UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Regras de inferência e teorias científicas

Duas propostas de soluções lógico-probabilísticas para a afirmação do consequente na verificação de teorias e algumas aplicações no ensino de Ciências

Leandro Daros Gama

Orientador: Professor João Zanetic

São Paulo

2016

Universidade de São Paulo

Instituto de Física
Faculdade de Educação
Instituto de Biologia
Instituto de Química

Regras de inferência e teorias científicas

Duas propostas de soluções lógico-probabilísticas para a afirmação do consequente na verificação de teorias e algumas aplicações no ensino de Ciências

Inference rules and scientific theories

Two proposals of logical-probabilistic solutions to the affirming consequent in the verification of theories and some applications in science teaching

Leandro Daros Gama

Tese submetida à banca de Defesa para obtenção do título de Doutor pelo Programa Interunidades em Ensino de Ciências

Orientador: Professor João Zanetic

Palavras-chave: Educação, Filosofia da Ciência, Epistemologia, Lógica

Keywords*: Education, Philosophy of science, Epistemology, Logic*

São Paulo

2016

Financiamento parcial:
Instituto Federal de São Paulo

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

Gama, Leandro Daros

Regras de inferência e teorias científicas: duas propostas de soluções lógico-probabilísticas para a afirmação do consequente na verificação de teorias e algumas aplicações no ensino de ciências. São Paulo, 2016.

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

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Educação; 3. Filosofia da ciência; 4. Lógica; 5. Epistemologia.

USP/IF/SBI-049/2016

A Deus, Bom, Justo, Único e Verdadeiro,
a quem agradeço e dedico todas as coisas.

Sumário

		Agradecimentos	001
		Resumo	002
		Abstract	003
I		**Introdução**	**004**
I.1		Motivação	004
I.2		Objetivos	008
I.3		Metodologia	009
I.4		Linguagem e outras definições da escrita	010
I.5		Notações, abreviações e outras convenções	014
II		**Quadro teórico**	**016**
II.1		O que é Lógica	016
II.2		Uma brevíssima e possível história da Lógica	020
II.3		Lógica proposicional	021
II.4		Tabelas-verdade	022
II.5		A implicação material como fato intuitivo	024
III		**Regras de inferência clássicas aplicadas à Epistemologia: Alguns problemas e propostas de soluções**	**028**
III.1		O *Modus Ponens* e o *Modus Tollens*	030
III.2		Um problema fundamental do conhecimento	032
III.3		Duas falácias: a afirmação do consequente e a negação do antecedente	036
	III.3.a	A falácia da afirmação do consequente	036
	III.3.b	A falácia da negação do antecedente	037
III.4		A afirmação do consequente como tentadora na prática científica	040
III.5		Teoremas sobre a probabilidade de uma teoria ser verdadeira dado seu sucesso preditivo	044
	III.5.a	O Teorema de Bayes e a hipótese de Stalnaker	046
	III.5.b	Um teorema de implicação material	050

		III.5.c	Um parêntese: interpretação probabilística do princípio de indução	054
	III.6		A verificação experimental de uma teoria como exemplo de raciocínio abdutivo	055
	III.7		Os "paradoxos" da implicação material e as "teorias-sereias"	058
		III.7.a	Superando os "paradoxos"	062
		III.7.b	Novamente a falácia da negação do antecedente	065
		III.7.c	O poder preditivo de uma teoria falsa	066
		III.7.d	O canto das sereias: sedução e afogamento	072
	III.8		Breve comentário sobre Teorias da Verdade	075
	III.9		O critério de Nicod e o paradoxo de Hempel	082
	III.10		O paradoxo do monte de areia (ou Problema da Vagueza)	087
	III.11		Mais alguns exemplos aplicados à Física	094
		III.11.a	O problema da matéria escura	095
		III.11.b	A equação geral da onda unidimensional	101
		III.11.c	A longevidade dos mésons relativísticos e alguns propósitos educacionais	115
		III.11.d	Generalizões e estética: falácia, prática científica, razão, natureza e alma humanas (uma breve digressão sobre temas não tão desconexos)	122
IV			**Ensaios aplicados**	**127**
	IV.1		Introdução em tom pessoal	127
	IV.2		Senso crítico e debate	127
	IV.3		Educação racional como instrumento de combate a preconceitos	132
	IV.4		Um desafio: duvidar do que é óbvio	137
	IV.5		Educação, equilíbrio e amor	142
	IV.6		Exemplos no ensino de Ciências	144
		IV.6.a	"Não dividirás por zero..."	144
		IV.6.b	O formalismo pode ser útil e mesmo necessário	147
		IV.6.c	As experiências das rodas	148
		IV.6.d	A assimetria das implicações	151

	IV.6.e	Grandezas, unidades e a homogeneidade das equações da Física	152
V		**Reflexões finais**	**156**
V.1		Razão, emoção, fé e intuição: há espaço para todas	156
V.2		Racionalizar cabe apenas no “mundo dos cientistas” e nas aulas de ciências?	161
V.3		O ensino de Ciências	166
		Referências Bibliográficas	**174**

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, o Referencial diante do qual todo pensamento, toda razão e toda verdade se estabelecem (*O Logos estava, desde o Princípio, voltado para Deus* – João 1:1), sem o Qual nenhuma ontologia poderia ter sentido, sem Quem as Leis da razão, as regras de inferência da Lógica ou os princípios fundamentais que regem o Universo não teriam qualquer chance de existência, *Aquele que É* (Êxodo 3:14), porque tão indescritível Entidade nem sequer pode ser reduzido a dizermos “Ele(a) existe”, porque é pouco atribuir existência Àquele(a) que é o próprio mantenedor e a causa da própria Existência. Se é difícil o saber humano alcançar o mistério de como podem mente e consciência emergirem da matéria, é porque possivelmente invertemos o sentido das coisas quando, na verdade, bem pode ser que espaço, tempo, matéria e energia tenham emergido a partir de uma Mente ou Consciência atemporais e que precedem, por Sua própria natureza eterna, tudo o mais que existe. A Tal Ser que a razão acusa, que a intuição reconhece e que a emoção acolhe no fenômeno que tão falsamente chamamos de “fé”, dedico tudo o que sou, agradeço tudo o que possuo, porque eu O(A) amo e nem poderia ser diferente.

