmetro; define e classifica ângulos; classifica as superfícies em: plana côncava e convexa; explica o processo de visão, por meio da "pirâmide visual" e define a pirâmide visual. Além disso,

> Destaca a importância da investigação óptica para a pintura, analisando a posição do pintor de acordo com o vértice e o ângulo da pirâmide visual. A pintura é a intersecção da pirâmide visual, representada por linhas e cores numa dada superfície, de acordo com uma certa distância e posição do centro desta, e da distribuição das luzes (COSTA, 2004, p. 48).

A partir dos novos conhecimentos sobre a perspectiva central, foi possível a construção de artefatos que facilitavam a representação em perspectiva. Esses instrumentos marcam as etapas conceituais da perspectiva, sobretudo porque mostram os principais princípios da perspectiva central. Os diferentes procedimentos para se desenhar em perspectiva consistem em imobilizar o olho do desenhista e depois determinar a interseção de um raio visual com o plano do quadro, sendo este materializado por um perspectógrafo.

Existiam diversos perspectógrafos que iam do mais elementar como um simples, porém eficiente, *reticolato* (uma superfície transparente e quadriculada que, quando interposta

entre o pintor e a cena representada, tem o efeito de “planificar” a visualização) (figura 17) até os mais sofisticados (era equipado com uma porta móvel o que permitia uma melhor comparação entre a imagem e o objeto) (figura 18).

Figura 17 – Representação de um desenho em perspectiva utilizando um reticulado. *Artista e o nu*, de A. Dürer, cerca de 1525.

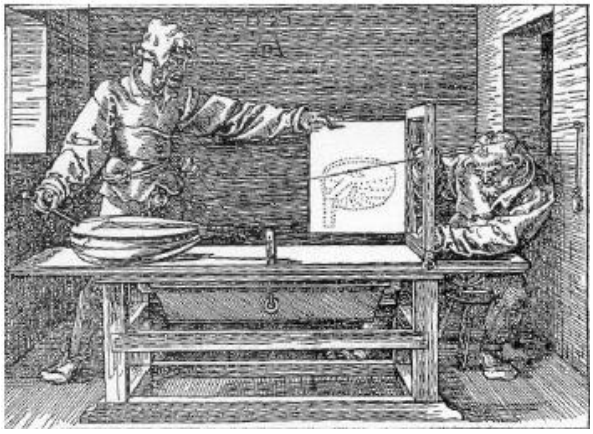


Figura 18 – Representação de um perspectógrafo sofisticada representado na gravura *Artista Pintando um Alaúde*, de A. Dürer, cerca de 1525.

6.2 A pintura renascentista

Como discutido no capítulo anterior, a cosmologia aristotélica dividia o universo em dois mundos: o sublunar e o supralunar. Enquanto a esfera sublunar era a esfera da imperfeição e da mutabilidade, a esfera supralunar era o mundo da ordem eterna, da perfeição e da imutabilidade. Essas duas vertentes podem ser encontradas também na pintura medieval e renascentista.

Esses dois mundos, apesar de unidos, têm essências diferentes, enquanto o mundo sublunar é o lugar em que os humanos, imperfeitos e mutáveis, vivem, o mundo supralunar, constituído pelo éter, é a morada de Deus. Isso confere à esfera supralunar uma característica divina que também é representada na pintura

Por exemplo, a obra *Entrada em Jerusalém* (Figura 19) de Duccio de Sienna (1255-1319) traz algumas características da cosmologia aristotélica. A representação do céu como sendo dourado está associada à riqueza material do ouro e, por um lado, corrobora a ostentação da Igreja naquela época; por outro, o céu – a morada de Deus e o lugar onde as almas boas desfrutariam da vida eterna – deve ser o que há de mais valioso a ser almejado pelos homens de bem. Portanto, este céu estilizado, dourado, casa da vida eterna, é um céu divino, eterno e justo.

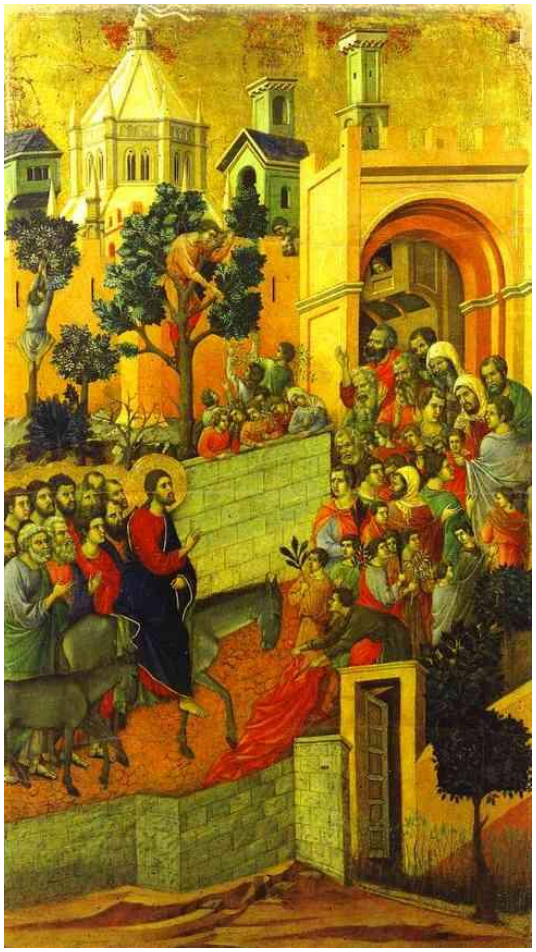


Figura 19 – Duccio de Siena, Entrada em Jerusalém, 1308/11.

Essa pintura destaca um espaço hierarquizado, ou seja, o tamanho das pessoas retratadas corresponde à posição social que elas ocupam naquele contexto cultural. A

colocação de auréolas de cores douradas ou amarelas sobre as cabeças sagradas era utilizada para representar o divino, a conexão de Deus com a Terra.

Esse céu aristotélico perde seu caráter dourado, e, portanto, deixa de fazer conotação a um lugar sagrado (a morada de Deus), quando Giotto di Bondone (1266-1337) o representa como azul (figura 20). Giotto trouxe uma nova forma de representação para a arte, trazendo a natureza e a humanidade à pintura, abrindo o caminho para o Renascimento (VENTURI, 1972). Apesar disso, o tamanho das pessoas ainda representava sua importância, assim como a auréola sagrada era símbolo de divindade.

Figura 20 - Giotto di Bondone, A lamentação de Cristo, 1303/1305.

Segundo Caruso e Araújo (sd), uma civilização que representa o céu como sendo dourado é incapaz de produzir uma revolução copernicana. Ou seja, o céu, quando perde sua característica mística, deixa de ser um objeto de adoração e pode, desse modo, ser tratado empiricamente.

No Renascimento, a pintura renascentista, influenciada pelo movimento humanista e naturalista, tinha como característica o realismo, representação do espaço e do volume, utilizando para esse fim a aplicação de princípios matemáticos e geométricos, como a perspectiva científica, o estudo de proporções, o cálculo de dimensões aparentes e o claro-escuro, aliadas a uma representação da natureza, animais e especialmente do homem. Desses elementos técnicos nasce um espaço caracterizado por ser tridimensional, homogêneo e infinito que, posteriormente, passou a ser explorado pela ciência.

> Uma das tarefas mais importantes da filosofia e da matemática do Renascimento foi a criação, progressivamente, das condições de um novo

> conceito de espaço. O objetivo era de substituir o espaço agregado pelo espaço sistema, isto é, substituir o espaço enquanto substrato pelo espaço enquanto função. O espaço deveria ser despido de sua objetividade, de sua natureza substancial e ser descoberto como um livre complexo de linhas ideais. O primeiro passo nesse caminho consistiu no estabelecimento do princípio geral da homogeneidade do espaço (Cassirer, 2001, p.182).

O espaço-agregado é caracterizado pela disposição dos objetos no espaço sem serem levadas em consideração as relações espaciais entre os objetos. Representava uma visão de um espaço qualitativo e heterogêneo baseado em Aristóteles. Já no Renascimento, o espaço-sistema é caracterizado pela maneira ordenada e unitária que os objetos ocupam em um espaço sem limites. O espaço sistema era tido como anterior à criação dos objetos que nele se situavam.

Segundo Jammer (2010), o estudo de um espaço *a priori* era essencial para a física compreender a natureza.

> Como o espaço condiciona não apenas a matéria como tal, mas também suas qualidades, a investigação dele era um pré-requisito indispensável de toda a ciência natural. O espaço possibilitava não apenas a natureza, mas também o conhecimento da natureza (p. 117).

Essa ideia de um espaço *a priori* também permeava a pintura no início do Renascimento. Os estudos sobre perspectiva do arquiteto Filippo Brunelleschi tinham o objetivo, dentre outras coisas, de buscar proporções naturais entre o homem e a natureza, eliminando a perspectiva hierárquica utilizada na pintura até então (QUEIROZ, 1995). "A perspectiva linear fornecia uma estrutura capaz de realizar unidades de espaço e de visão; poder-se-ia construir o espaço sobre um plano, antes mesmo de situar o homem (QUEIROZ, 1995, pg. 47)".

Com a técnica de perspectiva, é possível representar a tridimensionalidade do mundo nas telas bidimensionais por meio da ilusão de profundidade. Vejamos, por exemplo, a obra *Flagelação de Cristo* (Figura 21), de Piero dela Francesca.

Figura 21 - Piero dela Francesca, Flagelação de Cristo, 1455/60.

Nota-se que o simbolismo da pintura medieval com seu céu e auréolas douradas não estão mais presentes nessa obra, dando espaço para a representação de um céu azulado, que se assemelha mais ao “real”. Um observador acostumado a obras medievais teria dificuldade em decifrar a perspectiva na pintura e entender que o Cristo é menor que os demais personagens devido a uma simples consequência do fato de o Cristo estar em um plano no fundo da cena (CARUSO, 2010).

Segundo Queiroz (1995), os estudos sobre o espaço desenvolvidos a partir de Brunelleschi e Alberti, e a ênfase atribuída à matemática por Leonardo, podem ser encarados como uma transformação da matemática de simples elemento da cultura em uma nova forma de entendimento da natureza.

O espaço representado nas pinturas renascentistas era construído com base em leis da perspectiva geométrica. Com a perspectiva, há a possibilidade de se representar o céu como sendo infinito, ideia, como já retratada no capítulo 2, que antecede a física, homogêneo e isotrópico. Essa geometrização do espaço no Renascimento não trazia apenas um caráter matemático, mas sim uma nova visão de mundo e de sua estrutura (REIS, 2002).

O que se observa nesse período é o reflexo de uma nova tendência de representar o mundo no espaço pictórico, de tal forma que o plano deixa de ser apenas o veículo de uma simbologia bidimensional, e começa a dar vida e significado ao espaço tridimensional. Esse

novo pensamento artístico do Renascimento reflete uma forma diferente de relacionamento entre o homem e a natureza.

6.3 A Arquitetura Renascentista

Assim como o homem do período medieval, o homem renascentista acredita num cosmo ordenado que ambos procuraram concretizar em sua arquitetura. A diferença, no entanto, é que enquanto a construção medieval usa uma lógica hierárquica e ideias metafísicas e religiosas, o Renascimento tem como base uma lógica geométrica.

Os arquitetos da época medieval, provavelmente, não tenham lido São Tomás de Aquino para conhecer o pensamento vigente na época, mas estavam expostos à doutrina escolástica, uma vez que a totalidade do saber humano permanece acessível ao espírito normal e não especializado (PANOFSKY, 2007). Segundo Panofsky (2007), o arquiteto tinha como função construir obras para impressionar o espirito do leigo para que ele se pusesse em contato com a escolástica. Seu trabalho era tornar visível a verdade da Sagrada Escritura, tal como o filósofo medieval concebia como sua função principal esclarecer e desenvolver as verdades primeiras, articulando razão e fé.

Todavia, de que maneira esse pensamento escolástico era representado na arquitetura? Uma primeira ideia relaciona-se com a analogia entre o mundo e Deus e o arquiteto e sua obra. Payot (APUD Brandão, 1958):

> Há um parentesco que se pode dizer estrutural: o que a ideia de casa, dentro do espirito do arquiteto, é para a casa (sua *similitudo*), a ideia do mundo, que está em Deus, é para este mundo. [...] O arquiteto é, assim, o análogo de Deus. (p. 26)

O arquiteto medieval devia colocar na sua obra meios pelos quais pode-se pressentir a perfeição divina e conhecer sua verdade, mesmo que sem um rigor filosófico ou teológico. Devido a isso, a arquitetura ocupa o lugar mais alto na hierarquia das artes já que o arquiteto preside sua construção, tornando visível o princípio, a causa e a hierarquia da criação, assim como Deus preside o mundo.

Outro exemplo é a diferença entre o exterior e o interior da igreja gótica. Segundo Bracons (1992), o arquiteto medieval construía o exterior da igreja como um local de transição entre o mundo humano e o divino enquanto que no interior reinava apenas o sagrado. A função dos vitrais presentes nas construções góticas não é apenas decorativa, eles têm caráter estrutural ao dar sentido para a formação arquitetônica do espaço interior, ao iluminarem a igreja. Conforme Bracons (1992, p.70), "os espaços hierarquicamente mais importantes são reservados para os temas essenciais".

Segundo Brandão (1958), a verticalidade característica da arquitetura gótica significa a distância entre a Terra e o Céu, ou entre o mundo corruptível e o divino, que apesar de grande esse caminho pode ser trilhado por meio da fé e da verdade de Deus. Esse caminho que o homem comum tem que trilhar por meio da fé é encontrado na "A Divina Comédia":

> Esse acesso torna possível a Dante, um mortal, elevar-se às altas esferas até o ponto de quase cegar-se diante da contemplação divina. Guiado e orientado pela fé, ele ascende aos céus e às interpretações filosófico-teológicas que lhe permitem compreender desde o fenômenos físicos até a missão do homem na terra. Também a catedral pretende realizar esse transporte místico-intrutivo. E na base de todas as verdades encontradas está o foco divino, o Eterno Artista, aquele do qual tudo emana, inclusive as construções artísticas, filosóficas e cientificas. Só pela graça iluminante se alcança o belo e o verdadeiro. (p. 30)

Com o livro IV do *De Re Aedificatoria* (Sobre a arte de construir), escrito entre 1443 e 1452, Leon Battista Alberti inaugura, no Renascimento, a reflexão sobre a arquitetura da cidade (D´Agostino, 2006). Partindo do pensamento humanista, Alberti pretende construir uma arquitetura que tenha a mesma racionalidade presente na perspectiva, uma espacialidade onde não coubesse o aleatório, o arbitrário ou o casual. Em seus escritos, Alberti utiliza como princípio, tanto na pintura quanto na arquitetura, a noção de *concinnitas*[29], e segundo Calovi (2000) Alberti argumenta que todas as obras da natureza são reguladas pela Concinnitas, sendo que a natureza tende a organizar suas obras de forma perfeita.

Assim, no Renascimento, havia a concepção de que o edifício representava o mundo, tornando visíveis suas leis, mas também de que o mundo é construído como um edifício por meio das leis incorporadas à arquitetura. Essas leis têm um caráter matemático, advindo da

[29] Palavra criada por Alberti que significa a disposição das partes de um modo subserviente ao todo.

> "Mas há uma qualidade resultante da conexão e da união de todos os elementos: nela resplende, admiravelmente, toda a forma da beleza. E nós a chamaremos de Concinnitas"

ideia de um cosmo matematicamente ordenado, e o estudo da perspectiva e das proporções tornam-se a base para a arquitetura.

> A beleza do Renascimento coincide com uma racionalidade matemática inspirada numa nova maneira científica de ver o universo – que substitui a racionalidade metafísico-religiosa da escolástica presente no gótico (BRANDÃO, 1958, p. 54).

A beleza seria, de certa forma, uma harmonia matemática em que as partes que formam o todo devem estar construídas segundo certa relação, uma ordem e uma simetria. E a perspectiva auxilia para a obtenção de uma harmonia matemática e simetria na arte.

A projeção de cidades no Renascimento (figura 22), por exemplo, se concentrava na forma geométrica devendo, na medida do possível, projetar as cidades com base em figuras como o círculo, o quadrado, ou o polígono, sendo atravessada por uma geométrica rede de ruas e caminhos. Segundo Brandão (1958), esse ideal de cidade renascentista não apresenta mais o caráter estruturado e simbólico da cidade medieval e também deixa de lado a heterogeneidade da espacialidade da arquitetura grega. Pelo contrário, pois

> Em torno do ponto central [da cidade] desenvolve-se uma rede, na qual se expressa o desejo de uma geometrização geral, cujas leis unificam e cujas unidades espaciais básicas se repetem por todo o espaço, tornando-o homogêneo (p. 59).

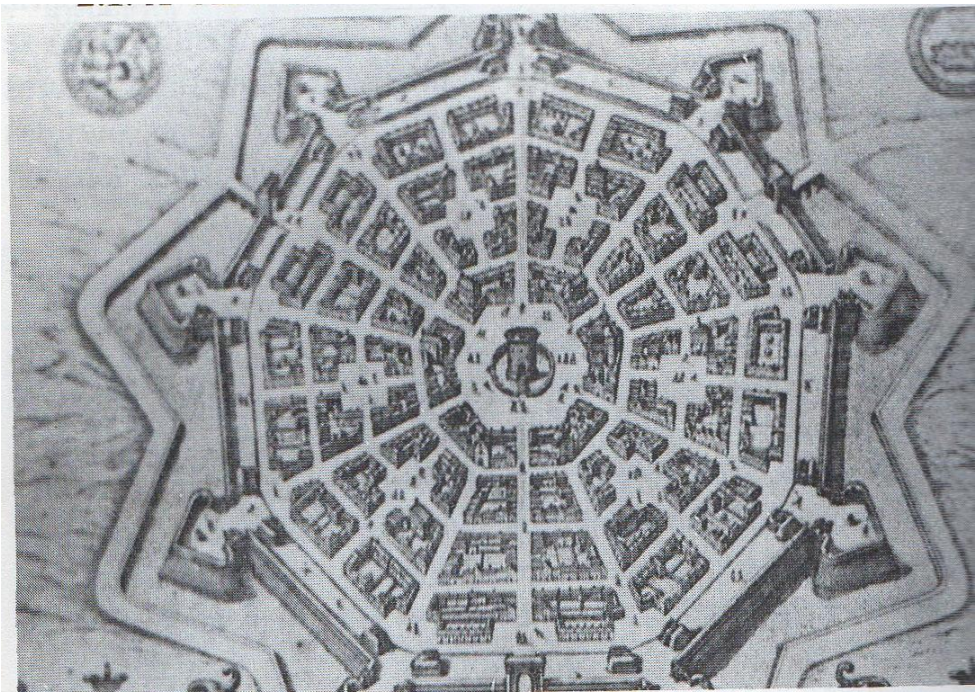


Figura 22: A planta da cidade de Palma Nova com formato geométrico
Fonte: Brandão, 1958

Caruso e Araújo (sd) ressaltam que a representação do espaço arquitetônico na pintura (figura 23) revela, por meio da observação do chão quadriculado e das lajotas idênticas, assim como a disposição dos prédios e pilares, a homogeneidade característica do espaço geométrico. Essas características "evidenciam a presença de novas concepções do espaço arquitetônico, aponta para um novo urbanismo e antecipa o surgimento de um novo espaço da Ciência – geométrico, homogêneo e isotrópico" (p. 3).

Figura 23: "Cidade Ideal", Francesco di Giorgio, final do século XV. Staaliche Gemaldegalerie, Berlim.

Outro exemplo é a Praça de Vigevano (figura 24), atribuída a Leonardo da Vinci, no qual notamos a repetição de um único esquema: o amplo arco na parte térrea, a janela acima do arco e a janela menor e redonda no segundo andar. Para Brandão (1958), a repetição desses elementos no edifício unifica, sistematiza e homogeneíza o espaço urbano, conferindo-lhe uma ordem racional e geométrica.

Figura 24: Praça Ducal de Vigevano.
Fonte: Milão nas mãos[30].

Assim:

> A homogeneização espacial advinda da atuação de uma mesma lei geométrica por todo o edifício, é uma das mais importantes características da arquitetura renascentista, na medida que se opõe completamente à gótica e à grega (p. 63).

Essa homogeneização, segundo Santos (2000) proporciona a todos os observadores, independente da posição em que estão, a compreensão das leis que organizam a construção, ou seja, como o todo era adquirido com a junção das partes, que eram idênticas, se um observador tivesse contato com apenas uma dessas partes ele poderia compreender, de certa forma, a organização da estrutura.

Além disso, a ênfase dada às linhas horizontais, assim como sua disposição, demonstra a utilização da perspectiva que presidiu essa construção. A arquitetura preocupa-se não apenas com o momento da construção do edifício, mas, diferentemente do período medieval, persegue uma forma ideal contida no desenho, comprometendo-se com a construção abstrata da criação anterior à sua efetiva construção, ou seja, ao projeto.

Assim, para que um edifício fosse construído com harmonia e simetria era necessário fazer o seu projeto *a priori*, utilizando-se da perspectiva para esse fim. Conti (1984) argumenta que a arquitetura renascentista dá mais ênfase para o projeto do que para o construído, revelando a lógica matemática pela qual o homem "projeta" o espaço.