Em segundo lugar, agradeço a toda a minha família: minha mãe, meu pai, minha irmã e minha esposa. Amo cada um de maneira muito especial!

Agradeço muito aos amigos, colegas, pessoal da USP (amigos, companheiros de estudos, funcionários, professores e colegas do Corredor do Ensino) e irmãos da Igreja, incluindo: professores João Zanetic (com gratidão e carinho imensos), Osvaldo Pessoa, Artur Tomita, Edélcio Gonçalves, L. C. de Menezes e Caetano Ernesto; Thiago, Cláudio O. M., Shirlene, Ieda, Leandro A., Marcia, Pr. Jadai, Pr. Paulo Saraiva, Leandro G. de Carvalho, Ki Ok, Pe. Hélio, Pr. Volni, Pr. Fábio, Tunísia, Jucivagno, Airaê, Bete, Silvia de Saito, colegas do IFSP (e à instituição, que me concedeu licença remunerada para terminar este trabalho), amigos da USP, todo o pessoal da paróquia S. F. de Paula e S. Benedito, da Comunhão Batista em ZS, da Igreja Luterana Livre e Independente (RS) e da Igreja Batista em Jd. S. Judas. Recebam todos meu carinho e minhas orações...

Resumo

Considerando que a literatura atual da área de Educação aponta a necessidade de se ensinar *sobre* ciências, isto é, enfatizando a natureza histórica, humana e provisória do conhecimento científico, preocupamo-nos, neste trabalho, com a explicitação da estrutura "lógica" de algumas formas de inferência usadas na prática científica, com dupla intenção: investigar em pormenores os processos pelos quais se pode chegar a certas conclusões científicas, a fim de esclarecer aspectos lógico-epistemológicos desses processos, e apontar como e por que tais pormenores não podem ser excluídos das aulas de ciências. A principal forma de inferência investigada foi a da *abdução* que, na prática científica pode estar presente em situações onde o sucesso preditivo de uma teoria é apontado como evidência em favor desta, o que, a rigor, equivale a aplicar a falácia formal da afirmação do consequente. Encontramos dois modos de justificar essa inferência em uma abordagem probabilística da forma "se há sucesso de uma previsão teórica, então a probabilidade de a teoria ser 'correta' sofre um incremento quantificável", com teoria de Probabilidades e o teorema da dedução: um aplicando o teorema de Bayes à hipótese de Stalnaker (ou a tese de Adams) e outro usando a tabela-verdade da implicação material, concluindo, em ambos, que a probabilidade de o sucesso da previsão *E* de uma teoria *T* poder ser usado como sinal em favor desta é uma função que cresce tanto com o valor da probabilidade de que a teoria resulte em tal previsão quanto com o valor da própria probabilidade de *T* e decresce com a probabilidade de *E*, o que está matematicamente de acordo com a expectativa intuitiva. Ao longo do texto, mostramos que a explicitação desse tipo de raciocínio constitui elemento útil para a formação dos educandos para que tenham efetivo entendimento da natureza do conhecimento e mesmo para embasar raciocínios aplicados à vasta gama de fenômenos do cotidiano, desde inferências simples até conclusões mais complexas como política ou moral.

Abstract

Whereas the current literature in Education area points to the need to teach ABOUT sciences, that is, emphasizing the historical, human and provisional nature of scientific knowledge, we are concerned in this paper with the explanation of the "logic" structure of some inference forms used in scientific practice, in order to: investigate in detail and clarify logical-epistemological aspects of the processes by which we obtain certain scientific conclusions, and point out how and why this details can not be excluded science classes. We investigated the inference by abduction that in scientific practice may be present in situations where the predictive success of a theory is touted as evidence for this, which, strictly speaking, is applying formal fallacy of affirming the consequent. We have found two ways to justify this inference in a probabilistic approach of the form "if there is success of a theoretical prediction, then the probability of the theory to be 'correct' undergo measurable increase" with Probability theory and the deduction theorem: one applying Bayes' theorem to the hypothesis Stalnaker (or Adams thesis) and another using the truth table of material implication, concluding on both the probability of the success of prediction E of a theory T can be used as signal please T (or "prob(E pleases T)") is a function that increases both prob(from T deduces E) and prob(T) and decreases with prob(E), what is mathematically according to intuitive expectations. Throughout the text, we show that the identification of this kind of reasoning is useful element for the training of students to have effective understanding of the nature of knowledge and even to support reasoning applied to the wide range of everyday phenomena, from simple inferences to more conclusions complex as a political or moral.

I. Introdução

(em primeira pessoa)

> *E a primeira reformulação é a do conhecimento científico, que não é uma revelação, mas a elaboração de instrumentos para* atuar *no processo e redigi-lo ou modificá-lo.*
>
> (TEIXEIRA, 2007, p. 41)

I.1. Motivação

Esta tese nasceu de um interesse já antigo, que vinha sendo desenvolvido desde minha dissertação de Mestrado: discutir a natureza da ciência, no intuito de - dalgum modo - contribuir para que questionamentos sobre esse tema estendam-se para muito além dos círculos de epistemólogos.

Se é verdade que grandes avanços foram obtidos, sobretudo nos últimos cem anos, em Lógica, Epistemologia e outras áreas correlatas, fazendo com que a humanidade crescesse em conhecimento, é verdade, também, que não apenas cresceu nosso conhecimento, mas nosso "meta-conhecimento", ou nosso conhecimento sobre o nosso conhecer: questões como "o que é conhecimento?", "como obtemos conhecimento?", "podemos ter certeza de algo?", "quanto podemos confiar no que pensamos saber hoje sobre o universo?" receberam - se não respostas finais - ao menos esclarecimentos surpreendentes.

Sem dúvida, se houve revoluções como a Relatividade e a Teoria Quântica na Física, houve revoluções no mínimo tão profundas em nosso conhecimento sobre Epistemologia e Lógica. Só para citar um exemplo de grande vulto: "os *teoremas de incompletude de Gödel, que falam da impossibilidade de uma teoria com certas características* [a saber, uma teoria que contenha determinados elementos da Aritmética (RODRÍGUEZ-PEÑA, 2010, p. 386)] *ser ao mesmo tempo* *consistente e completa, uma vez que, sendo consistente, não se pode provar sua consistência*" (*Id. Ibid.*; NETTO, 2011, p. 133), são pelo menos tão marcantes para a história da Lógica quanto a noção de que o tempo é relativo, a Dualidade Onda-Partícula ou o Princípio de Incerteza o são para a Física.

Talvez os teoremas de Gödel (1906-1978) tenham consequências ainda mais profundas, porque a Física certamente não é uma ciência à parte da Lógica. Ao contrário: as ciências naturais dependem de modo vital da Lógica e da Aritmética.

Mas se é verdade que tanto avançou nosso conhecimento de Lógica e de Epistemologia, infelizmente é verdade que esses avanços (como infelizmente é comum nas diversas áreas do conhecimento) ficaram restritos a serem conhecidos por um círculo muito pequeno de iniciados nos "mistérios" da Epistemologia. E essa situação fica ainda pior: estão de fora desse círculo não apenas os cidadãos alheios à Ciência (os não-cientistas), mas os próprios profissionais de áreas acadêmicas (isto é, de pesquisa): os professores de ciências (de todos os níveis) e os vulgos "cientistas". Por paradoxal que possa parecer, é muito comum que encontremos verdadeiras "heresias" epistemológicas sendo registradas em manuais acadêmicos ou proferidas em aulas e palestras de eminentes pesquisadores. Coisas como "Seguimos o método científico inventado por Galileu" ou "Isso está, de modo definitivo, provado cientificamente" (cf. DAROS-GAMA, 2011, *passim*) são clichês bastante comuns.

Se pensarmos que o fazer consciente é superior ao fazer inconsciente - isto é, a atividade realizada com autocriticidade apresenta-se superior àquela feita sem tal qualidade - então temos motivo para lamentar que professores e pesquisadores tenham pouco conhecimento de Epistemologia, uma vez que isso provavelmente redundará em que os trabalhos de tais pesquisadores sejam frutos de uma atividade estereotipada e, com isso, carreguem vícios.

Como "estereotipado" entendo aquilo que é uma imitação. Estereótipos frequentemente funcionam e não é por menos que dalgum modo nossos cérebros parecem ter evoluído (ou talvez "involuído", dependendo do que esperaríamos obter com o avanço do pensamento; mas isso é outro assunto) para acomodar muito bem os estereótipos, já que, com efeito, estes têm um papel inegável em nossa comunicação: é comum que ideias generalizadas e mesmo preconceituosas estejam presentes mesmo nos discursos das mentes mais progressistas e, se abdicássemos mesmo do menor grau de generalização ou estereotipação, desconfio que nossa capacidade de pensar ou comunicar pensamentos seria reduzida à quase nulidade.

Mas embora os estereótipos tenham algum valor e não possamos deles prescindir, nada disso nos obriga a não questioná-los. E o fazer científico talvez seja uma das atividades em que os questionamentos deveriam estar presentes de modo excelente (digo: a atividade científica seria um dos autoquestionamentos por excelência). É como o respirarmos oxigênio: por um lado, sem ele não poderíamos manter-nos vivos; por outro, é o oxigênio que nos leva ao envelhecimento celular e, consequentemente, à morte certa.

Pedir que um cientista faça seu trabalho sem admitir qualquer princípio ou dogma é exigir-lhe que pare de pensar. Mas o pensamento é tão mais rico quanto mais somos capazes de rever ou minimizar os passos e princípios que utilizamos. De certo modo, esse é um famoso critério para selecionar “boas” teorias (usei a palavra “boas” para um resguardo tipicamente anti-realista, a fim de não assumir o compromisso de usar a palavra “verdadeiras”).

Se conseguimos convencer o leitor de que o trabalho científico deveria ser um trabalho engajado em auto-revisão ou autocontestação, então talvez também o tenhamos convencido de uma conclusão quase derivada dessa: se a Epistemologia é uma forma legítima de produzir metaciência ou algo que o valha, como supomos que seja, então nenhum cientista deveria desconhecer ao menos alguns tópicos fundamentais dessa “ciência das ciências”. Se para formarmos professores queremos que nossos futuros docentes pensem e repensem a prática do ensinar e, a fim de conseguir esse intento, não concebemos a formação docente sem um grande arcabouço teórico da área de Educação, é igualmente inconcebível - por analogia - formarmos cientistas sem apresentá-los aos quadros teóricos da História e Filosofia do Conhecimento. Infelizmente, contudo, nossos currículos de cursos onde são formados cientistas e professores de ciências, carecem desse tipo de estudo, desde a graduação (bacharelados e licenciaturas) até os mestrados e doutorados. (Também falta na formação dos acadêmicos o preparo pedagógico para a docência, que muitos seguirão no ensino superior - mas não cabe aqui debater esse assunto; apenas não quisemos perder a oportunidade de chamar a atenção para esse fato).

Toda essa argumentação tem um propósito: gostaria que o leitor - possivelmente um docente ou licenciando - concordasse comigo no seguinte: os tópicos fundamentais de História e Filosofia da Ciência estão ausentes na esmagadora maioria de nossos currículos de formação científica - desde a escola básica até os cursos de doutorado - e isso é um problema que precisa ser corrigido. E, chegando ao final deste ensaio, esperaria que o leitor concordasse que alguns elementos da lógica informal ou da sistematização do pensamento (com auxílio das regras de inferência clássicas) podem vir a somar-se a essa lista de temas que merecem fazer-se presentes.

Como esperamos expor ao longo deste ensaio, existem diferentes formas de raciocínio ou inferência: a dedução, que extrai conclusões a partir das premissas, e que é o foco de estudo da Lógica enquanto ciência; a indução, que busca descobrir um princípio regular (que sempre acontece) a partir de vários fenômenos repetidos (por exemplo: *se o Sol tem nascido todos os dias, então ele nascerá amanhã*); a abdução, que procura a melhor explicação para um fato (por exemplo: *o pátio está todo molhado; portanto, deve ter chovido*).