[30] Disponível em: http://www.milaonasmaos.it/tag/arte/. Acessado em: Janeiro de 2014.

Diferentemente do que ocorre na pintura, o naturalismo, que tenta imitar a natureza da forma mais perfeita possível, trabalha no sentido contrário na arquitetura, pois procura fazer com que a construção de um edifício seja rigorosamente feita por meio de um ideal estético formal que o arquiteto formulou em seu projeto.

É preciso tomar o cuidado para não criar a ideia de que a Igreja não tinha mais importância na arquitetura renascentista. Alberti, por exemplo, procurava representar uma hierarquia das formas, ou seja, a forma mais perfeita era reservada somente às igrejas enquanto eram permitidos alguns pequenos desvios de perfeição para os edifícios privados (BRANDÃO, 1958).

A ideia que o círculo é a forma mais perfeita e, por isso, a mais divina também está presente na arquitetura renascentista. O círculo aparece como o símbolo de Deus no edifício, mostrando sua presença no mundo e o elo entre o céu e a terra. Devido a isso, as igrejas contavam com uma cúpula, imensa calota esférica que coroa a igreja, que refletia e, ao mesmo tempo, revelava a perfeição e harmonia de Deus e sua racionalidade.

Tomemos o exemplo da fachada da Santa Maria Novella (figura 25) para analisarmos.

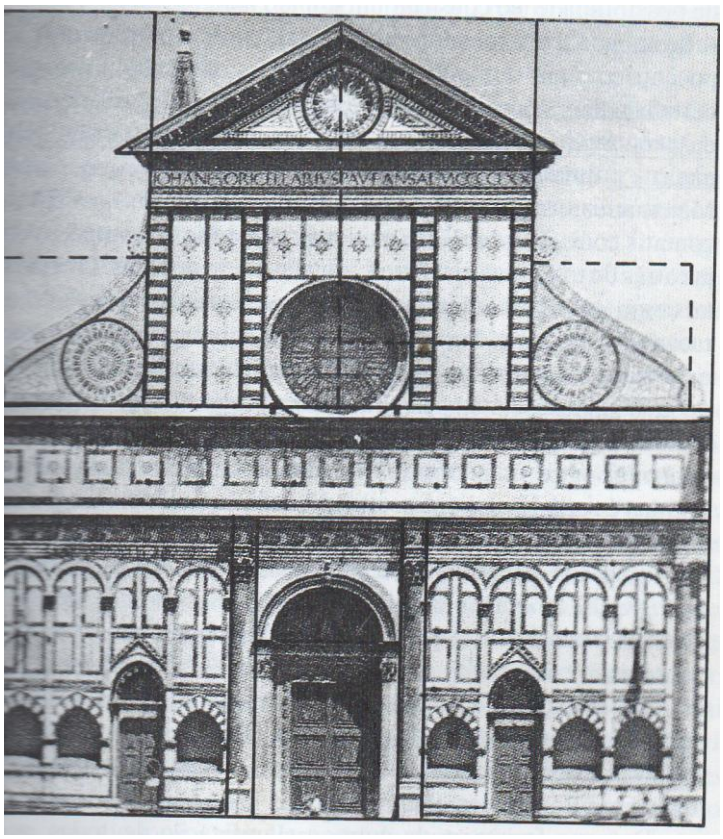


Figura 25: Diagramas da fachada. Alberti, L. B., Santa Maria Novella
Fonte: BRANDÃO, 1958.

Essa fachada utiliza apenas um sistema de proporções que define o tamanho e a disposição de cada elemento. As partes se relacionam mutuamente e formam o conjunto da estrutura conquistando, desse modo, o ideal de beleza albertiano, a harmonia matemática. Essa harmonia baseia-se nos números 1,2,3,4; de tal forma que as principais partes do edifício estão relacionadas a uma proporção 1 a 2.

Essa harmonia matemática também foi utilizada em cada andar e na organização interna da igreja, regulando-a toda e homogeneizando matematicamente o espaço e a construção.

Segundo Brandão (1958), a igreja de Alberti, matematicamente construída, nos possibilita o contato com a essência do universo que, em última instância, é a imagem da harmonia racional de Deus.

> A beleza consistia na harmonia de todas as partes e resultava da proporção, da articulação, da geometrização geral que domina a obra, dando-lhe uma beleza divina porque é racional (p. 74).

No interior da igreja de Santo Spirito (figura 26), cujo projeto se deve a Brunelleschi, podemos observar a perspectiva, a simetria e a dominância das linhas horizontais dos diversos elementos. Nota-se que as linhas horizontais da igreja convergem num único ponto no fundo do corredor, o altar, demostrando a utilização da perspectiva na elaboração do projeto. Além disso, todo o projeto baseia-se na repetição de um simples quadrado e também conta com uma cúpula que, como vimos, refletia a presença do divino na Terra.

Figura 26: Igreja de Santo Spirito em Roma projetada por Brunelleschi.

Andrea Palladio (1508-1580) foi um arquiteto italiano, seguidor dos pensamentos de Vitrúvio e Alberti, que fazia diversas viagens a Roma a fim de realizar desenhos e medições exatas das estruturas antigas, com o intuito de compreender seu sistema de proporções. Escreveu um tratado sobre arquitetura (*I Quattro Libri dell'Architettura*, 1570) . No seu primeiro livro, trata dos tipos de materiais para construção, pisos, forros, escadarias, aberturas, proporções e ornamentos, enquanto que no segundo livro Palladio apresenta suas produções arquitetônicas com suas respectivas projeções ortogonais medidas, com planta, fachada e corte. Seu terceiro livro trata de pontes e, por fim, em seu último livro, ele traz registros de descrições e desenhos de uma grande quantidade de templos romanos reconstruídos.

Os construtores de pontes durante o Renascimento, bastante empenhados na pesquisa dos materiais, além da preocupação na arte de construir, tentavam também obter reduções no tempo de trabalho bem como na quantidade de materiais dispendidos. Naquela época, as estruturas, tanto de edifícios e pontes, como de máquinas, tinham em geral como carga principal o seu próprio peso. O tamanho dessas estruturas era atribuído de maneira empírica, ocasionando colapsos pela ação do próprio peso da estrutura quando um arquiteto experimentava ultrapassar os limites de alturas usuais. Esses acidentes, naturalmente, levaram os construtores a buscar conhecimentos complementares, além da simples semelhança geométrica com estruturas de tamanho reduzido, permitindo a eles perceberem que para cada tipo de estrutura havia uma certa "capacidade-limite" que não podia ser ultrapassada.

Devido à importância dessas questões, Palladio dedicou seu terceiro livro quase que exclusivamente para discutir sobre as pontes, apresentando, pela primeira vez numa documentação, a construção de treliças em madeira (ACKERMAN, 1996). Segundo Pelt (1993), com a utilização das treliças de madeira no Renascimento houve um entusiasmo de cientistas, como Leonardo da Vinci e Galileu, para estudarem o funcionamento das treliças e os materiais mais adequados (resistência dos materiais).

Galileu, por exemplo, teve como ponto de partida para o estudo da resistência dos materiais um problema relacionado à estrutura de máquinas e edíficios que, apesar de serem geometricamente idênticas, tinham comportamentos diferentes dependendo da escala, ou seja, numa escala menor elas funcionavam enquanto que falhavam em uma escala maior. Isso ocorria seja como consequência de uma redução inesperada de sua capacidade de resistir a cargas adicionais seja simplesmente colapsando-se pela ação do seu próprio peso. Galileu não

só conseguiu explicar o fenômeno como estabeleu regras quantitativas objetivando o dimensionando seguro das estruturas.

> Galileu, na segunda parte de Duas Novas Ciências, mostra que quando todas as dimensões de uma viga se multiplicam por um mesmo fator, sendo portanto preservada a semelhança geométrica, as forças resistentes internas, resultantes dos esforços do material, crescem proporcionalmente ao quadrado deste fator, enquanto as forças resultantes da ação da gravidade crescem proporcionalmente ao cubo. Empregando a linguagem atual, isto significa que a simples semelhança geométrica não implica, neste caso, numa semelhança física. Aqui está a ideia central de Galileu em toda a introdução da primeira parte. (CARNEIRO, 1964, pg. 529)

Em seu ensaio, Galileu trata de problemas relacionados à tração nos quais a peça está fixada na parte superior e esticada pela parte inferior por um peso. Sua ideia é que pode-se adicionar peso indefinidamente até a ruptura do corpo, que ocorrerá quando sua “tenacidade” e “coerência” são alcançados. A questão principal era saber qual a força responsável pela resistência do material. Uma hipótese examinada por Galileu relacionava a resistência à tração com uma “força do vazio” como se houvesse uma cola ou um material viscoso firmemente que ligue fortemente as partes do corpo. Galileu percebeu que um fio de cobre suporta seu próprio peso até um comprimento de 4801 codos (2400m) e tem uma resistência a tração equivalente a 2160 kg/cm^2, valores perfeitamente aceitáveis (CARNEIRO, 1964).

É importante destacar que Andrea Palladio foi o primeiro a declarar os três princípios básicos a serem adotados no projeto de uma ponte: adequada, bela e durável (ACKERMAN, 1996). Assim, a construção de pontes começou a ganhar especial atenção, particularmente na Itália, onde foi vista como elevada forma de arte.

7 Propostas de Atividades[31]

Problematização

Número de aulas: 1 aula

Nesta etapa, como discutido no capítulo 3, iniciarei a aula com a apresentação da situação problema: a construção da ponte. Serão mostrados aos estudantes os registros fotográficos do projeto da ponte e do andamento da construção. Em seguida, organizaremos as cadeiras em círculo e iniciaremos um diálogo pautado em algumas questões centrais: a) De que maneira a Física está presente na ponte? b) Como funciona a sustentação de peso nela? c) Qual a importância de se fazer um projeto antes de uma construção? c) Qual a dificuldade de construirmos algo partindo de um projeto?

Organização do conhecimento

Número de aulas: de 4 a 6 aulas

Na aula seguinte, iniciaremos a discussão sobre a relação entre a física e a arte no contexto renascentista. Para isso, entregaremos um texto intitulado *A Monalisa das pontes* de Juliana Sabola (Anexo A). Os alunos farão uma leitura individual do texto e, em seguida, o educador conduzirá uma discussão visando contextualizar o período renascentista por meio da discussão sobre o humanismo, o naturalismo, a concepção aristotélica e a neoplatônica.

Em seguida, compararemos a obra *Entrada de Jerusalém* de Duccio de Siena e a obra de Piero dela Francesca, *Flagelação de Cristo*, apresentadas no capítulo 5.2, para discutirmos quais os pensamentos que estavam presentes no período medieval e renascentista e como isso era representado em uma obra. Pedirei para que os estudantes, separados em grupos de quatro pessoas, discutam e escrevam quais as diferenças de eles observam nas obras e quais as possíveis relações dessas diferenças com os pensamentos da época.

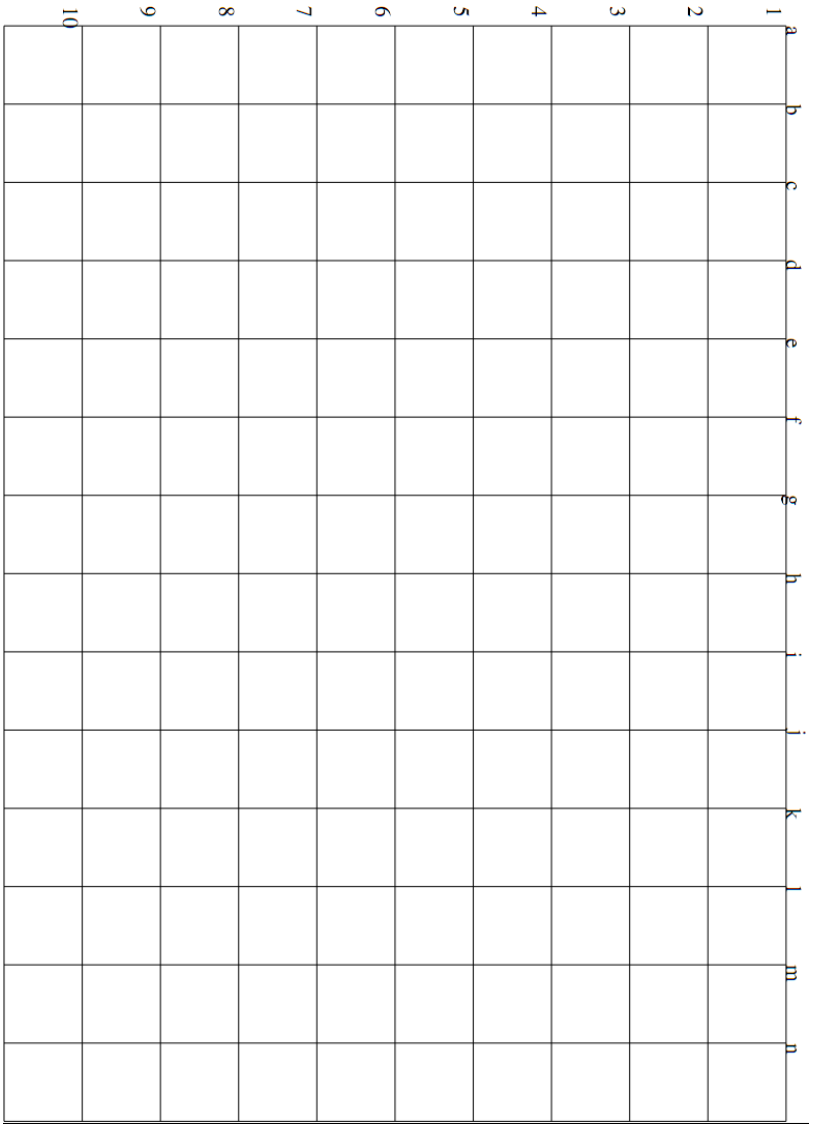
Posteriormente, conduzirei uma aula dando ênfase ao modo como a física e a arte se relacionam com a natureza, em especial na busca de ambas por um pensamento mais racional

[31] Esse capítulo foi escrito no fututo já que foi um planejamento para as aulas que seriam lecionadas.

e matemático, seja por meio da perspectiva ou por uma harmonia cósmica matemática. Nessa parte, discutiremos quais as regras que orientam o desenho em perspectiva.

Após isso, faremos uma atividade com um *reticulado* (figura 27), construído em acrílico, no qual os alunos terão que utilizá-lo para desenhar em uma folha de sulfite um objeto que se encontra na sala de aula. Essa atividade objetiva o contato do estudante com o perspectógrafo, momento em que ele estará utilizando conceitos de perspectiva para a transposição de um objeto tridimensional para um plano.

Figura 27: Imagem de um reticulado a ser utilizado na atividade.

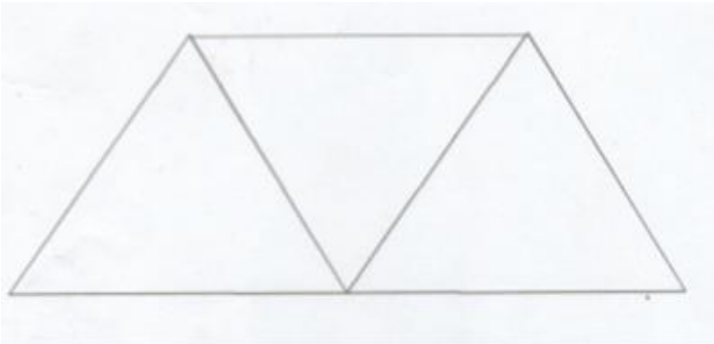


Fonte: Autoria Própria

Em seguida, os estudantes criarão um projeto de uma ponte que ele imaginar (figura 28, por exemplo). Diferentemente de uma ponte de macarrão[32], não proponho, *a priori*, fazermos os cálculos para saber qual ponte é mais resistente, mas sim partir da criatividade do aluno para que ele projete a ponte sem essa ser considerada certa ou errada. A construção dessa ponte será feita utilizando palitos de churrasco e cola de contato como materiais[33]. Essa proposta visa tanto a criatividade e imaginação do aluno quanto a criação de algo baseando-se num projeto.

A discussão sobre estática dos corpos rígidos ocorre nessa etapa. Traremos os fundamentos básicos como equilíbrio de forças, treliças e a tração e compressão de barras.

Figura 28: Exemplo de um projeto de uma ponte



Fonte: Autoria Própria

Aplicação do Conhecimento

Nesta fase, retornaremos ao problema inicial e o analisaremos com base nos conhecimentos adquiridos. Os alunos organizarão as cadeiras em círculos e conduzirei a discussão pautada em alguns tópicos: a) Como funciona a sustentação de peso na ponte? b) De que maneira o projeto pode auxiliar os construtores? Também discutiremos tópicos relacionados ao diálogo entre a física e a arte, mais especificamente: a) compreender como a cultura e as áreas do conhecimento influenciam-se mutuamente. b) Que a física está inserida em um contexto sociocultural e, por isso, não é neutra.

[32] A ponte de macarrão é construída juntando-se macarrões para fazer as barras que serão coladas com algum tipo de cola (Duperox, por exemplo) para juntar as barras. Sua construção só é iniciada após serem feitos os cálculos para saber quantos macarrões em cada barra serão necessários para suportar uma força X.

[33] Essa ideia não deu certo porque a ponte ficou extremamente frágil. Por isso, resolvemos utilizar macarrão e Durepox.

8 Relato da experiência

Neste capítulo, descrevo tanto o processo ocorrido na escola para a efetivação do projeto quanto as atividades propostas em sala. A escolha de não relatar apenas as atividades na sala de aula, mas também o percurso fora dela, possibilita uma melhor compreensão da estrutura em que foi realizado o trabalho, assim como contextualiza esse projeto em um "momento" no tempo, ou seja, confere a esses dados características próprias que advém dos estudantes, da escola, da comunidade, do educador etc. Certamente a reprodução das atividades aqui propostas em outras condições trará outros dados, relatos, análises e conclusões.

Em relação à fidedignidade dos dados, os relatos apresentados neste capítulo são descritos da maneira mais completa possível. Apesar de não utilizarmos áudio e vídeo para a coleta de dados, foram anotadas em um caderno todas as situações ocorridas no âmbito escolar e na sala de aula ao final do dia, salvo situações nas quais ocorriam debates com os estudantes, momentos oportunos para descrever as falas dos estudantes no ato. De certa forma, consegui anotar algumas falas no instante da sua pronúncia e, por isso, em certos momentos da leitura aparecerão citações diretas dos estudantes. Em outros momentos, ou pela fala ser longa ou por não conseguir anotá-las no tempo, fiz uma descrição com minhas palavras, respeitando a ideia central sobre a situação que será vista no texto como uma citação indireta.

Coerente com a proposta da pesquisa participante apresentada no capítulo 3, o professor-pesquisador não se distancia dos fatos e acontecimentos ocorridos, com o objetivo da neutralidade dos dados, mas, como ocorreu em nossa experiência, participa ativamente, reflete, transforma-se e renova-se. Compreendo esse projeto como uma oportunidade para os estudantes perceberem certos aspectos da física, mesmo que por breves momentos, mas também pelo aprendizado e reflexão que o educador desfrutará e, por essa via de sentido duplo, a opinião, reflexão e experiência do professor-pesquisador são dados tão importantes quanto os dados dos estudantes.

8.1 Descrição das aulas

Como apresentado no capítulo 2, a escola escolhida foi a E.E. prof. Claudinei Garcia, na qual leciono. Em um primeiro momento, decidi trabalhar com o 1˚ ano A por ser a classe mais receptiva e participativa nas aulas, além de ser aquela com menos estudantes do que as outras turmas. Todavia, no decorrer do caminho houve situações que nos levaram a mudar a sala do trabalho para o 1˚ ano D.

A primeira etapa do trabalho foi uma conversa com os professores de história e de artes para saber se havia a possibilidade de fazermos um trabalho interdisciplinar. Para isso, conversei com a professora de artes, Ana Maria, sobre o projeto, perguntando se haveria a possibilidade de trabalharmos juntos, com ela ajudando com os temas relacionados ao período renascentista como, por exemplo, a pintura e a arquitetura renascentista. Também expliquei que seria necessária uma coleta de dados das aulas, podendo ser por meio de um vídeo das aulas ou um relatório. Ela argumentou que não se sentiria bem tendo suas aulas gravadas e preferia fazer um relatório. Por fim, ela concordou em participar do projeto pedindo apenas uma cópia do texto do exame de qualificação para se inteirar melhor do tema. Ainda tivemos mais um encontro na sala dos professores, no qual ela trouxe a ideia de fazer uma exposição artística (com cartazes, músicas, poema, teatro e etc.) no pátio da escola no dia 25 de Outubro de 2014 (Um dia letivo em que a escola providenciaria atividades com os pais) com o tema envolvendo a física e a arte. Como tema de desenvolvimento do trabalho para a exposição, ela propôs utilizar a figura de Leonardo da Vinci para discutirmos na sala de aula seus estudos com os fenômenos naturais e seu trabalho com pinturas fazendo uma relação entre ambas como, por exemplo, a importância do estudo da natureza para alcançar uma pintura mais real. Considerei uma ideia válida para introduzirmos no projeto pelo fato de envolver um assunto já presente nas atividades e nas discussões, além de envolver toda a escola e a comunidade por meio da exposição.