Existem, ainda, regras de inferência muito úteis para se poder levar a cabo o raciocínio dedutivo (cf., p. ex., MORTARI, 2001, p. 146); porém, como a maioria das pessoas deve supor, isso não é suficiente para guiar o cientista em seu trabalho, de modo que este precisa recorrer a outras fontes de conhecimento que não apenas a Lógica: observações, abduções, induções e mesmo intuições, suposições etc.

Uma das coisas que pretendemos mostrar, neste Ensaio, é que o raciocínio abdutivo (em especial, além de algumas outras nuances do fazer científico), embora não possa ser levado a cabo apenas com base rigorosa nas regras de inferência lógicas, pode ser justificado de modo compatível com itens da

Lógica usual estendidos sob o auxílio de outras áreas (em especial, o estudo das Probabilidades).

O segundo interesse motivador permeia e está tacitamente no plano de fundo do primeiro: somar alguns argumentos e sugestões ao coro da literatura de Ensino de Ciências que defende a presença da Epistemologia na sala de aula, em particular, para favorecer a formação do senso crítico, até mesmo político do sujeito, no sentido de capacitar o educando a situar a Ciência em um panorama racional; por exemplo, nos ajudando a dimensionar quanta confiança podemos ter em uma teoria pelo fato de ela ter apoio dos resultados experimentais, quanto podemos confiar em uma explicação como única possível para determinado fenômeno ou mesmo quanto podemos depositar fé nas "verdades" científicas.

I.2. Objetivos

Traduzo os interesses e motivações anteriormente expostos em dois objetivos básicos:

1. Apontar inferências típicas do fazer científico (nomeadamente, a inferência por abdução) que são, num primeiro contato com o rigor lógico, falaciosas, para discutir perspectivas de soluções (em geral, por meio de uma abordagem probabilística) para esse aparente problema;

2. Discutir como pode a problematização dos processos de inferência usuais em ciência ser relevante em sala de aula e apontar elementos úteis, para a educação científica, que se desprendem das discussões desenvolvidas para o objetivo 1 (por exemplo: sinalizar como a explicitação e a solução das falácias anteriormente mencionadas podem representar um assunto pertinente a permear as discussões em salas de aula em prol de enriquecer o conhecimento sobre a Natureza da Ciência nos educandos).

I.3. Metodologia

Mostrarei, ao longo do texto, algumas situações nas quais o conjunto das regras formais de inferência e a concepção da implicação material podem, à primeira vista, sugerir que o fazer científico infere conclusões a partir de raciocínios falaciosos.

Espero mostrar que há saídas razoáveis, dentro ou próximas do pensamento inferencial clássico (entendido aqui como aquele tratado em manuais usualmente presentes em cursos de Lógica, nomeadamente MORTARI, *Op cit*., exceto o cap. 18, que trata justamente das "lógicas não-clássicas"), para esses aparentes problemas. A saída que exploraremos para o problema das inferências aparentemente falaciosas na ciência envolverá, basicamente, observar e formalizar (sem grandes apelos a um rigor matemático ou a ferramentais algébricos maiores do que os tipicamente tratados no Ensino Básico) a questão de modo um pouco mais amplo, a saber: considerar que as conclusões da ciência não são do tipo "dado que X, então podemos afirmar Y", mas algo muito mais humilde, como "dado que as evidências indicam X, é provável que Y". De todo modo, o próprio exercício de compreender os problemas e os caminhos para as soluções apontadas é em si mesmo matemagênico, isto é, produz aprendizado. Dessa forma, talvez alguns desses exemplos possam ser explorados por docentes em salas de aula (e alguns apontamentos e sugestões nesse sentido surgirão em digressões ao longo do texto). De fato, esperamos que esta Tese seja útil no preparo de aulas (sem, contudo, pretender oferecer um roteiro ou manual de aula já pronto).

Para finalizar a apresentação da metodologia, considero válido apresentar a principal hipótese de trabalho da qual partirei: a literatura da pesquisa em Ensino de Ciências aponta, há décadas, que não é suficiente ensinar ciências, sendo imprescindível ensinar *sobre* ciências, Ou seja, sabedores de que

> *Um número crescente de pesquisas tem defendido que a inserção de conteúdos sobre as ciências na educação científica propicia um diálogo entre os saberes e pode contribuir para o desenvolvimento dessas competências necessárias ao cidadão do século XXI*

(FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011)

Aceitaremos a hipótese de que existe a urgente “necessidade de que os cursos de ciências sejam mais contextualizados, mais históricos e mais reflexivos, o que requer uma íntima relação entre a história e filosofia de ciências e o ensino das mesmas” (TEIXEIRA, EL-HANI, OLIVAL FREIRE Jr., 2001).

I.4. Linguagem e outras definições da escrita

Por falar em “ser útil”, optei por escrever uma tese de modo um tanto heterodoxo, isto é, fora do “jeito” acadêmico estrito com que esse tipo de texto é escrito. Ela não deixa de ser um ensaio acadêmico e seu primeiro objetivo é mesmo ser uma Tese de doutorado. Mas, como acontece com muitos colegas, tenho sido assombrado pela ideia de produzir um trabalho e este ficar apenas perdido acumulando poeira ao longo dos anos em uma estante de Biblioteca.

Quando escrevi minha Dissertação, estava apaixonado pelo tema da Epistemologia. Depois de defendê-la, tive muitas oportunidades de discutir conceitos que tinha trabalhado durante sua elaboração, com amigos, a maioria dos quais professores e/ou acadêmicos de áreas como a própria Física (mas não estudantes de epistemologia ou história da Física). Uma das coisas que logo me era perguntado era sobre onde poderiam encontrar a Dissertação para ler. Que bom que, poucos anos antes, as universidades brasileiras - em particular a USP - haviam começado a prática de disponibilizar teses e dissertações pela internet! Por isso, encontrar o texto não foi um problema: mas a linguagem com que foi escrito, sim.

Não que eu a tivesse escrito em linguagem hermética para esse público, mas muito do que estava escrito lá exigia que o leitor parasse a leitura para fazer uma pesquisa em uma enciclopédia ou na internet. Por mais que isso hoje seja tarefa relativamente fácil, talvez tivesse sido mais fácil - em comparação com o trabalho do leitor - eu mesmo ter me preocupado em ter escrito um texto mais simples de ler: de novo, não mais fácil quanto à linguagem, mas no sentido de explicar melhor alguns termos, para que o leitor não precisasse ficar pesquisando em outros textos as referências para o que eu estava dizendo.

Além disso, leitores de *e-books* (livros eletrônicos) estão ganhando certo espaço: as pessoas estão começando, ao que me parece, a ler diretamente nas telas dos computadores ou em equipamentos portáteis especialmente desenvolvidos para isso (os *e-book readers*). Esses equipamentos e mesmo a variedade de programas que leem textos, até onde pude experimentar, não estão lidando muito bem com formatações um pouco mais complicadas do que simples textos corridos. Nomeadamente, tive muitos problemas (até durante a escrita da Dissertação) com notas de rodapé.

Por conta dessas questões, tomei a decisão de fazer o texto de um modo um pouco diferente agora quando de minha Tese. Como é difícil algo ser 100% bom e não criar um problema quando se resolve outro, algumas das minhas opções podem incomodar alguns leitores, mas suponho que, no geral, elas facilitarão a leitura. Essas opções são:

1. Apresentação da mesma ideia repetidas vezes, em diferentes linguagens, usando, para isso, expressões como “ou seja”, “isto é”, “em outras palavras”. O objetivo é que, se uma ideia importante tiver sido desenvolvida com uma linguagem muito curta ou abstrata que pode oferecer dificuldade de compreensão, logo em seguida ela será reapresentada em termos mais concretos e, muitas vezes, seguida de exemplos;

2. Certa abundância de exemplos, embora tentando não abusar deles a ponto de tornar a leitura maçante, para deixar mais clara cada ideia ou analogia tratada;

3. Uso de termos um pouco informais, geralmente entre aspas (para denotar linguagem coloquial ou analogia), a fim de facilitar o entendimento (Vale lembrar que este trabalho é uma tese de doutorado em Ciências para um programa de Ensino e não exatamente para um programa de Lógica, pelo que tomarei liberdades de não ser muito rigoroso com terminologias e notações que, se por um

lado cumpririam um bom papel diante do formalismo Lógico, por outro poderiam fazer perder de vista o texto cumprir seu papel diante de um programa de pós-graduação em Ensino de Ciências);

4. Um pequeno abuso de parênteses com explicações de termos e conceitos;

5. Evitar notas de rodapé, ampliando ideias dentro do próprio texto sem, contudo, deixar de sinalizar as digressões com expressões bem diretas como “Isso nos remete a uma breve digressão: …”;

6. Ter em mente o leitor, em lugar de escrever um texto quase abstrato ou excessivamente impessoal. Para isso, tomei a liberdade de, por vezes, de reconhecer a existência de um interlocutor. Espero que o texto não venha a ser lido apenas pelos membros da banca de defesa - com os quais terei a oportunidade de falar pessoalmente, quando da exposição e da arguição da Tese - e, em seguida, seja esquecido em uma prateleira (mesmo que seja uma prateleira virtual). Minha esperança é que o texto seja lido por outras pessoas - com as quais eu possa jamais ter a oportunidade de conversar pessoalmente - e de alguma forma seja motivador de reflexões e seja mesmo útil para levar reflexões para salas de aula ou grupos de estudo (Por isso, peço desculpas, à banca, caso o texto soe heterodoxo demais, mas espero, com isso, facilitar que seja lido por outras pessoas, especial e nomeadamente, colegas professores que atuam ou na formação docente ou na própria Escola Básica. Principalmente neste último caso, as dificuldades que a escola infelizmente faz nossos colegas experimentarem é enorme, mas minha experiência com cursos de formação continuada de docentes tem demonstrado um revigorante e feliz interesse desses colegas por acessar o conhecimento que nossas universidades produzem na área de Ensino. Se meu texto puder servir para ajudar ao menos outro professor a inovar um pouco suas aulas, terei motivos de considerar que os quase 4 anos dedicados a este trabalho foram vitoriosamente recompensados. Ainda assim, não fugirei dos necessários tecnicismos e muito menos pretendo ser tutorial a ponto de fornecer um roteiro de aulas, o que até seria uma ofensa ao profissionalismo de um colega docente: antes disso, sei que o presente texto pode não ser integralmente aplicável em sala de aula para um

educador, mas quiçá cada parte possa ter certa utilidade para diferentes colegas docentes.);

7. Esforçar-me por encontrar referências bibliográficas em português e/ou que estivessem disponíveis gratuitamente na *internet*, de modo a possibilitar que o leitor tenha acesso a esses textos sem precisar deslocar-se a uma Biblioteca ou depender de uma senha para acessar um portal de periódicos. De fato, essa tarefa não foi muito difícil, especialmente no que se refere às bibliografias que usei para compor o quadro teórico; já que - felizmente - hoje já podemos contar com uma certa abundância de bons textos *online*, como artigos e notas de aula. Como muitos professores atuantes em escolas básicas ou mesmo universidades não têm acesso fácil a grandes Bibliotecas (as públicas raramente têm livros de nível superior) e raramente têm à disposição o acesso restrito a portais de periódicos - o que não deixa de ser uma sonegação de informação, a meu ver - entendi ser essa uma necessidade. Contudo, há um lado negativo nesse tipo de bibliografia: algumas vezes o texto é publicado na internet sem uma referência a Editora, data ou mesmo numeração de páginas. Mesmo assim, quando a fonte era fidedigna (basicamente, quando o autor era uma "autoridade" na área e o texto estava publicado em sua página pessoal alocada em um portal da universidade onde leciona), não deixei de consultar e apontar essas referências, deixando anotado, conforme as normas ABNT para citação, a ausência de data ou Editora (quando foi o caso). Naturalmente, não deixei de registrar, na listagem das referências bibliográficas, o caminho (*link*) completo onde esses textos podem ser encontrados.