Em seguida, foi necessário conversar com o professor de história, Steffano, sobre a possibilidade do trabalho em equipe. A conversa deu-se da mesma forma que a anterior, explicando o projeto, a participação dele no mesmo e também a exposição que pretendíamos fazer. O professor ouviu atentamente e ao final disse que achava o trabalho muito interessante e sabia a necessidade de passar por esse processo “chato e trabalhoso” para terminar o

mestrado. Em seguida, perguntou-me se ele não poderia apenas escrever o relatório para ajudar no trabalho, mas sem fazer as atividades propostas, ou seja, fazer um relato fictício, porque seria trabalhoso para ele participar da atividade.

Não concordei com sua participação nessas condições. Inicialmente considerei absurda a posição do professor, porém descobri que ele tem um cargo na prefeitura de Barueri e outro no estado de São Paulo, ambos concursados, e tem dias que ele trabalha manhã, tarde e noite. Além desse excesso de trabalho, a escola pouco ajuda na questão de projetos interdisciplinares, não proporcionando horários para os docentes se encontrarem para discutir e elaborar projetos. Tanto que o tempo utilizado para falar do projeto era feito ou na hora do intervalo ou nos corredores entre as aulas e somente quando tínhamos aulas no mesmo dia. Talvez essas dificuldades desmotivem o desenvolvimento de um projeto interdisciplinar na escola, pois aumenta a carga de trabalho de educadores que já trabalham em demasia.

Devido à situação apresentada acima, decidi mudar a classe na qual faria o trabalho, da turma do 1˚ A para a do 1˚ D porque o professor Steffano é responsável pelo 1˚ A, enquanto outro professor era responsável pelo 1˚ D. Assim, conversei com o docente Fábio para explicar a proposta de trabalho. Felizmente, ele decidiu participar do projeto, pois estava em seu planejamento começar o tema sobre a Idade Média e posteriormente o Renascimento no primeiro ano. Foi decidido que ao final ele entregaria um relatório (Anexo C) referente às aulas ministradas.

Por fim, conversei com o coordenador pedagógico sobre a possibilidade de o projeto ser custeado pelo PRODESC (Projetos descentralizados). O PRODESC destina recursos financeiros para custear e adquirir materiais para projetos que são aprovados pela seleção que é feita todo o ano. O objetivo, segundo o site do PRODESC é que:

> Os professores, a equipe escolar e a equipe do núcleo pedagógico possam criar projetos que ampliem, enriqueçam, aprofundem temas em estudo, e também beneficiem alunos com dificuldades de aprendizagem de um determinado conteúdo escolar por meio do Programa denominado: *"Projetos Descentralizados nas Unidades Escolares dos Anos Iniciais, Finais e de Ensino Médio"* para dar suporte a essa metodologia de trabalho, operacionalizada sob a forma de projetos. Nesse contexto, o papel do educador/professor torna-se um fator determinante para o sucesso do projeto, uma vez que ele atua como mediador entre o aluno e o conteúdo em estudo, fazendo a gestão do espaço pedagógico (SÃO PAULO, 2015).

Para isso foi necessário escrever um projeto no formato pedido pelo PRODESC. Depois de três retornos para eventuais correções, finalmente ele foi encaminhado para a aprovação (Apêndice A) e liberação da verba. Após algumas semanas, a escola recebeu um e-

mail relatando a aprovação do projeto, mas, infelizmente, devido ao corte de orçamento, eles estavam priorizando as escolas com baixa avaliação no IDEB e argumentaram que se sobrasse alguma verba estariam destinando aos outros projetos. A escola ainda tentou entrar em contato algumas vezes para saber se haveria a possibilidade da destinação da verba, mas não obtivemos sucesso e decidimos pensar em outros meios para conseguir a verba.

Não bastasse o ocorrido, tivemos mais um contratempo. No final de 2013 o Governo do Estado de São Paulo fez um concurso para contratação de professores, sendo a primeira chamada feita em Fevereiro de 2014 e a segunda em Agosto. Na segunda chamada escolheram a vaga de artes da escola, ou seja, a professora de artes Ana Maria, que era temporária, perdeu as aulas para um efetivo. Tentamos adiantar o projeto, mas devido ao planejamento das aulas e do calendário escolar isso não foi possível. A única alternativa era conversar com a nova integrante da escola para saber se haveria a possibilidade de trabalharmos juntos.

A professora Simoni assumiu as aulas e logo na primeira semana conversei com ela sobre o projeto. Ela argumentou que poderia ajudar com algumas coisas, mas que preferia não fazer a exposição artística, pois tinha acabado de entrar no Estado e estava em processo de adaptação. Dessa forma, ela ficou responsável por lecionar os conteúdos referentes ao Renascimento com foco na diferença com a arte da Idade Média. Ao final do projeto ela entregou um relatório (Anexo B) das aulas ministradas.

1° Aula (02/10/2014)

Após fazer a parte burocrática da aula[34], como a chamada e a anotação do conteúdo lecionado no diário, organizamos a sala em círculo para iniciarmos nosso primeiro contato com o projeto. Iniciei o diálogo explicando para a turma o trabalho que iríamos fazer no decorrer dos próximos dias. Relatei um pouco do trajeto da minha pesquisa de mestrado, momento no qual um estudante perguntou como funcionava essa pesquisa. Após sua indagação, questionei-o sobre como ele imaginava o funcionamento de uma pesquisa cientifica. Ele respondeu:

"Eu acho que é igual ao que mostra na televisão. Os cientistas ficam no laboratório descobrindo coisas novas para a gente usar."

[34] Apesar dessa parte burocrática estar presente em todas as aulas decidi omitir esse fato nos demais relatos de aula.

Argumentei que a pesquisa é baseada em métodos científicos. O método científico é uma metodologia para diferenciar o conhecimento da ciência de outros conhecimentos como, por exemplo, o senso comum. Além disso, nem sempre o pesquisador precisa estar no laboratório para fazer pesquisa, pois temos pesquisa sobre história, sociedade, etnografia e em educação. Assim, brinquei, essa sala de aula será meu laboratório e, vocês, minhas cobaias. Depois de perguntar se alguém sabia o que é o mestrado e notar nenhuma resposta, expliquei sobre o que é a pós-graduação, o mestrado e o doutorado, mostrando as vantagens para quem deseja seguir a carreira acadêmica.

Quando terminamos esse assunto, expliquei todas as etapas do projeto, começando pelo texto da "Monalisa das pontes" até a competição da ponte de macarrão. Como eu já havia esperado, um aluno perguntou o intuito do projeto e se ganhariam nota pela participação. Eu já tinha em mente em não dizer o objetivo desse trabalho para os estudantes, pois essa ideia seria conquistada e construída no decorrer das atividades. Assim, respondi:

"Esse projeto mostrará uma física compreendida de outras maneiras além das fórmulas nas quais estamos acostumados, ajudando vocês a perceberem a física de modo mais amplo e talvez até mudando a ideia da física ser um 'bicho de sete cabeças'"

Infelizmente faltava apenas 5 minutos para o fim da aula, o que impossibilitava o início da atividade programada. Dessa forma, adiamos a primeira atividade para a aula seguinte.

2˚ Aula (03/10/14)

Como planejado, nessa primeira etapa fizemos a problematização do tema a ser trabalhado por meio de uma situação problema. Distribuí os registros fotográficos e o projeto da ponte para os estudantes enquanto iniciávamos o diálogo sobre o tema. Para tentar uma aproximação com o cotidiano dos estudantes, perguntei se alguém utilizava aquela ponte como caminho para a escola e apenas 4 disseram que sim, um número pequeno tendo em vista a proximidade da construção com a escola.

Um estudante trouxe uma informação desconhecida para o diálogo. Ele relatou que as obras para melhoria das enchentes, o que inclui a construção da ponte, foi tema do quadro "Fiscal do Povo" do SPTV, pois as obras deveriam ser entregues no final de 2013 e já estavam há mais de 6 meses paradas. A população relatou o sofrimento com o excesso de

sujeira proveniente do rio, de entulhos no meio da rua e dos blocos que seriam usados na construção e estavam na calçada atrapalhando a locomoção.

Em seguida, nos dispusemos em círculo para discutir como a física está presente no cotidiano. Pedi que os estudantes pensassem em exemplos de situações do cotidiano que se relacionassem com a física. As respostas foram exclusivamente baseadas em objetos como, por exemplo, celular, computador, nave espacial, carro e etc. Continuamos com um diálogo sobre a relação que os estudantes observavam entre a física e a ponte, do qual reproduzo algumas respostas:

Aluno 1

"Acho que precisamos da física para construir uma ponte senão ela poderia cair."

Aluno 2

"Quem faz a ponte não cair é o engenheiro e não a física. Os prédios também não caem por causa da engenharia e não da física."

Aluno 3

"Eu acho que a física está presente na ponte porque é por ela que os carros passam. E os carros são feitos pela física."

Aluno 4

"Acho que tem a ver com o tamanho da ponte. A gente precisa da física para fazer pontes maiores."

Após os comentários expliquei como a matéria sobre as Leis de Newton, vista por eles nas semanas anteriores, tinha relação com a construção de pontes e de qualquer obra feita por um engenheiro. Dessa forma, apesar de não ser o físico que constrói um prédio, a física está relacionada indiretamente com a obra e com outras situações do cotidiano das quais não percebemos.

Por fim, fizemos a leitura do texto "A Monalisa das pontes". Para a leitura, utilizamos um exercício teatral[35], no qual os estudantes receberam uma cópia do texto e apenas um foi convidado para começar a ler em voz alta enquanto os demais acompanhavam a leitura. Foi

[35] Esse exercício pode ser encontrado na Dissertação de Mestrado "A presença do teatro no ensino de física" da autora Oliveira, N. R. (2004).

estipulada duas maneiras para mudar o leitor: 1) Quando o estudante parasse a leitura outro poderia continuar em seu lugar; 2) O leitor poderia ser interrompido por um colega que daria continuidade à leitura. Nesse caso, o primeiro estudante tem que ficar em silêncio enquanto o colega prossegue a leitura.

Infelizmente o exercício não saiu como o esperado. Quando iniciamos, o primeiro estudante começou a leitura, mas ao terminar ninguém se propôs a dar continuidade e cerca de 5 minutos depois houve muitas risadas na sala. Observei o acontecimento nesse momento sem intervir porque, naquele instante, o riso e o silêncio também foram uma forma de diálogo e da turma absorver aquela novidade na aula de física. Passado o tempo de euforia, a calmaria foi reinando na sala, abrindo espaço para trazer algumas instruções verbais como "Vamos começar a focar na leitura do texto e prestar atenção na leitura do colega", "Não precisa ter vergonha se errar, vamos nos concentrar em fazer o melhor na leitura", "Não fiquem com medo de falar junto com o colega, apenas comecem" e, por fim, "Não se preocupe com o silêncio, vamos nos concentrar na leitura".

Essas instruções foram feitas ao longo da leitura, mas, de maneira geral, percebi que a atividade causou certa estranheza nos estudantes, pois no início notava-se certo desconforto a esse ato de se expor na leitura, mas, felizmente, próximo do final do texto havia mais tranquilidade e fluidez no trabalho. Ao final da leitura, um estudante argumentou:

"Eu não entendi bem como funciona a sustentação dessa ponte. No texto diz: 'A estrutura da ponte é formada por três arcos que se apoiam mutuamente e sustentam a passarela para pedestres. É o princípio da compressão dos arcos e estabelece que, quanto maior a distância que separa os extremos de um arco, maior sua capacidade de suportar o peso. ' Como esse arco funciona?"

Nesse momento, a aula já tinha acabado e tivemos que continuar a discussão na aula seguinte.

3 ˚ Aula (09/10/14)

Decidi pesquisar um pouco mais a fundo sobre o funcionamento da ponte em arco e me deparei com uma variedade de pontes com suas características próprias, como, por exemplo, a ponte em viga, de treliças, de arco, suspensa e estaiada. Dessa pesquisa, originou-se uma apresentação de *power point* para ser utilizada no início da aula.

A aula foi feita na sala de vídeo por causa da necessidade de utilizarmos o projetor para a apresentação em *power point*. Após um tempo considerável para arrumarmos todo o aparato tecnológico, comecei a apresentação com algumas fotos reais da ponte construída na Noruega baseada no projeto de Leonardo da Vinci. Em seguida, partimos para a explicação sobre os tipos de pontes e das forças de tração e compressão. Como cada tipo de ponte foi utilizado em determinada época da humanidade, conseguimos resgatar a importância do contexto sociocultural para a discussão explicando, por exemplo, que no Renascimento as pontes deixaram de ser apenas uma construção e ganharam uma conotação artística, ou seja, a estética ganhava um papel fundamental na obra.

Apesar de essa aula ser expositiva, tentamos ao máximo abrir o diálogo para os estudantes participarem por meio de perguntas e opiniões, mas não houve um forte envolvimento deles como nas aulas anteriores. A participação ficou restrita a perguntas sobre pontos não compreendidos da apresentação.

4˚ Aula (10/10/14)

Essa aula teve como objetivo trazer o contexto sociocultural do Renascimento, resgatando ideias como o humanismo, o naturalismo, a concepção aristotélica e a neoplatônica, com o auxílio do Power Point. Nessa aula, resgatamos, por meio de perguntas, os conhecimentos que os estudantes haviam trabalhado nas aulas de história e de artes. Assim, iniciei a discussão com um exercício no qual os alunos tinham que falar uma palavra ou frase que se relaciona de alguma forma com a Idade Média ou com o Renascimento. Em seguida, perguntei se alguém saberia alguma diferença entre o Renascimento e a Idade Média, momento no qual os estudantes argumentaram que já tinham visto isso em História e em artes, mas não se lembravam muito. Assim, comentei algumas características da Idade Média e do Renascimento, buscando mostrar de forma ampla o contexto sociocultural de cada época.

Todavia, tivemos um grande problema. No decorrer da aula, os estudantes começaram a se dispersar tornando inviável a continuação da mesma, sendo necessário parar com a explicação para acalmar a situação. Demoramos cerca de dez minutos para conter a sala e continuar com a aula, mas alguns estudantes reclamaram que isso era aula de história e não de física, outro comentou que não sabia porque estava vendo essa matéria novamente e um terceiro perguntou se tudo isso ia valer nota para alguma coisa ou se haveria alguma prova.

Argumentei que eles estavam acostumados com a divisão das matérias na escola como, por exemplo, em português fazemos poemas e interpretamos textos, enquanto que em física e matemática fazemos as contas. No entanto, no mundo essa divisão não ocorria, ou seja, podemos pegar uma simples árvore que pode ser tratada em biologia, quanto em português por meio de um poema ou um texto, assim como em física e em química, compreendendo os processos que a envolvem e também em artes, compreendendo como a árvore era representada na arte através do tempo. Também comentei como a física influencia a sociedade abordando a questão da bomba atômica na segunda guerra.

Finalmente, prosseguimos a aula, ainda com algumas interrupções devido à dispersão, mas, de maneira geral, conseguimos discutir todos os tópicos pretendidos no nosso planejamento.

5˚ Aula (16/10/14)

Nessa aula, colocamos a obra *Entrada de Jerusalém* de Duccio de Siena e a obra de Piero dela Francesca, *Flagelação de Cristo*, para que os estudantes, divididos em grupos de quatro pessoas, discutissem e escrevessem quais as diferenças observadas nas obras e as possíveis relações com o pensamento de cada época. Em seguida, resgatamos alguns conceitos da aula anterior e conduzimos uma discussão dando ênfase ao modo como a física e a arte se relacionam com a natureza, em especial na busca de ambas por um pensamento mais racional e matemático, seja por meio da perspectiva ou por uma harmonia cósmica matemática. Apresentamos os desenhos de Thomas Harriot e Galileu Galilei para exemplificar o diálogo entre a física e a arte, e também discutimos a arquitetura do Renascimento e sua busca por uma harmonia matemática por meio da perspectiva.

Nessa aula, expusemos a figura de Leonardo da Vinci por meio de uma breve explicação sobre sua vida. Nesse momento, alguns estudantes participaram dizendo que conheciam a pintura mais famosa dele, “A Monalisa”, porque na aula de artes a professora falou sobre sua vida, seu estilo de pintura e mostrou algumas obras de sua autoria. Além disso, um estudante trouxe a informação sobre uma exposição no Sesi sobre as máquinas de Leonardo. Felizmente, nesse diálogo os estudantes estavam confiantes e participativos em relação ao tema sobre Leonardo da Vinci motivados, talvez, pela aula e pela pesquisa sobre o tema requisitada pela professora de Artes.

6˚ Aula (17/10/14)

Inicialmente, fizemos uma orientação sobre as regras do desenho em perspectiva, ponto de fuga, demostrando sua relação com a arquitetura por meio de desenhos e plantas das igrejas renascentistas. Resgatamos os conhecimentos da aula anterior sobre a busca por uma organização matemática em diversas áreas do conhecimento, incluindo a física e a arte.

Em seguida, fizemos uma atividade em que os estudantes receberam o *reticulado* utilizando-o como ferramenta para ajudar na transposição do objeto tridimensional, real, para uma imagem bidimensional, desenhada. Para isso, escolhemos uma carteira ou uma mesa como objetos a serem desenhados pelo fato dos estudantes estarem escolhendo a lousa e a porta, objetos demasiadamente simples, para o trabalho. A atividade transcorreu sem desavenças e ao final percebi como estudantes que haviam dito que não sabiam desenhar conseguiram fazer a atividade sem dificuldades.

7˚ Aula (23/10/14)

Demos início ao trabalho com a ponte de macarrão. Primeiramente, expusemos as regras e os materiais que seriam necessários para a construção. Como não conseguimos a verba por meio do PRODESC, decidi custear parte dos materiais já que, segundo a diretora, o professor não pode obrigar o estudante a comprar materiais e nem fazer a atividade valendo nota, ou seja, por haver compra de materiais a atividade não poderia valer nota e era opcional para os estudantes. Apesar de não comentar a burocracia em sala de aula, comprei alguns materiais para caso faltasse no decorrer da atividade e para suprir eventuais grupos que não dispusessem de dinheiro para comprar.

Em seguida, foram distribuídas duas folhas sulfite por grupo para projetarem a ponte antes da construção. Nessa etapa, os integrantes do grupo tinham que discutir e desenhar um projeto de ponte, buscando a sustentação e a estética. O objetivo era que a partir das discussões e da imaginação os grupos conseguissem chegar no projeto, mas tivemos 2 grupos que, apesar das recomendações, estavam utilizando celular para consultar os melhores projetos. Quando perguntei o porquê daquela consulta, um integrante do grupo respondeu que aquilo era uma competição e eles gostariam de ganhar e por isso estavam vendo os melhores projetos na internet.

No decorrer da aula, dois estudantes vieram mostrar o seu projeto e perguntar se ele estava certo e se poderiam ganhar a competição com ele. Quando isso acontecia, instruía os estudantes a não se preocuparem se o desenho estava certo ou não, mas fazerem o projeto que o grupo decidiu por meio da discussão. Apesar de a palavra competição ter criado uma euforia nos estudantes, ao final todos os grupos tinham feito seu projeto e entregue para iniciarmos a construção.

8˚ e 9˚ Aulas (30/10/14 e 31/10/14)

Para a construção da ponte foram usadas duas aulas mais uma aula cedida pela professora de artes. No decorrer das aulas não houve qualquer incidência de problemas, pelo contrário, os estudantes estavam muito entusiasmados e focados no trabalho. Apenas um grupo mudou seu projeto na aula por considerar o desenho feito por eles muito complexo e de difícil realização.

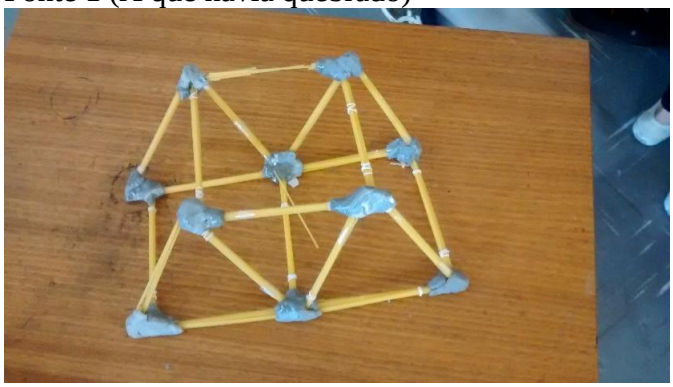
10˚ Aula (06/11/14)

As pontes foram guardadas na sala de leitura até o momento da competição. Infelizmente, quando os estudantes foram buscá-las uma parte da ponte de um grupo havia quebrado, gerando revolta dos integrantes com os colegas, pois somente os estudantes participantes do projeto entraram na sala. Por isso, o grupo decidiu não participar mais do trabalho, porém após uma conversa e tentativa de consertar a barra eles decidiram seguir na competição.

Para a competição, utilizamos 2 pacotes de farinha de rosca com 500g, 5 pacotes de Sal com 1kg e 4 garrafas PET de 2L cheias de água com peso aproximado de 2kg. Esses materiais foram usados como peso para saber quanto a ponte conseguiria sustentar. Além disso, utilizamos 2 carteiras como suporte para as pontes, 1 balde de tinta para colocarmos os pesos e arame para amarração.

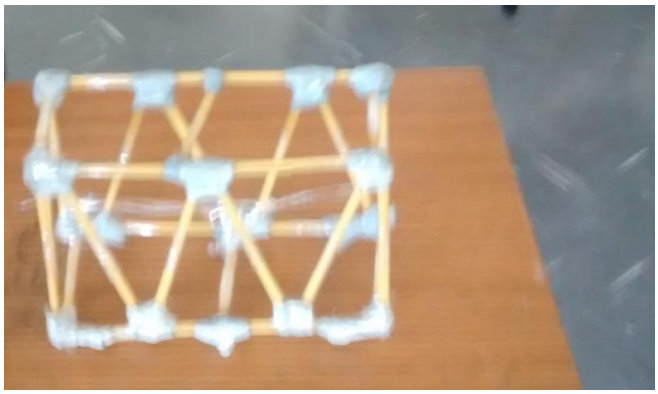
A competição, a meu ver, foi o ápice de nosso trabalho já que os estudantes estavam entusiasmados, torciam por suas pontes, filmavam no momento do teste e alguns comentavam uma tristeza por saber que a sua ponte seria destruída. Ao final, tivemos o seguinte resultado:

Ponte 1 (A que havia quebrado)



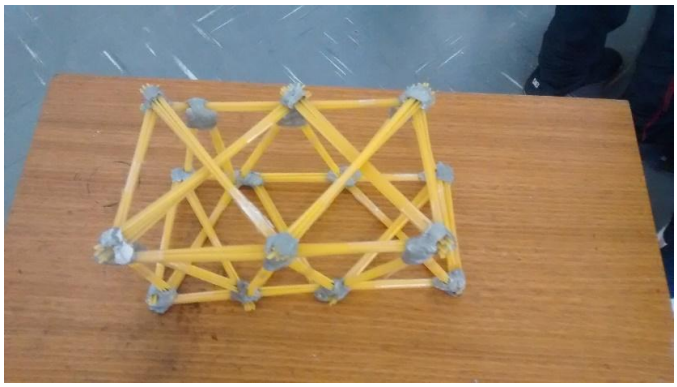
Peso suportado: 1,0Kg

Ponte 2



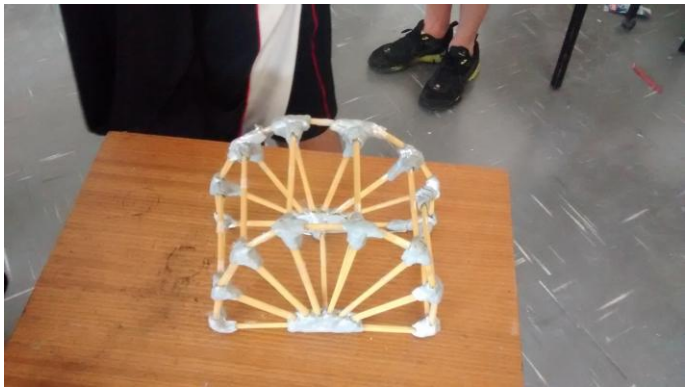
Peso Suportado: 2,0 Kg

Ponte 3



Peso Suportado: 3,5 Kg

Ponte 4



Peso Suportado: 4,5 Kg

A ponte 4 foi considerada campeã, apesar de alguns protestos referentes à utilização excessiva de durepox na montagem. Havia mais um grupo que não trouxe os materiais no decorrer da atividade e também não quis fazer o trabalho com o meu material e, por isso, tivemos um grupo a menos na competição.

11˚ Aula (07/11/14)

Na aula posterior à competição, fizemos um círculo para dialogarmos sobre o trabalho realizado, as impressões, dificuldades e experiências. Reproduzo aqui algumas anotações das falas dos estudantes:

“Acho que o trabalho foi legal. Fizemos a ponte de macarrão e achei superdivertido. Poderíamos ter mais atividades desse jeito.”

“Eu queria entender como a outra ponte foi melhor que a nossa. Por que ela aguentou mais peso?”

“No começo, foi estranho porque não sabia porque estava fazendo essas coisas de pontes e tal, mas no final, depois que construímos a ponte, percebi a ligação.”

“Também acho que a construção da ponte foi mais legal. Acho que a gente só deveria ter feito a ponte e deixado o resto (risos).”

“Acho que algumas partes pareciam que a gente estava tendo aula com o professor Fábio [de história] e acho que algumas coisas não são da física como você ter falado da arte

do Renascimento. Agora a parte da ponte e tal foi a mais legal porque parecia que a gente estava sendo engenheiros e construindo coisas.”

“Acho que deveríamos ter mais aulas assim para construirmos coisas porque achei divertido e o tempo passou rápido.”

“Eu achei complicado construir a ponte usando o projeto que desenhamos. Na verdade, eu construí minha ponte sem usar o projeto porque não consegui utilizá-lo.”

“A parte da arte e obras eu achei muito “sem noção”. Poderíamos ter trabalhado a ponte sem usar isso. Também não entendi algumas coisas porque foram passadas muito rapidamente e não compreendi algumas ligações entre as aulas.”

“Eu gostei do projeto mais algumas partes foram realmente sem sentido como o desenho da cadeira e mesa. E também acho que o projeto foi longo de mais para chegarmos na construção da ponte, a melhor parte.”

“Um ponto diferente foi a leitura que fizemos do texto. Sempre tive um pouco de vergonha de ler para classe quando o professor pede para ler algum texto, mas nessa leitura me senti com menos vergonha. Parecia mais uma brincadeira que leitura.”

“Eu também concordo que a leitura do texto foi bem diferente do que fazemos na aula de português.”

Ao final, os alunos responderam um questionário e puderam relatar suas experiências. Tentei deixar claro que esse retorno não valeria nota e que eles não precisavam apenas elogiar o trabalho para ganhar nota ou ponto, mas relatar as opiniões verdadeiras para podermos analisar e buscar melhorias no projeto.

12˚ Aula (13/11/14)

Devido a alguns alunos perguntarem para explicar melhor porque algumas pontes aguentaram mais peso que outras, decidi lecionar uma aula extra sobre estática dos corpos rígidos. Apesar de não termos um planejamento *a priori*, pois não pretendia colocar a matematização nesse projeto, foi uma grande surpresa quando, no decorrer da aula, os estudantes participaram da mesma. Comecei relembrando as leis de Newton, para depois

trazermos o conceito de equilíbrio de um corpo rígido e, por fim, fazermos as decomposições de forças nas barras.

Embora a complexidade do conteúdo, os estudantes estavam bem focados na aula, trazendo momentos das atividades passadas para a aula como, por exemplo, quando um estudante argumentou a importância do ângulo entre as barras para a construção da ponte e se soubesse isso antes poderia ter ganhado a disputa. A dificuldade maior foi na resolução de exercícios sobre o assunto, pois a grande maioria dos estudantes tem deficiência em operações básicas de matemática. Todavia, diferente de outras aulas, nas quais passei exercícios que exigissem matemática os estudantes persistiram, eles tentaram resolver os exercícios, tiravam dúvidas com os colegas ou o professor e, por fim, muitos ficaram satisfeitos quando terminaram, e acertaram os exercícios.

9 Análise

Neste capítulo, apresento uma análise da sequência de atividades expostas no capítulo anterior. Para nos auxiliar, utilizamos um diário pessoal, no qual os estudantes relatavam suas impressões diariamente, e também um questionário que foi distribuído na penúltima aula do projeto. O objetivo era compreender se o estudo da relação entre física e arte provocou mudanças no entendimento da realidade e da própria física, assim como perceber as dificuldades encontradas pelos estudantes na sequência, momento oportuno para refletirmos sobre nossa ação em sala. A análise da parte mais subjetiva, ou seja, a maneira como a experiência que os estudantes passaram no decorrer das atividades os modificaram como sujeitos, não será amplamente tratada aqui. Isso porque às vezes a experiência vivida naquele momento só florescerá no sujeito anos depois ou, apesar de modificar o sujeito da experiência, ficará em um nível mais inconsciente.

Além disso, existe o problema dos estudantes responderem o questionário preocupados com a resposta certa para uma possível avaliação. Para minimizar esse obstáculo, foi comunicado aos estudantes que a tarefa, assim como todo o trabalho, não seria alvo de uma avaliação tradicional, ou seja, não existiria uma nota maior para quem fez "certo" e uma "menor" para quem fez errado, mas sim uma nota pela participação e empenho nas atividades, independente do resultado ser certo ou errado

9.1 Análise dos questionários[36]

Nesta análise, não busco categorizar rigorosamente pensamentos, nem observar se houve mudança conceitual no decorrer das atividades, mas retirar algumas impressões a respeito tanto do conteúdo quanto das aulas a fim de tentarmos observar se existem impressões compartilhadas com todos da sala. Para isso, valho-me do questionário que dialoga constantemente com o diário pessoal dos alunos e com a descrição das aulas.

[36] Alguns questionários respondidos pelos estudantes podem ser encontrados no anexo D.

Em relação ao questionário, apenas 19 estudantes entregaram de um total de 28 presentes no dia (A sala tem no total 32 estudantes). O diário pessoal dos estudantes foi utilizado para eles anotarem diariamente situações relevantes da aula. Assim, ao final do projeto eles entregaram todas as anotações contendo a data da escrita e as anotações. Por ter sido um trabalho ao longo de todo o projeto e ter sido feito na casa houve apenas 14 entregas, sendo que 3 delas estavam iguais, ou seja, foram copiadas. Além disso, poucos diários estavam com todas as anotações da aula já que muitos pulavam algumas datas e outros escreviam qualquer coisa sem relação com o conteúdo para não ficar com espaços em branco.

1- De que maneira a física está presente nas pontes?

Essa questão já foi apresentada a eles em um diálogo antes de iniciarmos a sequência, porém enquanto anteriormente poucos estudantes relacionavam a ponte com o conceito de força, nessa etapa, 14 deles responderam utilizando esse conceito. Dentre esses 14, podemos encontrar 3 estudantes que tentaram explicar a sustentação das pontes por meio da decomposição de forças que aprendemos na sequência.

Abaixo transcrevo, com algumas correções gramaticais, a resposta de uma estudante:

"A física está presente na ponte pela sustentação dela. A sustentação funciona por pilares e cordas que ficam embaixo ou em cima das pontes. Esses pilares e cordas seguram todo o peso da ponte que é distribuído igualmente pela decomposição de forças para não haver muito peso de um lado e a ponte cair."

Dos outros cinco estudantes, um disse não saber a resposta, um não foi possível compreender a escrita e os três restantes relacionaram a física com o momento da construção da ponte como na resposta abaixo:

"A física está presente em toda a engenharia, principalmente na ponte já que para que a estrutura aguente grandes massas, vários cálculos complexos devem ser feitos".

A quantidade de estudantes que utilizou conceitos como peso, força e decomposição de força superou, e muito, minha expectativa. Apesar de o trabalho tratar a relação entre a física e a arte com o contexto sociocultural, percebi, ao final de toda a sequência, que a estática dos corpos rígidos fez parte das aulas de uma maneira sutil, nas quais os estudantes não apenas absorviam conteúdo, mas dialogavam com o conteúdo por meio de trabalhos

manuais, desenhos, discussões e leituras. Relato essa possível conclusão devido à observação da participação dos estudantes na construção da ponte e na aula, não programada na sequência, de decomposição de forças, em que boa parte dos presentes em sala se esforçaram para compreender o conteúdo. Além disso, em um diário de bordo encontrei uma parte de um estudante que resume esse processo:

"Hoje, na aula do professor Kleber, aprendi a fazer decomposição de força para saber como a ponte consegue se manter em pé mesmo com muito peso sobre ela. Apesar de achar difícil a parte de contas eu entendi as aulas que tivemos até aqui. Entendi porque fizemos um monte de coisa durante esse mês como a construção da ponte de macarrão."

2- Esse projeto contribui de alguma maneira para compreensão da física, da natureza e da vida em geral? Justifique.

Todos os alunos responderam afirmativamente para essa questão, mas do total 15 respostas justificaram, enquanto 4 apenas responderam sim para a pergunta. Boa parte dos argumentos falava como o projeto ajudou-os a compreender a física presente nos fenômenos do cotidiano que muitas vezes não nos damos conta. Todavia, as respostas referiam-se exclusivamente à situação da ponte não abrangendo a compreensão da vida em geral.

Contudo, devemos tomar cuidado com essa totalidade de respostas afirmativas pois alguns estudantes que não participaram da maioria das atividades, inclusive da construção da ponte, responderam afirmativo. Além disso, talvez algumas respostas foram dadas com a intenção de agradar o docente com medo de uma possível avaliação. Reproduzo abaixo uma resposta de um estudante:

"Sim. Eu acredito que esse projeto contribuiu para percebemos como a física pode estar em lugares que nem imaginávamos. Nas aulas aprendemos melhor como uma ponte funciona através da física."

3- Como você compreende o diálogo da física com a arte? Lembre-se de tudo que trabalhamos nesse projeto.

Dois alunos não responderam essa questão, enquanto o restante afirmou haver um diálogo entre a física e a arte.

“A arte e a ciência estão em constante diálogo. Ambas estão sempre em processo de renovação com o passar do tempo”

“Eu compreendo que a física dialoga com a arte no Renascimento. Por exemplo, o jeito de pensar da física influenciou os artistas na maneira como eles desenhavam.”

“A física está presente na arte quando precisamos projetar algo, pintar algo e criar algo. Essas duas estavam presentes no Renascimento e o pensamento de uma modificou a outra e o contrário também.”

Um exemplo mais bem elaborado pode ser encontrado no diário pessoal de um estudante na aula que trabalhamos sobre a relação entre a física e a arte.

“Nessa aula, aprendi que a física está presente em lugares que não imaginava. Aprendi que ela influencia outras matérias como a arte e também que outras matérias influenciam o modo de pensar da física. Hoje percebi que a ideia do geocentrismo influenciou a pintura e a física e que no Renascimento o pensamento começou a mudar até o pensamento heliocêntrico. Esse novo modo de pensar mudou a forma de se fazer física e arte.”

Após verificar as respostas dessa questão notei que a compreensão que a física está relacionada com o contexto sociocultural no qual é produzida ficou restrito ao Renascimento, ou seja, os estudantes podem pensar que essa relação com o contexto sociocultural só existiu no Renascimento ou somente entre a física e a arte. Outro fato importante é destacar o grande impacto da construção da ponte para os estudantes, pois, apesar da pergunta ser sobre o diálogo entre a física e a arte, 9 estudantes utilizaram-se da construção da ponte nas suas respostas.

4- Ao longo do projeto percebemos que a Física dialoga com outras áreas do conhecimento como, por exemplo, a arte. Pensando nisso, podemos afirmar que a física e a arte são a mesma coisa?

Nessa questão, sete estudantes responderam afirmativo. Um dado desconcertante, mas que podemos tentar compreender diante de alguns pontos. O primeiro deles é perceber, como

já foi dito, a tentativa dos estudantes de formular uma resposta direcionada para o docente com medo de uma possível avaliação. Além disso, outro ponto a ser destacado é a falta de uma discussão mais elaborada no projeto sobre a especificidade de cada área do conhecimento. Talvez, nas aulas, a ideia compreendida pelos estudantes foi da física e da arte como sendo iguais e não como duas áreas que tratam da mesma realidade, inserida em um determinado contexto sociocultural, mas cada uma com especificidade no modo como esse conhecimento é construído.

"Nas aulas vi que a física e a arte são bem parecida porque elas conseguem tratar da mesma coisa."

"Sim. Acho que a física e a arte falam sobre uma mesma coisa no mundo."

"Não podemos dizer que a física é a mesma coisa que a arte porque em uma aula fazemos desenhos e em outra fazemos contas. A matéria que é ensinada também é diferente em cada disciplina. Podemos dizer que há um diálogo entre essas matérias, ou seja, na ponte de macarrão desenhamos nosso projeto e depois construímos ele e no fim aprendemos sobre física da ponte. "

"A física não é a mesma coisa que a arte, mas essas duas matérias relacionam-se em alguns pontos como no Renascimento, onde vemos a influência de uma na outra."

5- Aponte aspectos positivos e negativos do projeto que você participou? Do que mais gostou? O que você mudaria ou tiraria?

Nessa pergunta, os estudantes foram instruídos a tentar produzir um texto ao invés de apenas responder cada questão separadamente. Dentre todas as questões essa foi a mais complicada de fazer uma análise das respostas porque alguns alunos se contradiziam no próprio texto. No entanto, busquei fazer um levantamento das percepções deles com o projeto.

Pensando nisso, os aspectos positivos citados pelos alunos foram: 1) Dezesseis relataram a construção da ponte como aspecto mais positivo. 2) Nove estudantes comentaram a competição das pontes. 3) Sete citaram a atividade teatral que fizemos na leitura do texto. 4) Quatro relataram os desenhos feitos com o perspectógrafo e do desenho do projeto. 5) Dois

relataram a relação com o Renascimento. 6) Dois comentaram sobre o geocentrismo e o heliocentrismo.

“Esse projeto trouxe muitas coisas interessantes para mim. Sempre achei que a física era contas e fórmulas, mas percebi nessas aulas que ela pode trazer outras coisas interessantes. Um aspecto positivo que me chamou atenção foi a construção da ponte que fizemos no final do projeto. Foi interessante passar pelo processo de projeto, criação e no fim testar nossa criação. A competição foi outra atividade bem interessante e divertida porque nós pudemos ver quanto nossas pontes aguentaram...”

“A atividade que fizemos com o texto foi um ponto positivo e os desenhos que fizemos também foram.”

“A utilização do Renascimento nas aulas de Física foi interessante porque sempre via essa matéria em História e Artes, mas nunca imaginei que ela também era da física. Acho que essa utilização foi um ponto positivo pois possibilitou estudarmos mais profundamente o assunto e com uma visão diferente da que estamos acostumados nas aulas de história e artes.”

Em relação aos pontos negativos, temos: 1) 7 disseram que algumas aulas foram chatas por ser totalmente expositiva. 2) 2 comentaram a quantidade de tempo gasto no projeto.

Por fim, no quesito sobre mudar ou tirar algo do projeto as respostas foram variadas, dificultando a colocação delas em grupos, mas reproduzo aqui algumas impressões: 1) 4 comentaram que as aulas expositivas poderiam ser tiradas. 2) 3 queriam tirar a atividade com o perspectógrafo porque eles não viram sentido nela. 3) 3 propuseram iniciar o projeto com a construção da ponte. 4) 1 disse que seria interessante mostrar as relações da física com outras áreas do conhecimento além da arte.

“O ponto negativo foi quando foi explicado a matéria sobre o Renascimento. Acho que essa parte poderia ser retirada porque foi muito cansativa.”

“Para mim, a aula que fizemos o desenho em perspectiva foi desnecessário pensando que apenas desenhamos uma cadeira nessa aula e não há utilizamos para nada na construção da nossa ponte. Penso que se começássemos pela ponte seria mais interessante e legal porque os alunos teriam mais interesse na física.”

É significativo notar a predominância de pontos positivos em relação aos negativos. Muitos responderam que não havia nada de negativo no projeto ou que não era necessário alterar nada. Novamente podemos compreender esse fato pelo medo de haver uma avaliação das respostas pelo educador. Outros fatos a serem destacados são: 1) Não houve nenhuma menção à utilização da situação real da ponte como ponto positivo. 2) A maioria dos pontos positivos retratam atividades manuais ou corporais enquanto que a aula expositiva foi considerada como ponto negativo. 3) Percebe-se a grande importância das atividades relacionadas ao desenvolvimento da ponte de macarrão em detrimento de reflexões sobre o contexto sociocultural da ciência.

6- Houve alguma contribuição para o entendimento do conceito de força na abordagem proposta pelo projeto?

Como a matéria sobre Leis de Newton foi trabalhada com os estudantes antes desse projeto, algumas respostas trouxeram relações entre esse estudo anterior com o projeto, principalmente porque na primeira abordagem não trabalhamos com decomposição de forças. Do total, apenas 2 estudantes alegaram que o projeto não contribuiu, enquanto o restante achou que essa abordagem ajudou no entendimento do conceito de força.

“Houve contribuição para eu entender o conceito de força porque entendi que a força está presente em objetos do dia-a-dia.”

“Percebo que o projeto feito pelo prof. Kleber trouxe a matéria sobre força que já tinha visto em aulas anteriores. Mas eu nunca imaginei que a gente poderia trabalhar essa mesma aula de maneira diferente. Eu gostei e aprendi mais nesse projeto do que nas aulas que tivemos antes dele.”

“Essa abordagem que tivemos ao longo do projeto contribui para compreendermos melhor o conceito de força. Ou seja, esse entendimento se deu em pequenas etapas com aulas sobre leitura de texto, sobre a relação entre arte e física e na construção da ponte. Consegui compreender esse conceito de força de um jeito diferente de antes. Agora vejo ele de maneira mais completa do que antes.”

Podemos ver que as citações acima mostram que a abordagem serviu para ajudar os estudantes a entenderem melhor e se interessarem pelo tema. Esse projeto possibilitou a eles aprofundarem os conhecimentos sobre força, já trabalhados anteriormente, e visualizarem as situações do cotidiano em que esse conhecimento estaria presente.

7- Discuta como a busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista.

Essa pergunta causou "instabilidade" na aula, pois alguns estudantes argumentaram não se lembrar da resposta, outros diziam que era muito difícil de responder e alguns argumentaram que não faziam ideia da resposta e por isso a deixariam em branco. Ao final, apenas 11 estudantes responderam a questão e desses, 5 colocaram respostas totalmente fora do contexto da pergunta. Assim, apenas 6 estudantes tentaram desenvolver essa ideia, sendo que boa parte deles são aqueles estudantes considerados como "bons", ou seja, tiram notas altas nas disciplinas.