Por fim, se, em minha dissertação, limitei-me a apontar alguns problemas sem me posicionar quanto à solução que me parece a melhor para cada um deles, dessa vez achei válido fazer uma "Tese" no sentido forte do termo: entendendo que estou defendendo também uma perspectiva que, embora não seja - obviamente - definitiva (afinal, eu mesmo no futuro posso ter uma posição diferente de alguma que tenha, neste momento, registrado e defendido no texto), está sendo sustentada por argumentos. Também permiti-me, em alguns momentos, como este, usar da escrita em primeira pessoa em lugar de me ocultar - como que pretendendo ser uma entidade impessoal - em um sujeito indefinido ou plural majestático.

I.5. Notações, abreviações e outras convenções

Aqui vou apresentar os símbolos, as simplificações e até alguns abusos de linguagem que, por comodidade, usarei ao longo de todo o texto. Algumas dessas convenções eu tornarei a explicitar quando for oportuno. Pode ser repetitivo para o leitor que for estudar esse trabalho do início ao fim, mas será útil, eventualmente, para algum colega educador que faça uma consulta mais concentrada a algum capítulo ou seção (evidentemente, não é a forma ideal de se explorar um texto, sobretudo uma tese, mas, se não me custa muito fazer essas repetições, tomarei tal liberdade).

A primeira das convenções que adotarei será o símbolo para a implicação. Quando temos uma afirmação *A* que implica outra, *B*, usarei uma seta para indicar isso: "*A* implica *B*" será denotado por $A \rightarrow B$. Em um dado momento, interpretaremos o símbolo "$\rightarrow$" como uma implicação material. Contudo, não será conveniente, neste trabalho, adotar um símbolo específico para implicação material, de maneira que será usado sempre o mesmo.

Além da situação em que uma afirmação (ou uma conjunção de afirmações) implica outra, existe o caso em que temos, por exemplo, uma teoria *T* a partir da qual se demonstra uma consequência *C*. Essa situação, "*T demonstra C*" não é a mesma coisa que a situação "*T* implica *C*", mas temos o teorema da dedução (cf., p. ex., KAESTNER, 2016; MORTARI, *Op. cit*., p. 189) que garante que, se forem válidas certas hipóteses (as quais sempre são válidas nos casos que este trabalho pretende estudar), então *T demonstra C* se, e somente se, é demonstrável que *T implica C*; ou seja, embora implicação e demonstração não sejam idênticas, elas se equivalem, o que significa que, sempre que ocorre uma, ocorre também a outra. Como nosso objetivo será avaliar as probabilidades de ocorrerem uma ou outra, então essas probabilidades são idênticas, de maneira que seria desnecessário (e até significaria complicar demais o texto) utilizar uma notação para demonstração e outra para implicação, de maneira que usaremos, para ambas, o símbolo "$\rightarrow$" e não atentaremos muito para a distinção desses termos (por exemplo, podendo dizer "a teoria *T* implica uma previsão *Q*", quando o rigor exigiria dizer "a partir da teoria *T,* demonstra-se uma consequência *Q*").

Aliás, o símbolo para "se, e somente se" será simplesmente "↔". Já a notação para as conjunções "e" e "ou" serão, respectivamente, "^" e "v".

Quando denotarmos probabilidades, a de uma afirmação genérica *A* ser verdadeira será representada por *p(A)*, enquanto que a probabilidade de *A* dado que *B* é verdadeira será *p(A*|*B*). Já o aumento da probabilidade de *A* será representado por "↑*p(A)*".

O símbolo para "não" será "¬" e merece ser brevemente explicado por um exemplo: se a afirmação "*A*" diz "aviões podem voar", então "¬*A*" representa "aviões **não** podem voar". Assumiremos, ainda, algumas considerações que não são válidas em todos os sistemas lógicos (mas que adotaremos por simplicidade): que a dupla negação de uma afirmação é tão verdadeira ou tão falsa quanto própria afirmação ("¬¬A", neste caso, *equivale* a "aviões podem voar") e que, se "¬*A*" é verdadeira, então podemos dizer "*A* é falsa".

Em poucos momentos, usaremos notações para derivadas e funções. Neste caso, para não manter a notação carregada, deixaremos frequentemente uma função, digamos, *f(x,t)*, representada simplesmente por *f*. Para representar a derivada total de uma função *f* em relação a *t,* denotaremos *df/dt*, enquanto para representar a derivada parcial de *f* em relação a *t*, usaremos *∂f/∂t*. O operador laplaceano será mecionado em dado momento e, em lugar da notação de um delta ou de um nabla ao quadrado, usaremos simplesmente *lap*. Vetores praticamente não serão mencionados, mas – no momento em que um aparece – usamos negrito para identificá-lo.

Tudo isso posto, vamos apresentar, no próximo capítulo, o quadro teórico que servirá de base para nossas discussões, as quais estarão concentradas no capítulo III, o maior deste ensaio. Por fim, serão aplicadas as discussões a alguns exemplos mais concretos e buscar-se-á acenar uma conclusão do trabalho.

II. Quadro teórico

> *A razão, como a ciência, são apenas* meios *que ajudam nossas decisões a se fazerem mais inteligentes.*
>
> (TEIXEIRA, 2007, p. 42)

II.1. O que é Lógica

A Lógica como "ciência geral da inferência" (BLACKBURN, 1997, p. 229 - verbete "lógica"), embora tenha sido sistematizada por Aristóteles, somente recebeu o formalismo que hoje chamamos de Lógica clássica após trabalhos de pesquisadores como Frege (1848-1925) e Russell (1872-1970) (cf. MURCHO, 2005; D'OTTAVIANO & FEITOSA, 2003, pp. 5-6). Ou seja: é uma área de estudo relativamente recente.

Quando dizemos que a Lógica é o estudo (ou ciência) da inferência, é preciso mostrar uma distinção: não existe apenas uma forma de inferência, isto é, de tirar conclusões sobre um assunto. Podemos inferir por meio do raciocínio dedutivo, que tem a forma "*dadas as premissas* A_1, A_2, …, A_n, *chega-se à conclusão B*". Podemos, também, inferir por meio do raciocínio abdutivo, que diz "*A melhor explicação para B é A*" ou pelo raciocínio indutivo, que podemos representar por esse exemplo:

O sol nasceu hoje, ontem, anteontem,...

Logo, o sol nascerá amanhã.