"No Renascimento, a matemática influenciou a física e arte. Na física houve a incorporação da matemática nas coisas do céu e também da Terra e na arte ela foi usada para construir edifícios."

"Na época do Renascimento, houve uma grande mudança no jeito das pessoas pensarem. Essa mudança no pensamento também trouxe mudanças na maneira como era feita a física e a arte. A busca por uma ideia de mundo organizado atingiu as duas. Na física esse pensamento permitiu o nascimento do Heliocentrismo e na busca por um mundo mais matemático e na arte foi possível a utilização da perspectiva para criação de quadros e de igrejas."

"A busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista. Essa influência aconteceu quando o homem deixou de acreditar que a Terra era o centro do Universo e passou a acreditar que o Sol era o centro. Muitos físicos foram responsáveis por criarem essa teoria porque eles acreditavam que essa teoria explicava melhor certas coisas. Na arte, isso aconteceu através da perspectiva que ajudou na criação de

obras que parecem mais com a realidade. Também foi utilizada na hora de construir edifícios como a igreja.”

“Durante as aulas, discutimos sobre como uma ideia influencia diversas áreas, mudando a maneira como o homem vê o mundo a sua volta. Isso também aconteceu na física e na arte.”

“A busca por um mundo organizado e matemático surgiu no Renascimento. Nessa época o homem queria achar medidas para qualquer coisa na Terra e também no Universo. O próprio Leonardo da Vinci tentou achar um valor especial para medida do homem. “

“A representação da arte e da física mudou no Renascimento por causa do surgimento de pensamentos que foram resgatados da antiguidade. Um desses pensamentos foi sobre a ideia do homem não ser o centro do mundo e outro foi sobre a substituição do Sol como centro do mundo ao invés da Terra, como se acreditava na Idade Média. O mesmo aconteceu na pintura onde esse pensamento mudou o modo como se pintava. O tema dos quadros deixou de ser sobre a religião e começaram a ser sobre o homem. Além disso, os pintores, escultores e arquitetos começaram a usar a perspectiva para suas obras na tentativa de representar um mundo mais real e organizado.”

Analisando as respostas para essa questão, observa-se que os estudantes, apesar de poucos responderem, argumentam como um pensamento influencia diversas áreas do conhecimento, inclusive resgatam alguns pontos trabalhados em sala de aula como, por exemplo, a perspectiva, o geocentrismo e heliocentrismo e sobre Leonardo da Vinci. Outro ponto a ser destacado é a compreensão de alguns estudantes sobre a possibilidade desse novo pensamento poder ser utilizado tanto na compreensão da Terra quanto na compreensão do Céu, ou seja, inicia-se a unificação entre o sublunar e o supralunar.

9.2 Análise dos projetos da ponte de macarrão

Uma inquietação minha sobre esse projeto era como analisar, mesmo que de maneira qualitativa, as atividades de desenho ou da construção da ponte. Será que podemos tirar alguma informação sobre o pensamento dos estudantes por meio de um desenho ou do projeto da ponte? A maioria da bibliografia encontrada nessa área é voltada à leitura e à interpretação de desenhos infantis para compreender os processos de construção e significação de objetos o que, de certa forma, não é útil para nossa análise. Todavia, após diversas tentativas trarei uma análise dos projetos de ponte de macarrão baseados na ideia de equilibro encontrada no livro "Arte e Percepção Visual: Uma psicologia da Visão Criadora" de Rudolf Arnheim.

9.2.1 Equilíbrio

Na figura abaixo (figura 29), temos um disco escuro sobre um quadrado. Para saber a localização do disco, pode-se utilizar instrumentos como uma simples régua para saber a distância existente entre o disco e as bordas do quadrado. Ao final, concluir-se-ia que o disco se encontra fora do centro do quadrado.

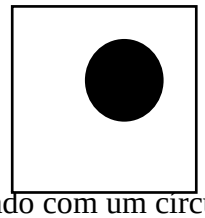


Figura 29: Quadrado com um círculo fora do centro.
Fonte: ARNHEIM, 1980.

No entanto, não seria preciso medir para chegarmos a essa conclusão, pois percebemos apenas pelo ato de olhar que o disco está fora do centro. Será que ao vermos a figura observamos primeiro o espaço entre o disco e a borda da esquerda e em seguida transportamos essa distância apreendida para o outro lado e assim comparamos as duas distâncias? Uma ideia no qual nos comportaríamos como instrumento de medida, segundo Arnheim (1980), não seria o melhor procedimento.

Vendo a figura como um todo, pode-se notar, de certa forma, uma posição assimétrica do disco como uma propriedade visual padrão. Assim, não se observa o disco e o quadrado separadamente, mas sim suas relações espaciais com o todo. “Não se percebe nenhum objeto como único ou isolado. Ver algo implica em determinar-lhe um lugar no todo: uma localização no espaço, uma posição na escala de tamanho, claridade ou distância” (ARNHEIM, 1980, p. 4).

Assim, não estabelecemos simplesmente distância, direções, tamanhos para depois compará-los individualmente, parte por parte. Especificamente, observamos essas características como propriedades do campo visual total. Além disso, Arnheim (1980) argumenta que as qualidades das imagens produzidas pelo sentido da visão não são estáticas, ou seja, uma pessoa percebe não apenas um arranjo de objetos, cores e formas, movimentos e tamanhos, mas talvez, antes de tudo, perceba uma interação de tensões inerentes a qualquer percepção como tamanho, configuração, localização ou cor. Voltando à figura percebe-se que, além do deslocamento do disco em relação ao quadrado, há certa instabilidade nela como se quisesse voltar ao centro ou desejasse movimentar-se para mais longe, assemelhando-se a um jogo de atração e repulsão.

Vale salientar que o conceito de tensões não é algo que o observador acrescente, por razões próprias, a imagens estáticas, mas essas tensões são próprias a qualquer percepção. Uma vez que essas tensões possuem magnitude e direção pode-se descrevê-las como “forças psicológicas”. Por exemplo, na figura nota-se o disco esforçando-se em direção ao centro do quadrado como se algo invisível o estivesse atraindo. Portanto, nosso campo de visão capta uma “estrutura de indução” do disco em direção ao centro. Outros exemplos de “estrutura induzida” é o caso de um círculo incompleto que parece um círculo completo com uma falha, ou um quadrado executado em perspectiva central, onde pode-se estabelecer o ponto de fuga por meio de linhas convergentes, mesmo que não se possa ver o ponto real do encontro. Segundo Arnheim (1980):

> Tais induções perceptivas diferem das inferências lógicas. Inferências são operações mentais que acrescentam algo nos fatos visuais dados, ao interpretá-los. Induções perceptivas são às vezes interpolações que se baseiam em conhecimento adquirido previamente. Caracteristicamente, contudo, são conclusões derivadas espontaneamente durante a percepção de determinada configuração padrão (pg. 5).

Colocando-se o disco em diversos pontos dentro do quadrado parecerá que em certos pontos ele está em completo repouso; em outros pontos apresentará um impulso para uma direção definida; em outros sua situação será incerta e oscilante.

Assim, o disco tem maior estabilidade quando seu centro é o mesmo que o centro do quadrado, mas se deslocarmos esse disco um pouco para direita, como é o caso da figura, ele parecerá atraído pelo centro, mas se o deslocarmos para bem próximo à borda do quadrado o efeito de atração será para a borda. Para qualquer relação espacial entre objetos, há uma distância "correta", que o olho estabelece intuitivamente. Os artistas e arquitetos são mais sensíveis a essas exigências quando organizam objetos pictóricos numa pintura ou quando buscam uma distância apropriada para os edifícios, janelas e móveis.

O disco não sofre apenas influências da borda e do centro, mas também do eixo vertical, horizontal e das diagonais. Assim, pode-se criar um esqueleto estrutural do quadrado (figura 30) em que se observam padrões de influência nos diversos pontos do quadrado. Em qualquer lugar que o disco se localiza ele será afetado pela influência de todos os fatores estruturais ocultos de tal forma que no centro todas as forças se equilibram e por isso a posição central conduz ao repouso. Outro ponto de equilíbrio pode ser encontrado ao longo da diagonal e mais próximo do ângulo do quadrado do que do centro, o que pode significar que o centro tem uma influência mais forte do que o ângulo e isso deve ser compensado por maior distância do centro.

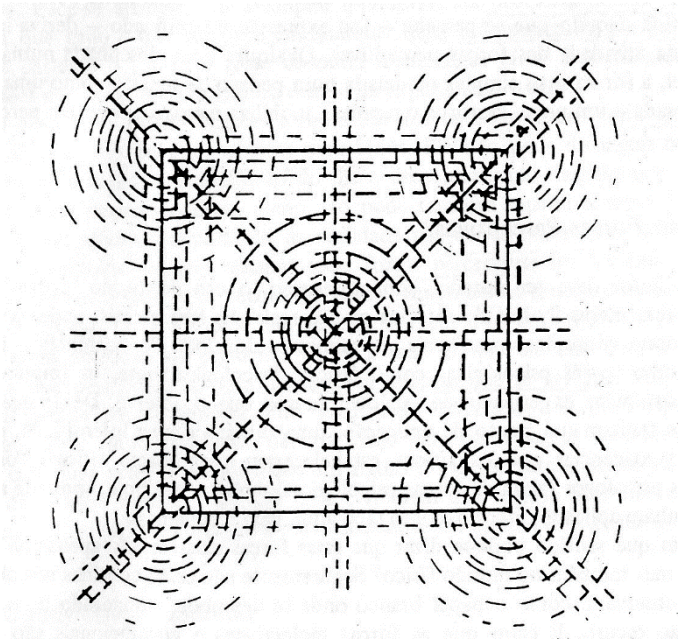


Figura 30: Esqueleto estrutural de um quadrado.

Fonte: ARNHEIM, 1980.

Em geral, qualquer localização que coincida com um aspecto do esqueleto estrutural introduz um elemento de estabilidade, o qual, logicamente, pode ser contrabalançado por outros fatores como cor, tamanho e forma.

Essas observações foram testadas por Gunnar Goude e Inga Hjortzberg utilizando um disco escuro de 4 cm e um quadrado branco de 46 x 46 cm. Variava-se a posição do disco para diversos pontos e solicitava-se às pessoas que indicassem se ele apresentava uma tendência a se esforçar em uma direção qualquer, e se isso ocorresse qual seria a magnitude dessa tendência em relação às oito principais direções do espaço. A figura 31 ilustra esses resultados.

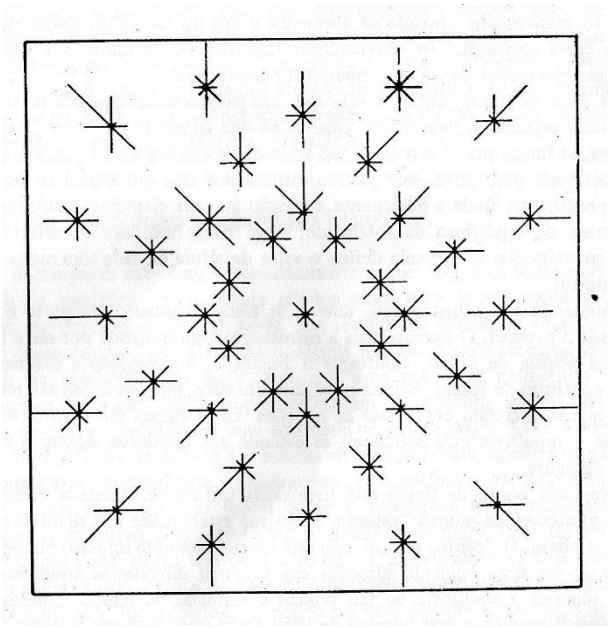


Figura 31: Resultado do experimento realizado por Gunnar.

Fonte: ARNHEIM, 1980

O experimento não prova que a dinâmica visual seja experimentada espontaneamente, contudo ao se sugerir uma tendência direcional às pessoas, as respostas não se distribuem aleatoriamente, mas se agrupam ao longo dos eixos principais do esqueleto estrutural.

Assim, a descrição da experiência visual não pode ser meramente feita em termos de centímetros de tamanho e distância, graus de ângulos ou cor. Essas medidas estáticas revelam apenas o “estímulo”, ou seja, a mensagem que o mundo físico envia para os olhos. A experiência visual perpassa pelas relações dos objetos pictóricos por meio das forças perceptivas. Qualquer linha desenhada numa folha de papel é como uma pedra jogada num rio de água calma, perturbando o repouso, mobiliza o espaço. O ver é a percepção da ação.

No caso de dois discos num quadrado (figura 32), tem-se uma configuração mais complexa do que a situação anterior. Nesse caso, se tomarmos isoladamente os discos da figura 32a, eles parecerão em desequilíbrio, mas juntos formam um par simetricamente localizado, estável. Todavia, o mesmo par pode parecer desequilibrado se deslocado para outra posição (figura 32b). Os dois discos formam um par por causa da sua proximidade e semelhança de tamanho e configuração e também por que são as únicas coisas presentes no quadrado. Como os discos fazem parte de um par nossa tendência é observá-los como simétricos, ou seja, eles têm valor e funções iguais no todo. No entanto, esse juízo perceptivo conflita com outro, resultante da localização do par, ou seja, o disco de baixo está no centro do quadrado, uma posição estável; enquanto o disco superior é menos estável. Dessa forma, a localização cria uma diferença entre ambos, causando conflito com a paridade simétrica. Apesar desse dilema não ter solução, percebe-se que

> Mesmo o mais simples padrão visual é fundamentalmente afetado pela estrutura do espaço circundante, e que o equilíbrio pode ser perturbadoramente ambíguo quando a configuração e localização espacial entram em contradição (ARNHEIM, 1980, p. 11).

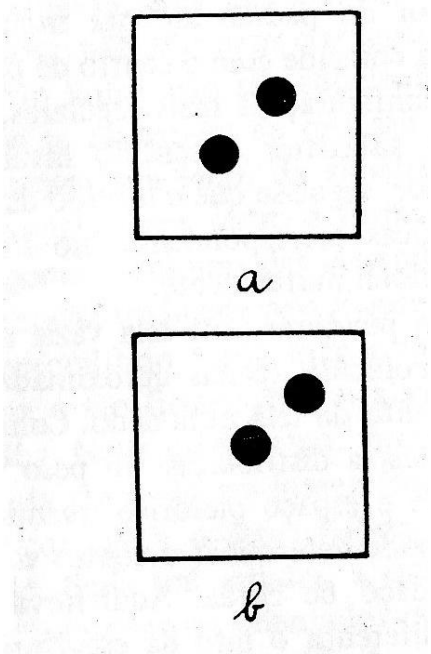


Figura 32: Dois discos em um quadrado
Fonte: ARNHEIM, 1980

9.2.2 Equilíbrio psicológico e equilíbrio físico

Na física, o termo equilíbrio estático é o estado em que as forças atuando em um corpo compensam-se mutuamente. Pode-se consegui-lo simplesmente pensando em duas forças de mesmo sentido e módulo, mas direções opostas agindo em um corpo ou no caso da estática dos corpos rígidos em que o equilíbrio é conseguido quando a força resultante e o torque no corpo são iguais a zero. Pode-se tentar aplicar essa ideia de equilíbrio físico para o equilíbrio visual ou perceptivo. Assim como todo corpo físico tem um centro de gravidade, cada padrão visual finito também tem um fulcro ou centro de gravidade que interfere no equilíbrio de uma obra.

Em uma tela vazia na parede, o centro visual de gravidade do padrão coincide aproximadamente com o centro de gravidade da tela. Todavia, quando adicionamos elementos como objetos pictóricos, com seus tamanhos, cores e variações, na tela pode-se obter um desequilíbrio perceptivo ou um centro de equilíbrio diferente. Há também diferenças entre o equilíbrio físico e o equilíbrio perceptivo como, por exemplo, uma fotografia de uma bailarina pode parecer desequilibrada visualmente, mas seu corpo talvez estivesse em uma posição confortável para a fotografia ou um modelo pousando para uma fotografia não consiga fazer uma pose que pareça perfeitamente equilibrada num desenho.

Numa composição equilibrada, todos os fatores como localização, direção e configuração determinam-se mutualmente de tal forma que não há alterações possíveis. Assim, o todo assume o caráter de “necessidade” de todas as partes. Já em uma composição desequilibrada, seus fatores aparentam uma tendência para alterar o lugar ou forma, aparentando ser transitória e acidental, para tentar atingir um estado que se relacione melhor com a estrutura total.

> Sob condições de desequilíbrio, a proposição do artista torna-se incompreensível. O padrão ambíguo não permite nenhuma decisão sobre qual das possíveis configurações seja a proposta. Tem-se a impressão de que o processo de criação imobilizou-se acidentalmente em algum lugar ao longo do seu percurso. Uma vez que a configuração requer mudança, a tranquilidade do trabalho torna-se um obstáculo. A atemporalidade dá lugar à frustradora sensação de tempo aprisionado. Exceto os casos em que isto é exatamente o efeito que o artista pretende dar, ele se esforçará para conquistar equilíbrio a fim de evitar tal instabilidade (ARNHEIM, 1980, p. 14).

A maneira mais elementar de atingir esse equilíbrio é por meio da simetria. Se desenharmos dois círculos simetricamente separados em um quadrado eles parecerão estar em equilíbrio visual, mas, se adicionarmos mais um círculo em um dos lados, quebramos a simetria e também o equilíbrio visual de tal maneira que para reequilibrarmos a configuração é necessário adicionar outro elemento compensatório. Essa técnica de se criar equilíbrio visual por meio da simetria foi bastante utilizada no Renascimento. A arquitetura renascentista seguia critérios geométricos e racionais a fim de conseguir uma maior simetria nas proporções das suas várias partes, portanto equilíbrio visual. Dentre vários exemplos, alguns já apresentados nesse trabalho, a Capela dos Pazzi (figura 33) é uma típica arquitetura renascentista que se utiliza da simetria para proporcionar o equilíbrio visual.

Figura 33- Capela dos Pazzi, 1441/60.
Fonte: The Museums of Florence[37]

A utilização da simetria para conseguir o equilíbrio visual também era usada em algumas pinturas renascentistas. Com o auxílio da perspectiva, os objetos eram dispostos no espaço em uma composição estritamente simétrica, mas nesse caso outros fatores como as cores quentes e frias, o manejo da luz, o tamanho e forma faziam parte da configuração total para conseguir o equilíbrio.

[37] Disponível em http://www.museumsinflorence.com :. Acessado em: Março de 2015

Um exemplo é a pintura “A Escola de Atenas” de Rafael Sanzio, pintada entre 1509 e 1510 na Stanza della Segnatura (figura 34). Traçando-se uma reta vertical no meio da pintura, observaremos uma simetria espacial e também uma simetria referente a concentração de pessoas.

Figura 34 - Rafael Sanzio, A Escola de Atenas,1509/10.

É claro que o equilíbrio não é conseguido somente pela simetria. Na maioria das vezes, o artista trabalha com algum tipo de desigualdade, mas nesse caso é necessário adicionar fatores de compensação.

Figura 35- El Greco, Anunciação, 1600.

Por exemplo, na obra da Anunciação (figura 35), de El Greco, pintada por volta de 1600, o anjo é muito maior que a Virgem, mas esta desproporção simbólica é convincente porque é determinada por fatores de compensação como cores e iluminação, pois, caso contrário, o tamanho desigual das duas figuras não teria finalidade, e, consequentemente, significado. ARNHEIM (1980) argumenta que "é apenas aparentemente paradoxal afirmar que se pode expressar desequilíbrio somente por meio do equilíbrio, da mesma forma que se pode mostrar desordem pela ordem ou separação pela ligação" (pg.14).

Apesar dos artistas utilizarem a desigualdade juntamente com fatores compensatórios em algumas obras, a simetria é a forma mais elementar de criarmos equilíbrio seja em uma pintura, um desenho ou alguma situação do cotidiano. Se, por exemplo, uma pessoa quiser fixar uma prateleira na parede por meio de dois suportes fixos ela o fará tentando colocar esses suportes o mais equidistante possível (figura 36), de tal forma que a simetria garanta a configuração com equilíbrio. Nota-se que não é essencial a pessoa utilizar operações matemáticas para chegar nessa configuração, logicamente se o fizer terá uma configuração muito mais equilibrada, mas pode utilizar-se apenas da visão e da noção de simetria para esse fim.

Figura 36: Prateleira com 2 suportes equidistantes
Fonte: Autoria Própria.

É claro que a simetria é só um fator a ser analisado na situação acima, já que se pode aproximar os dois suportes de modo que a simetria do conjunto permaneça (figura 37), mas a relação entre os suportes, e portanto a noção de equilíbrio, se altera. Outros fatores como a distribuição de massa da prateleira, a resistência dos materiais e o tipo de suporte podem alterar a localização dos suportes para obtenção do equilíbrio.

Figura 37: Prateleira com 2 suportes.
Fonte: Autoria Própria.

Todavia, dificilmente uma pessoa fará uma configuração em que haja quebra de simetria como, por exemplo, na figura 38, pois assim perde-se a noção de equilíbrio das partes. Se adicionarmos muito peso do lado direito poderá ocorrer quebra da prateleira.

Figura 38: Prateleira com 2 suportes na esquerda.
Fonte: Autoria Própria.

Para compreendermos de maneira mais completa como ocorre o equilíbrio em objetos visuais precisamos compreender a propriedade desse objeto que exerce influência sobre o equilíbrio do todo: o peso.

Da mesma forma que os objetos reais têm um peso devido à relação entre a massa do objeto com o campo gravitacional da Terra, os objetos pictóricos e escultóricos também partilham de certa atração, mas nesse caso essa atração pode ocorrer em outras direções também e sofrer influências de diversos fatores. Assim, pode-se dizer que o peso é um efeito dinâmico criado por meio das diversas relações do objeto com outras partes da obra.

A localização, por exemplo, influencia o peso do objeto, ou seja, uma posição “forte” no esquema estrutural pode sustentar mais peso do que uma localizada fora do centro ou afastada da vertical ou horizontal centrais. De modo geral, a parte central nas pinturas é

demasiadamente pesada, com os pesos diminuindo quando se afasta do centro, aproximando-se da borda.

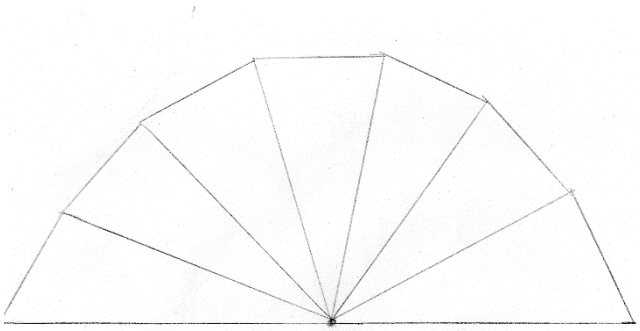
Outro fator que influencia o peso é a profundidade espacial de tal forma que quanto maior for a profundidade alcançada por área do campo visual, maior será seu peso. Na percepção visual, existe uma correlação entre distância e tamanho de modo que se observamos um objeto maior quando ele está mais distante, portanto fora de perspectiva, esse objeto terá um peso maior do que se estivesse com tamanho "adequado". Na obra *Déjeuner sur I´herbe* (figura 39), de Manet, pintada entre 1862 e1863, a figura da moça colhendo flores em segundo plano tem um peso considerável em relação ao grupo das três pessoas em primeiro plano devido à representação da mesma com um tamanho maior do que deveria (REIS, 2002).

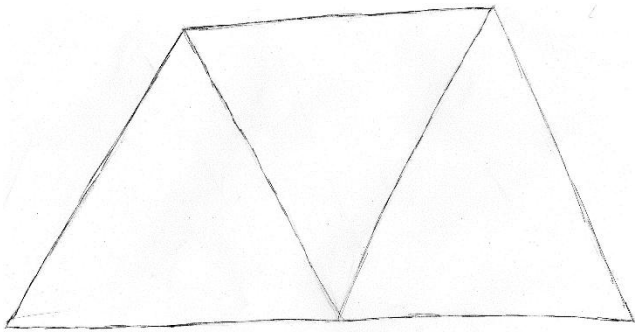
Figura 39 –Manet, *Déjeuner sur I´herbe*, 1862/63

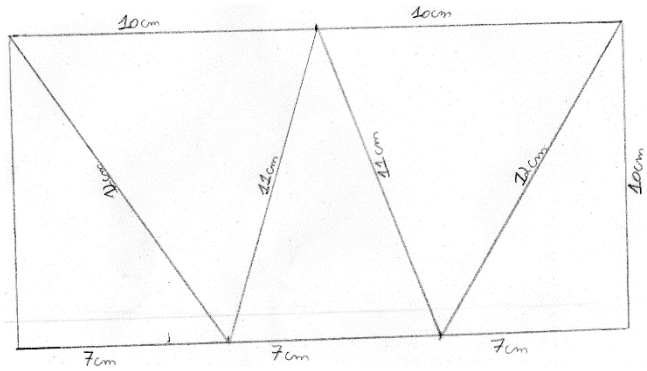
9.2.3 Equilíbrio e a ponte de macarrão

A proposta para a construção da ponte de macarrão foi os estudantes desenharem um projeto no qual eles acreditavam que aguentaria mais peso. Para isso, não foi mostrado nenhum exemplo de projeto de ponte de macarrão no decorrer das aulas. Todavia, é interessante notar que todos os grupos fizeram uso da simetria para a construção do projeto.

Como disse ARNHEIM (1980), a forma mais básica de se conseguir um equilíbrio é por meio da simetria. Nesse caso, os grupos buscavam uma estrutura de ponte que conseguisse aguentar mais peso, mas para isso também é importante que a estrutura distribua o peso entre as barras da melhor forma possível. Assim, a configuração mais simples de se conseguir essa distribuição igual de peso é por meio da simetria o que de fato os estudantes fizeram (figura 40)







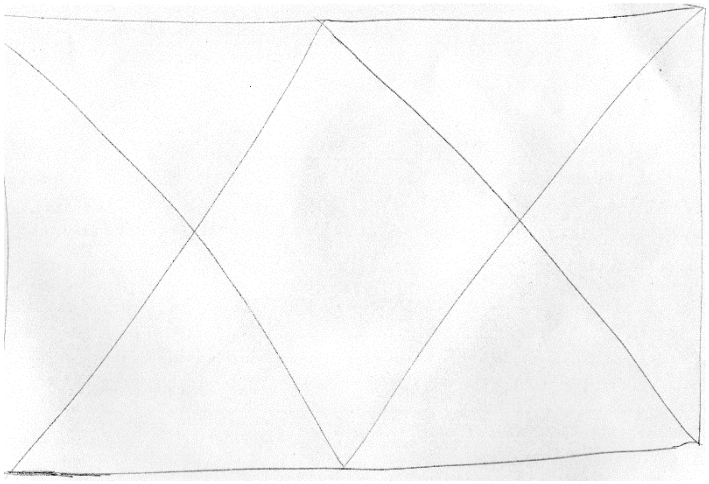


Figura 40: Projetos da ponte dos 4 grupos

A noção de simetria é tão intuitiva que desde a Antiguidade já era utilizada por vários filósofos como, por exemplo, Anaximandro que resolveu o problema do porque a Terra não se movia da sua posição utilizando o conceito de simetria: “A Terra está equilibrada sozinha, sem ser sustentada por coisa alguma e permanece onde está por causa de estar equidistante de todas as outras coisas” (Cohen & Drabkin 1958, p. 92 APUD Silva, 2006). Ou seja, supondo-se que o universo é esférico e que a Terra está no centro do Universo, não há razão para que ela se movesse.

Arquimedes, em seus estudos sobre estática, postulou: “Corpos de pesos iguais localizados a distâncias iguais estão em equilíbrio e pesos iguais a distâncias diferentes não estão em equilíbrio e se inclinam na direção do peso que está a maior distância” (Cohen & Drabkin 1958, p. 186 APUD Silva, 2006).

Se aplicarmos essa ideia de Arquimedes para analisarmos uma balança de braços de mesmo comprimento e pratos iguais (figura 41) parece-nos claro que a balança permanecerá em equilíbrio se os pesos sobre os pratos forem iguais. Mas por que isso nos parece óbvio? A resposta mais sensata seria devido a simetria do conjunto. Além disso, também nos parece claro que ocorre movimento da balança apenas quando os pesos ou os braços das balanças são diferentes. Novamente o motivo para acharmos isso óbvio está relacionando com simetria, mas agora com a assimetria entre os braços ou os pesos.

Figura 41: Balança com pesos iguais (esquerda) e diferentes (direita).

Assim como na física, na arte temos o equilíbrio estático e o equilíbrio dinâmico (DONDIS, 2007). Enquanto o equilíbrio estático é conseguido por meio da simetria o equilíbrio dinâmico é assimétrico, mas consegue-se harmonizar as diferentes partes através da compensação de diversas forças de cada objeto pictórico.

Talvez essa ideia não tenha ocorrido de maneira clara nos estudantes, mas, talvez, subjetivamente todos os grupos projetaram suas pontes de forma simétrica. Em 2011, também fiz um campeonato de ponte de macarrão no mesmo molde que esse e, apesar de não ter os dados para comprovar, todos os projetos eram simétricos.

Pode-se argumentar que os estudantes tenham visto ou pesquisado sobre a ponte de macarrão em algum momento do decorrer do projeto já que desde o início eles sabiam que íamos ter um campeonato de ponte de macarrão. Infelizmente não podemos refutar essa ideia já que esses momentos ocorrem fora do período escolar, mas no dia dos estudantes desenharem suas pontes não houve nenhum aviso anterior para que eles se preparassem para o dia. Ademais, nenhum estudante me procurou trazendo informações e ideias sobre pontes de macarrão.

10 Considerações Finais

Esta pesquisa teve como questão central trabalhar a temática sobre pontes utilizando-se do contexto renascentista para apresentar as relações entre a física e a arte. Essa abordagem enfatiza como a ciência e a arte estão inseridas na cultura e, por isso, representam a mesma realidade, mas com linguagens diferentes. Quando o estudante compreende como duas áreas do conhecimento, aparentemente distintas e incomunicáveis, se relacionam para construírem visões de mundo bem próximas, sua compreensão da ciência muda de patamar. Assim, os estudantes podem ter condições melhores de desenvolverem uma interpretação mais crítica e reflexiva do mundo que os cerca.

A introdução do trabalho por meio da apresentação de um evento real, construção da ponte, converge com nossa ideia apresentada no parágrafo anterior já que possibilita o estudante ter um elo com o seu entorno, criando possíveis condições para desenvolver uma reflexão crítica sobre o mundo. Além disso, a falta desse elo com a realidade pode fazer com que o estudante compreenda a física como desnecessária na sua vida, ou seja, como se apenas fosse uma matéria para se aprender com o intuito de passar de ano ou de conseguir a aprovação no vestibular.

Após o desenvolvimento da nossa caminhada, compreendi a importância dessa pesquisa, pois nas outras três turmas do primeiro ano, que não participaram do projeto, eu também lecionei o mesmo tema, ou seja, estática dos corpos. Todavia, as aulas foram tradicionais, com aula expositiva, exercícios e correção, possibilitando comparar, até certo ponto, alguns aspectos dessas aulas.

Um aspecto tanto pessoal quanto por parte de cada estudante foi o envolvimento. Nas outras turmas, que não participaram do projeto, o tema lecionado nas aulas foi apenas mais uma matéria a ser estudada para prova e para mim apenas mais uma matéria lecionada e anotada no diário. O envolvimento de ambos, educador e educando, foi restrita somente ao conteúdo, ou seja, não houve nem diálogos reflexivos e críticos sobre o tema e nem troca de experiência. Muitas vezes percebia que o estudante tinha decorado seja o método para o cálculo seja a teoria, mas não compreendia seu real significado, aquilo não havia lhe tocado, não tinha um significado em sua vida. E, no meu caso, percebia que estava ali apenas para

cumprir o conteúdo do caderno do estado, transferindo informação, dando exercícios, corrigindo-os e pensando na próxima matéria.

Infelizmente é injusto termos uma sala apenas com um projeto mais elaborado enquanto as outras mantêm-se nas aulas tradicionais. Todavia, as dificuldades e o tempo nos fizeram escolher apenas uma turma, isso também foi devido aos professores de arte e história, enquanto nas demais mantivemos nosso plano pedagógico padrão da escola. Aqui cabe uma reflexão sobre as dificuldades de se implementar um projeto devido ao tempo.

Na época, eu estava com um total de 16 aulas (4 turmas de primeiro ano, 2 de segundo ano e 2 de terceiro ano) e apliquei um projeto para apenas uma turma. Mesmo assim, precisei de um tempo relativamente grande para pesquisar, preparar e aplicar tudo, em torno de dois anos. Logicamente, por ser uma pesquisa de mestrado, a complexidade envolvida nesse projeto não pode se comparar a de um educador ou de um grupo de educadores em uma escola. Todavia, o ato de pesquisar, preparar, aplicar, refletir e avaliar aulas que fogem do modelo tradicional demanda tempo do professor, tempo que muitas vezes é escasso devido à alta carga horária dos mesmos e da grande burocracia envolvida.

Um professor pode ter até 32 aulas semanais, mas há pouco tempo o Governo do Estado de São Paulo abriu a possibilidade dos professores efetivos aumentarem seu salário, mas, infelizmente, isso é conseguido com o aumento do limite da carga horária do professor, ou seja, o professor pode lecionar até 48 aulas (32 como efetivo e 16 como contratado) semanais. Isso para professores sem acúmulo de cargo. É praticamente impossível um professor nessas condições ter disponibilidade de criar um projeto na aula e até de conseguir planejar aulas e ter uma reflexão pós-aula adequadamente.

Outro ponto a ser levantado é em relação ao tempo decorrido para trabalharmos o tema proposto nesse viés sociocultural. Levamos onze aulas, mais de um mês, para tratarmos do tema proposto enquanto que nas turmas não participante o tema foi passado em, no máximo, 4 aulas. A questão principal é a quantidade de matérias presentes no currículo de física que obriga o professor a trabalhar cada conteúdo em aproximadamente 3 aulas para se cumprir integralmente todas os temas. Assim, o professor que pretende fazer um trabalho mais amplo com algum tema terá que “sacrificar” algum conteúdo do currículo.

No final do ano letivo, as turmas que não participaram do projeto estavam adiantadas em duas matérias. No entanto, na minha opinião, esse atraso foi válido e aceitável, já que o envolvimento que os estudantes tiveram com o projeto foi grande a ponto de ainda comentarem, e pedirem para fazermos outro projeto “legal”, mesmo depois de começarmos

outro ano letivo. Talvez esse seja um daqueles momentos da escola que eles levarão para a vida toda, guardando com muito carinho os diversos momentos.

Por meio da análise das aulas e do questionário, ficou bem claro que a parte prática da construção da ponte foi o que marcou mais os estudantes. Tivemos a preocupação das etapas anteriores à construção da ponte serem desconsideradas pelos estudantes, como se fosse apenas algo supérfluo, visto a importância dada à parte prática. Felizmente, isso não aconteceu. Analisando todo o material que obtivemos no decorrer dessa caminhada, percebemos que os estudantes relacionavam a parte trabalhada em sala com a parte prática e o inverso também ocorreu, a construção da ponte gerou curiosidades sobre o processo de sustentação das pontes. Por isso, adicionamos uma aula sobre decomposição de forças no nosso projeto já que, a priori, não pretendíamos utilizar a parte matemática nele.

A avaliação que os estudantes fizeram do trabalho permite discorrer um pouco sobre a abordagem que escolhemos. A maioria apontou mais aspectos positivos do que negativos na nossa abordagem, mas alguns pontos são interessantes de refletir como, por exemplo, as aulas expositivas e algumas atividades sem significado. Também compartilho certa angustia sobre esses pontos já que em certos momentos fiquei com a impressão que estava lecionando muitas aulas expositivas e isso gerou certo desconforto. No entanto, compreendi que aulas expositivas são necessárias no processo de ensino-aprendizagem, mas a maneira como ela é direcionada pode definir uma educação que preza a transferência de conhecimento, educação bancária, ou uma educação com diálogo horizontal entre educador e educando. Analisando certos momentos de algumas aulas expositivas, confesso que parecia uma aula tradicional, seja porque não havia participação dos estudantes quando se abria o diálogo, seja porque realmente estava apenas passando conteúdo por meio de slides.

Em relação às atividades, a principal queixa foi sobre o desenho que os estudantes fizeram utilizando o perspectógrafo. Compreendo essa atividade mais como uma vivência do processo de utilização da perspectiva, por meio do perspectógrafo, que ocorreu no Renascimento, mas após sua realização não houve grandes retomadas a essa atividade. Por isso, alguns estudantes argumentaram que ela não era necessária e não houve sentido em fazê-la.

A sequência descrita neste trabalho foi construída com o intuito dos estudantes trabalharem o tema proposto com um viés que prezasse a criatividade, a imaginação e a experiência. Por isso, o diálogo entre nosso tema com a utilização do desenho, do jogo teatral e da prática manual. Poderíamos ter trabalhado toda a sequência apenas de forma expositiva,

explicando a relação entre a física e a arte e explicando o funcionamento da ponte. Todavia, essa abordagem não convergiria com a ideia de valorização de outros atributos propostos nesta pesquisa.

Nossa sequência é, e sempre será, passível de melhorias. Sua construção partiu da situação real da construção da ponte, tornando-a, de certa forma, própria daquele contexto, ou seja, se houver interesse na reprodução da sequência tem-se que modificar certas coisas para outra realidade. Ademais, se houvesse a oportunidade de aplicar esse projeto novamente na mesma escola também modificaria algumas partes como, por exemplo, a forma como as aulas expositivas foram feitas. Esse processo de re-criar é dialogar com o contexto escolar, com a turma, tornando o processo de ensino-aprendizagem um campo dinâmico, histórico.

Outro ponto importante de destacar é a interdisciplinaridade promovida pelo projeto. Apesar de não ser o ponto central da pesquisa, essa questão permeou todo o trabalho direta e indiretamente. Diretamente com o auxílio dos professores de arte e de história que se propuseram a contribuir significativamente com o trabalho e indiretamente pela proposta dessa pesquisa, ou seja, a relação entre a física e a arte. Infelizmente o diálogo com os professores das outras áreas aconteceu apenas no primeiro momento, faltando um contato maior no decorrer e no término do projeto.

Freire (1989) argumenta que a leitura da escola se distancia cada vez mais da leitura do mundo. Assim, a interdisciplinaridade propõe a troca de reciprocidade entre as disciplinas e, para além do diálogo entre as disciplinas, representa o encontro entre educadores, educandos e o mundo em direção à construção de um conhecimento histórico. Sobre o atual currículo, Burnham (2001) diz que

> [...] a excessiva fragmentação e compartimentalização do conhecimento nas organizações curriculares; [...] observa-se que as disciplinas são tratadas de modo reificado, como conteúdos estanques, com pouca ou nenhuma interconexão, tanto entre si, quanto em relação ao mundo concreto e à experiência vivida.

A estrutura educacional fragmentada, com disciplinas que não dialogam, conduz a um processo educacional fragmentado, ou seja, não permite ao educando seu desenvolvimento pleno. Todavia, em uma perspectiva interdisciplinar, a busca da totalidade do conhecimento respeita a especificidade de cada disciplina. A interdisciplinaridade representa um caminho para superação da fragmentação do conhecimento, possibilitando análises menos parciais da realidade, consonantes à concepção de educação humanizadora considerando os contextos socioculturais.

Acredito que, apesar de não ser o tema principal, este trabalho conseguiu apropriar-se da interdisciplinaridade já que o tema gerador proposto foi discutido nas aulas de física, de arte e de história, respeitado a especificidade de cada disciplina. Esse fato auxilia os educandos a construírem, e reconstruírem, uma visão mais ampliada da realidade que os cerca.

Por fim, compreendo esse projeto como um fomentador de reflexões para ambas as partes, educador e educando. Como educando no sentido de propiciar um espaço rico em possibilidades para que se discutam temas pouco trabalhados nas aulas e como educador por permitir rever alguns conceitos, e preconceitos, sobre educação e ciência. Tenho convicção que toda experiência aqui apresentada tocou de alguma maneira educandos e educador, experiência que pode florescer somente no futuro como uma lembrança ou um interesse pelo assunto.

Bibliografia

ACKERMAN, S. James. *Palladio: Arquitectura y arte*. Valência: Xarait Ediciones, 1996.

ADAM, Hart Davis. *Renascimento e iluminismo*. Coleção 160 séculos de ciências, vol. 2, ed. Duetto, 2010.

ALIGHIERI, Dante. *A Divina Comédia*. Trad. José Pedro Xavier Pinheiro. São Paulo: Atena Editora, 1955.

ALISSON, Elton. *Música como ciência*. Agência Fapesp, 2011. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/14734. Acesso em: Novembro de 2013.

ALLEN, L. David. *No mundo da ficção científica*. Traduzido por Antônio Alexandre Faccioli e Gregório Pelegi Toloy. 1ª Ed. São Paulo: Sumus Editorial, 1974.

ANDRADE, R. R. D., NASCIMENTO R. S., GERMANO M. G.; *Influências da física moderna na obra de Salvador Dalí*. Cad. Bras. Ens. Fís., v.24, n. 3, dezembro 2007.

ARNHEIM, Rudolf. *Arte e percepção visual*. Trad. Ivonne Terezeinha de Faria. São Paulo: Pioneira, 1980.

BANFI, António. *Galileu*. Lisboa: Edições 70, 1992.

BERGONZI, Bernardo. *The Early H. G. Wells: a study of the scientific romances*. Ed. Manchester: Manchester University Press, 1961.

BODEN, M. A. (Org.). *Dimensões da criatividade*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

BRACONS, José. *Saber Ver A Arte Gótica*. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

BRANDÃO, Carlos Rodrigues (org). *Pesquisa Participante.* São Paulo, Editora Brasiliense, 2001

BRANDÃO, Carlos Rodrigues, BORGES, Maristela Correia. *A pesquisa participante: um momento da educação popular*. Revista educação popular, v. 6, n. 1, 2007.

BRANDÃO, Carlos Antonio Leite. *A formação do homem moderno vista através da arquitetura.* Belo Horizonte, AP Cultural, 1958.

BURNHAM, Terezinha. *Transdisciplinariedade, multirreferencialidade e currículo*. Revista da FACED, Salvador: Faculdade de Educação da UFBA, N. 5, 2001, p. 39-55.