Embora haja mais de um tipo de raciocínio ou de inferência, a Lógica, enquanto ciência, geralmente está interessada no raciocínio dedutivo. Sendo assim, poderemos reformular a concepção anterior para algo mais específico: **Lógica é a ciência da dedução**. De todo modo, dado que a Lógica, enquanto ciência, tem avanços extraordinários colecionados até o momento, e abrange complexas discussões, a fim de não confundir a Lógica, enquanto ciência, com o uso bem mais modesto que dela faremos, queremos definir que, salvo quando o contexto sugerir o oposto, usaremos o vocábulo “lógica” como sinônimo da formalização das regras de inferência ou do estudo dessa formalização (que, por vezes, chamarei de “inferência formal” ou termos semelhantes). Em outras palavras, exceto quando o contexto indicar algo diferente, meu uso dos termos lógica, lógico e afins está restrito a algo bem menor, a apenas alguns elementos dessa gigantesca ciência que é a Lógica, a saber: as recomendações de um bom raciocínio feitas pelo que alguns autores chamam de Lógica Informal (cf., p. ex., GROARKE, 2015), as regras de inferência, a sistematização cuidadosa do pensamento e o cuidado para evitar falácias (isto é, erros de raciocínio infelizmente comuns).

Também não consideraremos a diferença entre os termos razão e lógica e entre os termos racionalidade e racionalismo (ou entre racional e racionalista, sendo racionalismo uma ideologia filosófica que afirma o primado da razão sobre as outras faculdades humanas), muito embora existam diferenças enormes entre eles. Muitas vezes usarei esses termos de modo cambiável para evitar repetição das mesmas palavras em posições muito próximas nas frases e, por essa imprecisão, já me desculpo com o(a) leitor(a).

No último século, tem-se buscado invariavelmente trabalhar a Lógica como uma ciência formal, com uma estrutura sistematizada de forma muito bem definida e capaz de atingir um universo bastante variado de assuntos, afirmações, questões ou discussões, “desde a matemática à discussão dos resultados do futebol” (BLACKBURN, *Op. cit.*, pp. 229-230), e - por que não? - passando pela Política e pela Religião, muito embora uma máxima popular pretenda que “Política e Religião não se discutem”.

Nosso intuito é contrariar fortemente esse ditado popular. Discutir um assunto não significa criar hostilidades ou guerras por conta deles. Ao contrário: uma discussão racional, por definição, é algo que envolve disputa de ideias, não disputa entre pessoas.

É claro, contudo, que não raro os debates levam as pessoas a verdadeiros atritos e brigas. Também é verdade que, em nome de ideologias políticas, doutrinas religiosas e mesmo times de futebol, pessoas têm sido mortas.

Não esperamos que a racionalização dos problemas do mundo leve a humanidade a abandonar suas guerras ou a resolver suas disputas da noite para o dia. Também não pretendemos que isso acontecerá a longo prazo com o uso unicamente da Lógica. Ou seja: não queremos fomentar um novo messianismo, no qual a racionalidade ou os princípios formais da Lógica clássica forneçam uma verdadeira salvação para a humanidade. Mas a Lógica mesma nos ensina uma lição que pode explicar o que pretendemos: mesmo que alguma coisa não seja suficiente para resolver um problema, pode ser necessária. E talvez a racionalidade não resolva grandes problemas da humanidade, mas - se nos permitir questionar o consumismo desenfreado motivado pela indústria automobilística, digamos, - talvez já tenha valido a pena o esforço nessa direção.

Estamos apenas lembrando o leitor que algo pode ser condição necessária, embora não suficiente, para alguma coisa. De modo concreto, queremos sugerir que a racionalidade (ato humano de pensar, inferir ou deduzir) e a Lógica (disciplina ou ciência que estuda a racionalidade), embora não sejam suficientes para resolver os problemas da humanidade, teriam muito mais a oferecer do que já têm oferecido, caso fossem usadas com maior frequência.

Voltando ao ditado de que política e religião não se discutem, pensemos no seguinte: o que nos leva a votar em um candidato? Seria o carisma dele ou a ideologia que ele defende? Seriam as roupas que ele veste ou a história de princípios que seu partido tem defendido? A fama que ele obteve na TV ou a coerência de suas argumentações em um debate?

Não imaginamos que o mundo esteja dividido maniqueisticamente em um polo, bom ou positivo, da racionalidade e outro, mau ou negativo, onde está “o resto” (emoções, preconceitos, intuições,...). De fato, emoções podem ser maravilhosas - e sem elas a vida seria estéril e sem sentido. Intuições são formidáveis, e sem elas a

Lógica não poderia ser construída (porque se baseia em princípios que são apreendidos primeiramente pela intuição).

Mas entendemos que a racionalidade pode garantir um caminho seguro para somar ou mesmo subtrair elementos no sentido da obtenção de conclusões relevantes sobre problemas reais, como “em quem votar?”, “como melhorar nosso sistema educacional?”, “quais os problemas do nosso sistema de saúde?”. Note o leitor que não estamos dizendo que a razão e a aplicação sistemática do raciocínio inferencial têm o poder de, por si mesmas, dar respostas seguras a questões como essas; mas que podem fornecer elementos importantes ao trilhar o caminho para a tomada dessas decisões. Se nos permitem uma comparação um tanto pobre: a lógica/racionalidade não fornece a conclusão por si mesmas, sem a necessidade de nada mais, mas age como ferramenta e ingrediente para a formação dessas respostas, assim como a farinha e a tigela não são um bolo, mas são indispensáveis para fazê-lo.

Esse é nosso primeiro argumento em favor da utilidade de alguns elementos como as regras de inferência usuais da Lógica clássica (doravante, referir-nos-emos ao conjunto dessas regras de inferência da Lógica clássica, na forma como aparecem em MORTARI, *Op. cit.*, p. 146, simplesmente por “L”, porque o autor chega a apelidar tais regras de “Leis da Lógica”, donde inspirou-se o símbolo “*L”* estilizado que usaremos): se sem ela é inconcebível a Matemática, então certamente pode desempenhar papel relevante para entender a Física, uma vez que esta formula seus princípios de modo essencialmente matemático. Esse argumento é suficiente para fazer notar a importância de explorar os rudimentos de *L* no ensino de Física e, apelando para a presença da Matemática dentro de outras áreas, no ensino de Ciências em geral. Contudo, pretendemos mostrar ainda como o raciocínio lógico-matemático pode ser aplicado em uma profusão ainda maior de situações, o que lhe valerá atenção para ir muito além do ensino estrito de princípios e conceitos de Física na escola básica.