BURTT, E. A. *As bases metafisicas da Ciência Moderna*. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 1983.

BYINGTON, Elisa: *O projeto* do *Renascimento*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2009.

CAMENIETZKI, Carlos Z. *Perfil de um Gênio* In GALILEU, Galilei. *O mensageiro das Estrelas*. São Paulo: Editora Duetto, 2009.

CARNEIRO, Fernando L. L. B. *Galileo, fundador de la Resistencia de materiales*. Revista de la Real academia de Ciencias exatas, físicas y naturales de Madrid, 1964.

CARUSO, Francisco. *Arte, Física e Geometria no Renascimento*. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2010.

CARUSO, Francisco; ARAÚJO, Roberto M. X. de. *A Física e a Geometrização do Mundo: Construindo uma Cosmovisão Científica.* Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 1998.

_____. *O Espaço na Arte e na Ciência*. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, s.d.

CASSIRER, Ernest. *Indivíduo e Cosmo na Filosofia do Renascimento*. Trad. João Azenha Júnior. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

CALOVI, Cláudio Pereira. *Critérios da arquitetura e prática de projeto em Leon Battista Alberti*. Porto Alegre: FA-UFRGS, 2000.

CHATELET, François. *Uma História da Razão*. Rio de Janeiro: Jorge Zahra Editora, 1994.

CONTI, Flavio. *Como Reconhecer a Arte do Renascimento*. Lisboa, Edições 70, 1984.

COSTA, Cristiano O. DA. *A perspectiva no olhar: ciência e arte do Renascimento. Mestrado profissional em ensino de matemática.* São Paulo: PUC/SP, 2004

CROCHIK, Leonardo. *Educação e ciência como arte: Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, SP, 2013.

DALÍ, S. *As confissões inconfessáveis de Salvador Dalí*. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1976.

DELIZOICOV, D. *Problemas e problematizações*. In: Pietrocola, M. (Org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis: UFSC, p. 125-150, 2005.

DION, Sonia Maria. *Galileu e as origens do tempo matemático*. Revista Integração, ano XIV, n 52, 2008.

DONDIS, Donis A. *Sintaxe da Linguagem visual*. São Paulo: Martins Editora, 2007.

DOSTOIÉVSKI, Fiódor M.. *Os irmãos Karamazovi***.** Tradução de Natália Nunes e Cesár Mendes. Cia. Aguilar Editora. Rido de Janeiro: 1970.

DURANT, Will. *A Renascença*. São Paulo: Record, 2002.

EDGERTON, Samuel Y. *The Renaissance Rediscovery of Linear Perspective*. NewYork: Basic Book, 1975.

FEITOSA, Sonia C. S. *Método Paulo Freire: princípios e práticas de uma concepção popular de educação.* Dissertação de mestrado, São Paulo, SP, 1999.

FEYERABEND, Paul. *Adiós a la Razón*. Madrid: Tecnos, 1992.

FLORES, C. R. *Olhar, saber e representar: sobre a representação em perspectiva*. São Paulo: Editora Musa, 2007.

FRAGOSO, Suely. *O espaço em perspectiva*. Rio de Janeiro: E-papers, 2005.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do Oprimido*. 17ª edição. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

_____, *A importância do ato de ler: em três artigos que se completam*. São Paulo: Autores Associados/ Cortez, 1989.

_____, *Pedagogia da esperança: um reencontro com a pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

_____, *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1994.

GALILEU, Galilei. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. Trad., introd. e notas de P. R. Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial/Imprensa Oficial, 2004.

GARDNER, Howard. *As artes e o desenvolvimento humano*. Porto Alegre: artes médicas, 1997.

GARIN, Eugênio. *Ciência e Vida civil no Renascimento Italiano*. São Paulo, Unesp, 1996.

GODINHO, Rosemary de Sampaio. *Renascimento: Uma nova concepção de mundo através de um novo olhar para a natureza.* Revista de Informação, v.13, n 1, 2012. Disponível em: http://www.dgz.org.br/fev12/Art_01.htm. Acesso em: Outubro de 2013.

GUENDELMAN, Constanza K. O conceito de douta ignorância de Nicolau de Cusa em uma perspectiva pedagógica. Tese de doutorado, USP, SP, 2009.

HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência 1500-1750.* Lisboa: Edições 70, 2007.

JAMMER, M. *Conceitos de espaço: A história das teorias do espaço na física*. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de janeiro: Contraponto Ed. PUC Rio, 2010

KNAPP, Liza. *The Fourth Dimension of the Non-Euclidean Mind; Time in Brothers Karamazov or why Ivan Karamazov's Devil does not carry a watch*. Dostoevsky Studies, volume 8, 1987.

KOBUSCH, Theo. *Filósofos da Idade Média*. Rio Grande do Sul: Editora Unisinos, 2003.

KOYRÉ, Alexandre. *The Astronomical Revolution: Copernic, Kepler, Borelli.* Tradução de R. E. W. Maddisson. Nova impressão, 1973.

_____. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Tradução de Donaldson M. Garschagen. Rio de Janeiro: Forense-universitária; São Paulo: Edusp, 1979.

_____. *Estudos galilaicos*. Trad. De N. F. da Fonseca. Lisboa: Dom Quixote, 1992.

KUHN, Thomas S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Trad. Beatriz Boeira e Nelson Boeira, São Paulo: Perspectiva, 2006.

_____. *A revolução Copernicana*. Trad. Marília Costa Fontes. Lisboa: Edições 70, 1990.

LARROSA, Jorge. *Saber y Educación*. Revista Educação e Realidade, UFRGS v. 22, n.1, 1997.

_____. *Linguagem e educação depois de Babel*. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

_____. *Experiência e Alteridade em Educação*. Revista Reflexão e Ação, Santa Cruz do Sul, v.19, n. 2, dez. 2011.

MILLER, Arthur. *Aesthetics, Representation and Creativity in Art and Science.* Revista Leonardo, V.28, n.3, 1995.

_____. *Einstein, Picasso: Space, Time And The Beauty That Causes Havoc.* New York, Copernicus, 2001.

MOURÃO, Ronaldo R. de F. *Kepler: A descoberta das leis do movimento planetário*. Rio de Janeiro, Editora Odysseus, 2003.

MOSCHETTI, Marcelo. *A unificação do Cosmo: o rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e terra*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2002.

NUNES, J. B. C. *Busca Científica na pesquisa em Educação: tendências atuais in* Pesquisa Científica para Iniciantes: caminhando no labirinto, v.I, Fortaleza: Editora UECE, 2010.

OLIVEIRA, N. R. de. *A Presença do Teatro no Ensino de Física***.** Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, Edson de; FERREIRA, Thiago Emanuel. *O número de ouro e suas manifestações.* Revista Complexus, N.02, Setembro 2010.

PANOFSKY, Erwin. *La arquitectura gótica y la escolástica*. Madrid: Siruela, 2007

PELT, Robert J. V. Architectural Principles in the Age of Historicism. New Haven: Yale University Press, 1993.

PESSOA, Oswaldo. *Método Científico na Idade Média e o Renascimento*. Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência I, 2010. Notas de Aula.

PIETROCOLA, M. *Curiosidade e imaginação* In: CARVALHO, A. M. P. (org**).** *Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Thomson,2004.

PIETROCOLA, M. Cons*trução e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo*. In: PIETROCOLA, M. (org.). Ensino de Física: *Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. 2ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005, p. 9-32.

PILON, Giovanna N. P.. *A desinformação pela super-abundância de informação na era digital*. Trabalho apresentado ao Centro de Estudos Latino-Americanos sobre Cultura e Comunicação, 2011.

QUEIROZ, Teresa A. P. *O Renascimento vol.2*. São Paulo. EDUSP, 1995.

REIS, José C. O. *Diálogos interdisciplinares: Relações entre física e pintura na virada do século XIX para o XX*. Tese de Doutorado, UFRJ, RJ, 2002.

____, José Cláudio; GUERRA, Andréia; BRAGA, Marco. *Física e Artes: A Construção do Mundo com Tintas, Palavras e Equações.* São Paulo: Ciência e Cultura, 2005. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br

ROQUE, Tatiana. *História da Matemática*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editora, 2012

SANTOS, Maria das G. V. P. dos. *História da Arte*. 16 ª edição. Editora Ática, São Paulo, 2000.

SÃO PAULO, Governo do Estado de. Projetos descentralizados. Disponível em: < http://www.rededosaber.sp.gov.br/portais/cadprojetos/Home>. Acesso em 20/01/15

SCHÜTT, Kleber R; CROCHIK, Leonardo; CARMO, A.B. *Ciência, arte e educação: uma abordagem interdisciplinar entre a arte e a física do século XVI ao XVII*. In: anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. Manaus: [s.n], 2011.

SERVA, Leão. *Jornalismo e Desinformação*. 2ª edição. Editora SENAC, São Paulo, 2001.

SHMIDT, Mario Furley. *Nova história crítica*. São Paulo: Nova Geração, 2005.

SILVA, Cibelle C. *Pierre Curie e a simetria das grandezas eletromagnéticas.* In: Silva, C. C. (ed.) Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, José M. R., *A linguagem do espaço – tempo (As inter-relações da arte cubista e os meios informacionais).* Poéticas Visuais, N.1, Agosto 2010.

_____, BENUTTI, Maria Antonia. *A relação do cubismo com as geometrias não-euclidianas*. Curitiba, PR, 2007

SILVA, Abigail N. B. *Imaginação Criadora e Educação: Considerações sobre o pensamento de Gaston Bachelard*. Anais da XVII Semana de Humanidades, Rio Grande do Norte, 2009.

SNOW, C. P. . Trad. G. G. Souza e R. A. Rezende Neto. São Paulo: EDUSP, 1997.

SPOLIN, Viola: *Improvisação Para o Teatro*, Tradução de Ingrid Dormien Koudela *et* Eduardo José de Almeida Amos, Coleção Estudos nº 62, Editora Perspectiva, 2003.

TARNAS, Richard. *A Epopeia do Pensamento Ocidental*. São Paulo: Editora Bertrand Brasil, 1999.

VENTURI, Lionello. *Para compreender a Pintura de Giotto a Chagall*. Lisboa: Estúdios Cor, 1972.

WELLS, H. G. *A Máquina do Tempo*. Traduzido por Bráulio Tavares. Rio de Janeiro: Objetiva, 2010.

WOORTMANN, Klass. *Religião e Ciência no Renascimento*. Brasília, Série Antropológica, 1996.

ZANETIC, J. *Física também é cultura*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, SP, 1989.

_____, *Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas*. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, v. 13 (suplemento), p. 55-70, outubro 2006.

_____, *Gravitação*. Instituto de Física, 2007. Notas de Aula.

APÊNDICE A

Projeto escrito para o Prodesc

Física sem fronteiras: O diálogo entre o imaginário, a física e as artes através da construção de uma ponte de macarrão.

Justificativas

Descrever o que motivou a elaborar o projeto.

O índice do IDESP 2012 na disciplina de matemática da E.E. Prof. Claudinei Garcia juntamente com o Saresp, que contempla a disciplina de física, são fatores que contribuíram para a construção desse projeto. A articulação da física, artes e da matemática pode ser um possível facilitador para a aprendizagem dos temas descritos no projeto e, desse modo, contribuir para a formação de um cidadão reflexivo e crítico.

Parte da motivação pela elaboração desse projeto se deve à busca de um ensino de física mais humanizado e menos técnico e formulista. A visão de como e porque ensinar física mudou potencialmente a partir das diretrizes apresentadas nos PCNs. A física deve apresentar-se com o objetivo de formar um cidadão contemporâneo que atue na sociedade de forma consciente, solidária e participante. Nesse sentido, os critérios que orientam o ensino de física passou de "o quê ensinar de física" para centrar-se no "para que ensinar física", passando de um ensino conteudista e distante para um ensino voltado para a formação do cidadão atuante na sociedade (BRASIL, 2002).

Esses novos critérios contextualizam a física no âmbito social. A física já não pode ser vista como distante da realidade e concentrar-se apenas na memorização e repetições automatizadas de procedimentos, mas sim como parte de uma sociedade na qual os conhecimentos adquiridos dialoguem com a realidade tornando possível perceber e lidar com fenômenos científicos no cotidiano, compreender a física como processo de construção histórico-social com suas contribuições culturais, econômicas e sociais. Para um ensino contextualizado, a física tem que se inter-relacionar com outras disciplinas sejam elas da área

de exatas quanto da área de humanas, pois somente assim o aluno poderá compreender a estrutura social e sua complexidade.

Desse modo, a elaboração de uma ponte de macarrão dialogará com o imaginário e a criatividade do aluno, com processos históricos e sociais, mais especificamente na época do Renascimento; e com o conteúdo do currículo do Estado de São Paulo.

Outra motivação para elaboração desse projeto se deve à dificuldade de assimilação do conteúdo de mecânica, mais especificamente na estática, pelos alunos do ensino médio. A priorização de resolução de dezenas de exercícios considerando-se geralmente os objetos como sendo pontuais, de dimensões desprezíveis. Situações envolvendo aplicações práticas da estática, em particular a estática dos corpos rígidos, de dimensões não-desprezíveis, raramente são utilizadas. Assim:

> As pontes de macarrão possibilitam a discussão sobre conceitos onde, muitas vezes, os estudantes apresentam dificuldades para aprendizagem como, por exemplo, as forças resultantes da interação entre dois planos e as condições de equilíbrio. Além disso, as pontes de macarrão podem fazer com que o estudante possa compreender as validades de alguns modelos ensinados ao longo do Ensino Médio (MERIZIO, 2010, Pg 27.).

Por fim, devido à potencialidade do projeto, podemos trazer a interdisciplinaridade entre física e artes para compreender o período Renascentista (que será o palco de nosso trabalho), focando na sua importância para o desenvolvimento da ciência e em gênios como Leonardo da Vinci, que projetou uma ponte em 1502 e foi construída na Noruega em 2001 (Ver Procedimentos).

> No Renascimento, não havia distinção entre os diferentes saberes, mas sim a crença de que o homem deveria desenvolver todas as áreas do saber para se tornar completo, um homem ideal. Dessa característica temos, por exemplo, Leonardo da Vinci que, além de pintor, era cientista, músico, poeta, engenheiro, botânico, inventor e matemático; representando o ideal do homem renascentista devido à multiplicidade de áreas de atuação e obsessão pela perfeição. As construções militares de Leonardo da Vinci como pontes, muralhas e invenções eram tão enobrecedoras quanto suas obras artísticas, ou seja, na época, as construções militares eram vistas como criação humana e consequentemente eram valorizadas como arte" (SCHÜTT, 2011, pg. 5)

METAS

Quantificar o universo a ser atingido

O trabalho será realizado com uma turma do primeiro ano do ensino médio (1 A e 1 B) pois será possível trabalhar os conteúdos de Mecânica (Leis de Newton e estática) que estão relacionadas no currículo do Estado de São Paulo.

A meta que pretendemos atingir é de 70% dos alunos.

Em relação aos objetivos, são eles:

- Compreender que a física faz parte de um contexto sociocultural
- Compreender, em contato com situações reais, os conteúdos propostos (Leis de Newton, Tensão e Compressão de Barras, força resultante e equilíbrio estático)
- Desenvolver o imaginário e a criatividade.

PROCEDIMENTOS

Descrever como vai executar o projeto

O presente projeto será dividido em três partes:

A primeira parte terá um total de 4 aulas (Aulas de Artes e História) e será relacionada a contextualização do projeto e a sua criação.

Na primeira aula, iremos entregar para cada aluno um artigo da Veja: "A Monalisa das Pontes". Esse artigo relata as diversas invenções que Leonardo da Vinci, na época do Renascimento, projetou e que foram concretizadas séculos depois, dentre elas está a construção da ponte que Leonardo da Vinci projetou em 1502 e que foi construída pela Noruega em 2001 pelo artista plástico Vebjorn Sand.

Os alunos lerão o artigo e abriremos a aula para uma discussão dialógica com enfoque nos seguintes pontos:

- Qual era a área de trabalho de Leonardo da Vinci? Pintor, mecânico, biólogo, físico, inventor e etc.?
- Porque muitos projetos não foram concluídos naquela época?
- A relação entre a ciência e as artes no Renascimento

Na próxima aula, iremos propor que os alunos montem grupos de 4 pessoas e projetem em uma folha de sulfite uma ponte que eles irão, posteriormente, montar. Diferentemente de

outras competições de pontes de macarrão no qual são feitos os cálculos da força e depois constroem a ponte, iremos partir do contrário, ou seja, iremos propor que os alunos projetem sua própria ponte utilizando a imaginação e sem o auxílio de contas para que eles sintam a dificuldade de se realizar o que está no papel.

O desenho da ponte terá que seguir as seguintes regras para que não haja desperdício de materiais e pontes demasiadamente complexas:

1) A ponte poderá apenas ter barras retas. Não é permitido o projeto de ponte com barras curvas.
2) Poderão ser usada no máximo 20 barras em cada lado da ponte.

A segunda parte está inteiramente mergulhada no criar. Essa parte terá de 2 a 4 a aulas (aulas de Física, Artes e História) e será efetivada a construção das pontes de macarrão pelos alunos. Nessa etapa, os alunos sentirão a dificuldade de transportar um projeto para a realidade. Por fim, faremos o campeonato de pesos (com a participação da comunidade), no qual a ponte que aguentar mais peso ganhará.

Algumas regras que serão seguidas na construção:

1) Economizar materiais para que todos tenham
2) As barras serão pré-moldadas com um total de 6 macarrões
3) O Durepox® (Servirá para colar) deverá ser utilizado apenas para juntar as junções das barras
4) Deverão ser feitas duas partes iguais da ponte para no fim juntá-las. Desse modo, teremos uma ponte em tridimensional.

A terceira parte será o pós-atividade com um total de 3 a 4 aulas (Aulas de Física e Matemática). Na primeira aula serão levantadas questões referentes à ponte como, por exemplo, o porquê de uma ponte aguentar mais peso que outras, será que o desenho da ponte influencia? Como a geometria, a matemática e a física podem nos ajudar no projeto de uma ponte? Quais as dificuldades de se construir uma ponte na época do Renascimento?

Nas duas próximas aulas, discutiremos a física (Leis de Newton, Tensão e Compressão de Barras, força resultante e equilíbrio estático) e a matemática (trigonometria) por trás das construções das pontes. Nessas aulas retomaremos tanto as discussões anteriores como

as descritas no parágrafo anterior quanto algumas discussões referentes ao desenvolvimento de pontes na atualidade.

Na última aula, teremos uma atividade avaliativa que conterá exercícios sobre forças, uma questão dissertativa sobre a ponte e o Renascimento e uma questão que trará três figuras de pontes na qual os alunos terão que opinar qual ponte tem um melhor design e porquê. A avaliação terá um caráter contínuo, não cabendo a essa atividade o valor de todo o projeto.

Cronograma			
Aulas	Pré-montagem	Montagem	Pós-Montagem
1°	x		
2°	x		
3°		x	
4°		x	
5°		x	
6°		x	
7°			x
8°			x
9°			x
10°			x

MATERIAIS

A sala tem em média 32 alunos. Serão formados grupos de 5-6 pessoas, totalizando 6/7 grupos. Para o projeto serão necessários:

- Aproximadamente 100 folhas sulfites

70 folhas= Utilizadas para impressão do artigo para as duas salas

18 = Utilizada para o desenho do grupo

12= Folhas reservas

- Aproximadamente 36 pacotes de macarrão Barilla® Espaguete n 7

Cada grupo usa aproximadamente 3 pacotes de macarrão para a construção da pontes.

- Aproximadamente 36 caixinhas de Durepox® de 250g

Cada grupo usa em média 3 caixas de Durepox® na montagem da ponte.

- Aproximadamente 7 fitas adesivas

Cada grupo usa aproximadamente 1 fita adesiva que servirá para juntar os 6 fios de macarrão para formar a barra

Observações referentes aos materiais

Todos os materiais descritos, salvo as folhas sulfites, podem variar de acordo com a sua utilização na confecção das pontes

Recursos Financeiros

1 Pacote de folha sulfite Chameguinho A4 com 100 folhas = R$4,90

36 Pacotes de Macarrão Barilla® Espaguete n 7 de 500g = R$ 212,04 (R$ 5,89 cada)

36 caixas de 250g de Durepoxi® = R$ 450 (R$ 12,50 cada)

7 Fitas Adesiva 12mm x 30m Flow Pack Transparente = R$ 18,34 (R$ 2,62 cada)

Valor Total= R$ 685,28

Bibliografia

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física,** Editora Ática, v. 1

BRASIL, MEC, SEMTEC. **PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília, 2002.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia. Saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra.

LARROSA. Jorge. **Pedagogia profana. Danças, piruetas e mascaradas**. Tradução: Alfredo Veiga-Neto. Belo Horizonte: Autêntica, 2006.

LARROSA, Jorge. **Linguagem e educação depois de babel**. Tradução: Cyntia Faria. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

MERIZIO, Anaximandro Dalri. **Pontes de Macarrão: Uma alternativa para o ensino de estática.** Física na escola, v.11, n.2, 2010

REIS, José Claudio; GUERRA, Andréia; BRAGA, Marco. **Física e Artes: A Construção do Mundo com Tintas, Palavras e Equações**. São Paulo: Ciência e Cultura, 2005. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br

SCHÜTT, Kleber Roberto. **Ciência, Arte e Educação: Uma abordagem interdisciplinar entre as artes e a física do Século XVI ao XVII.** Snef 2011, Manaus, AM.

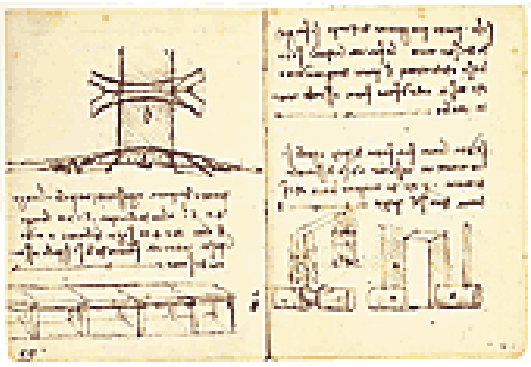
ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução: Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZANETIC, João. **Física também é cultura.** Tese de doutorado. FEUSP. 1989.

ANEXO A

A MONALISA DAS PONTES

Juliana Saboia



A obra e o projeto: Da Vinci sobre uma rodovia escandinava

O legado de Leonardo da Vinci não se esgota no sorriso enigmático da *Mona Lisa*, a obra-prima exposta no Museu do Louvre, em Paris. O maior gênio do Renascimento também deixou uma série de projetos de máquinas, edificações e veículos que fascinam pelo arrojo tecnológico e não chegaram a ser construídos. Há duas semanas, um desses projetos tornou-se realidade na Noruega. Trata-se de uma ponte projetada por Da Vinci em 1502, erguida na cidade norueguesa de Aas. Apesar dos cinco séculos decorridos, a leveza e a elegância das formas são dignas da arquitetura moderna. A ideia original de Da Vinci era construí-la com blocos de pedras sobre o Estreito de Bósforo, entre a Europa e a Ásia. Teria 240 metros de comprimento. Ao ver os desenhos, com seus arcos longilíneos e estreitos, o sultão Bayezid II decidiu arquivar a ideia. O grupo de arquitetos e engenheiros noruegueses que retomou o projeto substituiu a pedra pela madeira laminada e reduziu o comprimento para 100 metros. A estrutura funciona como uma passarela para pedestres sobre a autoestrada que liga Oslo, na Noruega, e Estocolmo, na Suécia.

O projeto da ponte sobre o Bósforo acabou perdido e só foi recuperado na década de 50, quando pesquisadores descobriram os planos em meio a uma coleção de estudos e maquetes de Da Vinci. O artista plástico Vebjorn Sand, que liderou a campanha pela construção da ponte, fascinou-se com o projeto ao vê-lo numa exposição, há seis anos. A obra custou 1,3 milhão de dólares e contou com a ajuda do governo da Noruega. A estrutura da ponte é formada por três arcos que se apoiam mutuamente e sustentam a passarela para pedestres. O sistema idealizado por Da Vinci antecipa um conceito básico de engenharia, que só seria comprovado cientificamente 300 anos mais tarde. É o princípio da compressão dos arcos e estabelece que, quanto maior a distância que separa os extremos de um arco, maior sua capacidade de suportar o peso. "Arcos longos eram inconcebíveis no tempo de Da Vinci, mesmo porque havia sérias limitações de material e tecnologia para construí-los", explicou Sand a VEJA.

Paraquedas do Renascimento: cordas, algodão e madeira

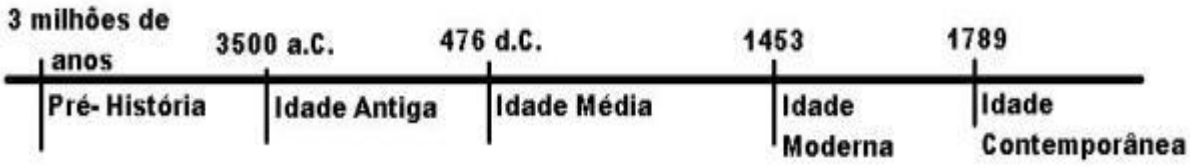
Leonardo da Vinci realizou estudos em áreas tão diversas como anatomia, aeronáutica e tecnologia bélica. Muitos de seus projetos acabaram catalogados como curiosidade e outros, de tão grandiloqüentes, foram esquecidos e só agora começam a ser recuperados. Há um ano, o inglês Adrian Nicholas construiu um pára-quedas projetado em 1485, usando o tipo de material existente no tempo de Da Vinci. Esse ancestral do pára-quedas funcionou perfeitamente num salto experimental na África do Sul. Há cinco anos, um empresário americano bancou a fundição de um cavalo de bronze de 7 metros de altura, inicialmente projetado para enfeitar um monumento à família Sforza, em Milão, que nunca foi construído. De tão bonito, o cavalo atiçou a cobiça da prefeitura de Milão, que encomendou uma réplica para instalar em um parque da cidade.

Fonte: http://veja.abril.com.br/141101/p_076.html

Anexo B

Relatório da Prof. Simoni

1) APRESENTAÇÃO DA LINHA DO TEMPO, LOCALIZANDO NA IDADE MODERNA:



Quando falamos de história geral, um dos temas que geram mais dúvidas na cabeça do estudante é Renascimento. Geralmente, os diversos livros sobre o tema fazem com que o assunto fique mais complicado do que realmente é, impedindo a compreensão plena da matéria. No conteúdo da aula foi explicado Renascimento de uma forma objetiva e direta, com uma variedade de slides.

Assuntos abordados:

- As transformações artísticas, científicas e literárias como produto de um tempo e das relações econômicas e sociais de um momento histórico.

- Transição do feudalismo para capitalismo

O ideal foi partir do conceito de Renascimento e do porque a Itália foi o berço deste movimento artístico. Mas que o Renascimento foi além de artístico (pintura, escultura e música) como também científico, literário e arquitetônico.

Elaborei uma apresentação de PowerPoint sobre alguns pintores e escultores para estimular a curiosidade dos alunos.

Fiz uma comparação entre o mundo medieval e o mundo renascentista para que o aluno possa tirar suas próprias conclusões sobre as mudanças. Neste momento se torna significativo analisar a questão econômica que estimulou o surgimento dos mecenas e vincular as grandes navegações e a tecnologia para se descobrir a América, que foi desenvolvida ou recriada neste período.

Abordei:

As características gerais do Renascimento:

* Racionalidade, harmonia e equilíbrio artístico

* Valorização do Ser Humano e do corpo

* Rigor Científico e de beleza artística

* Ideal Humanista

* Busca dos ideais artísticos das artes greco-romana

O mais interessante foi analisar obras e depois reproduzi-las em quadros vivos.

ANEXO C

Relatório do Prof. Fábio

Conteúdos previstos

- Origem do Renascimento
- Características e fatores
- Crise política
- A Guerra dos 100anos

Objetivos Específicos

Identificar relações sociais no próprio grupo de convívio, na localidade, na região e no país bem como outras manifestações estabelecidas em diferentes tempos e espaços. Conhecer e respeitar o modo de vida de diferentes grupos, em diversos tempos e espaços, em suas manifestações culturais, econômicas, políticas e sociais, reconhecendo semelhanças e diferenças entre eles.

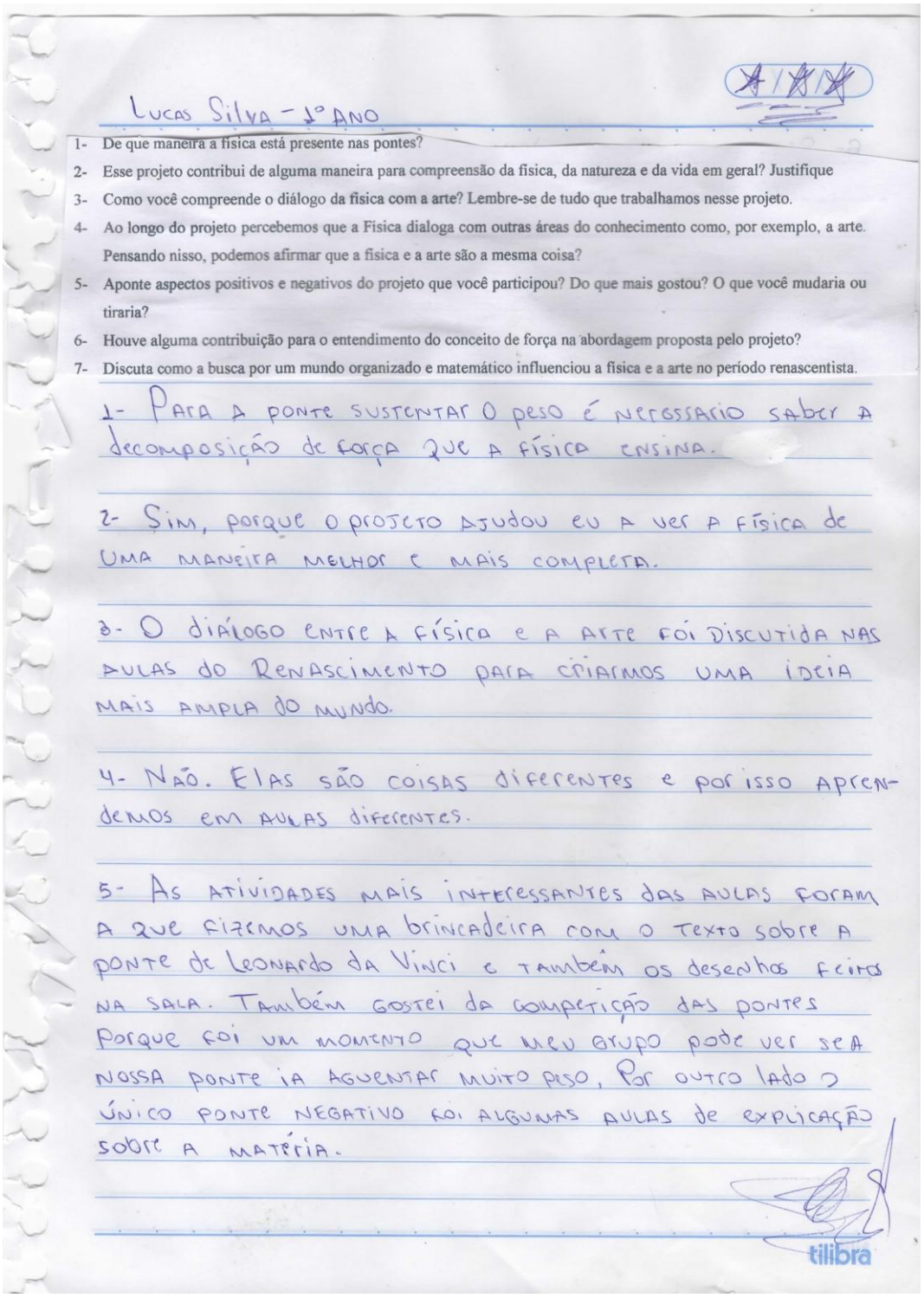
Desenvolvimento

Os alunos tinham como objetivo estabelecer relações - não mecânicas - entre o Renascimento cultural e as transformações socioeconômicas verificadas na Europa no início da Idade Moderna. Dentro das limitações de um livro didático, procurou-se mostrar as características particulares do Renascimento em outros países, além da Itália, onde o movimento encontrou situação muito propícia para se desenvolver. Tratou-se também do Renascimento nas ciências, não menos importante que o artístico. O conteúdo iniciou-se com as características do Renascimento, que foram dispostas em tópicos (humanismo, racionalismo, otimismo etc.), mas lembrou-se aos alunos que essa divisão é apenas um recurso didático para facilitar a compreensão, e que essas características não devem ser buscadas esquematicamente nas obras e no pensamento renascentista, uma vez que elas se associam e se influenciam mutuamente.

ANEXO D

Exemplos de questionários respondidos

Estudante 1



Lucas Silva - 1º ano

1- De que maneira a física está presente nas pontes?
2- Esse projeto contribui de alguma maneira para compreensão da física, da natureza e da vida em geral? Justifique
3- Como você compreende o diálogo da física com a arte? Lembre-se de tudo que trabalhamos nesse projeto.
4- Ao longo do projeto percebemos que a Física dialoga com outras áreas do conhecimento como, por exemplo, a arte. Pensando nisso, podemos afirmar que a física e a arte são a mesma coisa?
5- Aponte aspectos positivos e negativos do projeto que você participou? Do que mais gostou? O que você mudaria ou tiraria?
6- Houve alguma contribuição para o entendimento do conceito de força na abordagem proposta pelo projeto?
7- Discuta como a busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista.

1- Para a ponte sustentar o peso é necessario saber a decomposição de força que a física ensina.

2- Sim, porque o projeto ajudou eu a ver a física de uma maneira melhor e mais completa.

3- O diálogo entre a física e a arte foi discutida nas aulas do Renascimento para criarmos uma ideia mais ampla do mundo.

4- Não. Elas são coisas diferentes e por isso aprendemos em aulas diferentes.

5- As atividades mais interessantes das aulas foram a que fizemos uma brincadeira com o texto sobre a ponte de Leonardo da Vinci e também os desenhos feitos na sala. Também gostei da competição das pontes porque foi um momento que meu grupo pode ver se a nossa ponte ia aguentar muito peso, Por outro lado o único ponte negativo foi algumas aulas de explicação sobre a matéria.

/ /

6- Sim, o projeto ajudou eu a entender melhor o conceito de força que já tinha visto antes.

7- O projeto me fez entender melhor como a física organiza o mundo.

tilibra

Estudante 2

Nome: Bruna de Oliveira

Respostas

1- De que maneira a física está presente nas pontes?

2- Esse projeto contribui de alguma maneira para compreensão da física, da natureza e da vida em geral? Justifique

3- Como você compreende o diálogo da física com a arte? Lembre-se de tudo que trabalhamos nesse projeto.

4- Ao longo do projeto percebemos que a Física dialoga com outras áreas do conhecimento como, por exemplo, a arte. Pensando nisso, podemos afirmar que a física e a arte são a mesma coisa?

5- Aponte aspectos positivos e negativos do projeto que você participou? Do que mais gostou? O que você mudaria ou tiraria?

6- Houve alguma contribuição para o entendimento do conceito de força na abordagem proposta pelo projeto?

7- Discuta como a busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista.

1- A ponte fica em pé através da força que os pilares fazem para sustentar ela. A física estuda a força desses pilares para saber quanto a ponte aguenta de peso.

2- Sim, eu acredito que o projeto contribuiu para ver como a física pode estar em lugares que nem imaginávamos. Nas aulas aprendi melhor como uma ponte funciona através da física.

3- Eu compreendo que a física dialoga com a arte do Renascimento. Por exemplo, o jeito de pensar da física influenciou os artistas na maneira como eles desenhavam.

4- Sim.

5- Esse projeto trouxe muitas coisas interessantes para mim. Eu sempre achei que a física era contas e fórmulas,

mas percebi nessas aulas que ela pode trazer outras coisas interessantes. Um aspecto positivo que me chamou atenção foi a construção da ponte que fizemos no final do projeto. Foi interessante passar pelo processo de projeto, criação e no fim testar nossa criação. A competição foi outra atividade bem interessante e divertida porque nós pudemos ver quanto nossas pontes aguentaram na competição que fizemos na sala de aula. Na competição eu achei que a ponte campeã ganhar porque estava com muita cola e isso influenciou tudo. Para mim, a aula que fizemos o desenho em perspectiva foi desnecessário pensando que apenas desenhamos uma cadeira nessa aula e não há utilizamos para nada na construção da nossa ponte. Penso que se começarmos pela ponte seria mais interessante e legal porque os alunos teriam mais interesse na física.

6- Acabo que o projeto feito pelo professor trouxe a matéria sobre força que já tinha visto em aulas anteriores. Mas eu nunca imaginei que a gente poderia trabalhar essa mesma aula de maneira diferente. Eu gostei e aprendi mais nesse projeto do que nas aulas que tivemos antes dele.

7- Eu vejo que a física busca um mundo organizado, igual a arte busca. Essa busca influencia a arte, a física e outras matérias também.

Estudante 3

/ /

GABRIEL MONTENEGRO DOS SANTOS 1º ANO E.M.

1- De que maneira a física está presente nas pontes?
2- Esse projeto contribui de alguma maneira para compreensão da física, da natureza e da vida em geral? Justifique
3- Como você compreende o diálogo da física com a arte? Lembre-se de tudo que trabalhamos nesse projeto.
4- Ao longo do projeto percebemos que a Física dialoga com outras áreas do conhecimento como, por exemplo, a arte. Pensando nisso, podemos afirmar que a física e a arte são a mesma coisa?
5- Aponte aspectos positivos e negativos do projeto que você participou? Do que mais gostou? O que você mudaria ou tiraria?
6- Houve alguma contribuição para o entendimento do conceito de força na abordagem proposta pelo projeto?
7- Discuta como a busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista.

1- A FÍSICA É NECESSÁRIO PARA PODEMOS CRIAR PONTES. SEM A FÍSICA NÃO SERIA POSSÍVEL SABER COMO DEVERIA SER A PONTE E QUANTO ELA AGUENTARIA.

2- SIM. ESSE PROJETO ME AJUDOU A COMPREENDER MELHOR COMO UMA PONTE FUNCIONA.

3- EU COMPREENDO QUE A ARTE E A FÍSICA FORAM USADAS PARA TRABALHAR O PROJETO DA PONTE DE MACARRÃO E EM SEGUIDA PARA A COMPETIÇÃO. SEM ELAS NÃO SERIA POSSÍVEL CONSTRUIRMOS A PONTE.

4- NÃO, ELAS NÃO SÃO IGUAIS

5- OS PONTOS POSITIVOS DO PROJETO FORAM A COMPETIÇÃO DA PONTE E A AULA QUE O PROFESSOR USOU SIMULADOR PARA MOSTRAR A DIFERENÇA ENTRE A TERRA ESTAR NO CENTRO OU O SOL. NÃO HOUVE PONTOS NEGATIVOS

tilibra

/ /

6) SIM, CONTRIBUIU

7) A MATEMÁTICA USADA NO RENASCIMENTO INFLUENCIOU A FÍSICA E A ARTE NO MUNDO.

tilibra

Estudante 4

DATA / /

Nome: Victor Guimarães 1º EM

1- De que maneira a física está presente nas pontes?
2- Esse projeto contribui de alguma maneira para compreensão da física, da natureza e da vida em geral? Justifique
3- Como você compreende o diálogo da física com a arte? Lembre-se de tudo que trabalhamos nesse projeto.
4- Ao longo do projeto percebemos que a Física dialoga com outras áreas do conhecimento como, por exemplo, a arte. Pensando nisso, podemos afirmar que a física e a arte são a mesma coisa?
5- Aponte aspectos positivos e negativos do projeto que você participou? Do que mais gostou? O que você mudaria ou tiraria?
6- Houve alguma contribuição para o entendimento do conceito de força na abordagem proposta pelo projeto?
7- Discuta como a busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista.

1- A física está presente na ponte pela sustentação dela. A sustentação funciona por pilares e cordas que ficam embaixo em cima das pontes. Esses pilares e cordas seguram todo o peso da ponte que é distribuído igualmente pela decomposição de forças para não haver muito peso de um lado e a ponte cair.

2- Sim, ajudou a aprender melhor a física.

3- A física está presente na arte quando ~~precisi~~ precisamos projetar algo, pintar algo e coisas. Essas duas estavam presentes no renascimento e o pensamento de uma modificou a outra e o contrário também.

4- Sim pq vimos em sala que elas tratam da mesma coisa na época do renascimento.

5- O ponto positivo do projeto foi a construção da ponte

S T Q Q S S D DATA / /

e o ponto negativo presente no projeto foi algumas ~~aulas~~ aulas em que o professor explicava.

6- Sim, ajudou a entender melhor as coisas.

Estudante 5

Luiza Neves, 1º E.M.

1- De que maneira a física está presente nas pontes?
2- Esse projeto contribui de alguma maneira para compreensão da física, da natureza e da vida em geral? Justifique
3- Como você compreende o diálogo da física com a arte? Lembre-se de tudo que trabalhamos nesse projeto.
4- Ao longo do projeto percebemos que a Física dialoga com outras áreas do conhecimento como, por exemplo, a arte. Pensando nisso, podemos afirmar que a física e a arte são a mesma coisa?
5- Aponte aspectos positivos e negativos do projeto que você participou? Do que mais gostou? O que você mudaria ou tiraria?
6- Houve alguma contribuição para o entendimento do conceito de força na abordagem proposta pelo projeto?
7- Discuta como a busca por um mundo organizado e matemático influenciou a física e a arte no período renascentista.

Respostas

1-) A física está presente em toda a engenharia, principalmente na ponte já que para que a estrutura aguente grandes massas, vários cálculos complexos devem ser feitos

2-) Sim

3-) A arte e a ciência estão em constante diálogo. Ambas estão sempre em processo de renovação com o passar do tempo

4-) A física não é a mesma coisa que a arte, mas essas duas matérias se relacionam em alguns pontos como no Renascimento, onde vemos a influência de uma na outra

5-) Ponto positivo: construção da ponte
Ponto negativo: nenhum

6-) Houve contribuição para eu entender o conceito de força, porquê entendi que a força está presentes em objetos do dia-dia

7-) Durantes as aulas, discutimos sobre como uma ideia influência diversas áreas, mudando a maneira como o homem vê o mundo e a

REAL BAD BOY RECYCLE

Sua volta. Isso também aconteceu na física e na arte.