II.2. Uma brevíssima e possível história da Lógica

O sistema lógico atualmente mais usado pode ser chamado de "Lógica clássica" ou mesmo "Lógica matemática moderna", visto que a Lógica é atualmente uma área de estudo com fortes vínculos com a Matemática, cf. BLACKBURN, 1997, pp. 229-230 (muito embora a especificidade da natureza desses vínculos seja uma questão ainda não solucionada, que ficou conhecida como "crise dos fundamentos", cf. LEITE, 2004, p. 7 e DELACAMPAGNE, 1997, p. 27).

> A partir da obra de Frege, a Lógica clássica adquiriu forma quase definitiva, extensa e consistente nos Principia Mathematica de Whitehead e Russell. No seu estado atual é poderosa e encerra toda a velha silogística aristotélica, convenientemente reformulada.
>
> Em seus escritos, Aristóteles caracteriza a lógica como uma ciência do raciocínio, posteriormente entendida como estabelecedora das formas válidas de raciocínio [inferências válidas], a qual repousava sobre três princípios fundamentais: (i) Princípio da identidade - todo objeto é idêntico a si mesmo; (ii) Princípio da não contradição - uma proposição não pode ser verdadeira e falsa ao mesmo tempo; e (iii) Princípio do terceiro excluído - toda proposição é verdadeira ou falsa, não havendo outra possibilidade.
>
> Na sua vestimenta contemporânea, a lógica é vista como sistema formal dedutivo, edificado sobre linguagem formal, a qual teria a incumbência de eliminar dubiedades interpretativas.
>
> (D'OTTAVIANO & FEITOSA, 2003; parênteses do autor)

O século XX acabou sendo fecundo em muitas áreas. A passagem do XIX para o XX foi marcada por sistemáticas revoluções nas artes, na Física, nas ciências humanas e sociais, na psicologia, na psicanálise, na filosofia, na matemática e - como não poderia deixar de ser - na ciência da lógica. No atual momento, essa revolução nos legou, dentre outros, os seguintes resultados:

1. O surgimento de diferentes tipos de teorias lógicas: algumas sendo extensões de *L* (com a adição de conceitos, operadores e símbolos, como a lógica modal, por exemplo) e outras sendo verdadeiras lógicas não-clássicas (como a lógica paraconsistente, escola fundamentada nos trabalhos do brasileiro Newton da Costa, as lógicas difusas e as lógicas trivaloradas), uma vez que negam alguns princípios fundamentais das lógicas de tipo clássico (como o da não contradição, que proíbe que uma afirmação e sua negação sejam simultaneamente verdadeiras, e o da bivalência, que estabelece o universo de dois valores de verdade possíveis - verdadeiro e falso - para cada proposição) [cf. D'OTTAVIANO & FEITOSA, 2003, pp. 21-22];

2. A inexistência d***a*** lógica ou mesmo d***a*** racionalidade, no singular, uma vez que há mais de um sistema ou formalismo possível para a lógica, isto é, há várias lógicas possíveis e aplicáveis a diferentes situações, como tecnologias (nomeadamente, sistemas digitais e computacionais, entre outros) [*Id. Ibid.*].

II. 3. Lógica proposicional

Lógica proposicional, também apelidada de "Lógica clássica de ordem zero" (ou L^0), é aquela que trata dos valores ("verdadeiro" ou "falso") de sentenças "*a*" e "*b*" enquanto proposições. É considerada uma Lógica de "ordem zero", porque somente surgem os conceitos quantificadores ("**para todo**", representado por "**∀**", e "**para algum**", representando por "**∃**") na Lógica clássica de primeira ordem.

Em Lógica Proposicional, a implicação é dita **material**. Não é o único tipo de implicação (ou de interpretação do símbolo "→") que existe, mas somente esse será tratado neste momento.

Neste trabalho, assumiremos que, desde que faça sentido, uma afirmação tem duas, e apenas duas, opções: é **verdadeira** ou falsa (e, ainda, se sua negação é o caso, diremos que a afirmação é falsa). Tal premissa é contestada por teorias lógicas alternativas às usuais clássicas (conforme já foi mencionado), mas tais abordagens não serão usadas neste trabalho.

II. 4. Tabelas-verdade

Uma tabela-verdade (ou “tabela de verdade”) é uma representação dos valores (“verdadeiro” ou “falso”) de uma conjunção de proposições a partir dos valores das referidas proposições envolvidas.

Usando “^” para representar a conjunção “e”, usando “v” para representar a conjunção “ou” e adotando “→” para representar “implica” e “↔” para representar “se e somente se”, a seguinte tabela-verdade (cf. BLACKBURN, 1997, p. 163) será muito útil neste trabalho:

a	**b**	**a ^ b**	**a v b**	**a → b**	**a ↔ b**
V	V	V	V	V	V
V	F	F	V	F	F
F	V	F	V	V	F
F	F	F	F	V	V

Tabela 2-1: Tabela da Verdade das principais funções

Explicando a tabela anterior:

- **a** e **b** são proposições, ou seja, grosso modo, afirmações que podem tanto ser verdadeiras como ser falsas;

- **a ^ b** lê-se “*a* e *b*” e é verdadeiro se, e somente se, *a* e *b* forem verdadeiras simultaneamente;

- **a ∨ b** lê-se "*a* ou *b*" e é verdadeiro se, e somente se, *a* ou *b* for verdadeiro, bastando que uma das proposições, apenas, seja verdadeira, para que essa operação assuma valor "verdadeiro";

- **a → b** lê-se "*a* implica *b*" e talvez seja a função mais difícil de entender. Ela representa o seguinte raciocínio: sempre que *a* for verdadeira, então *b* é necessariamente verdadeira. Essa função de verdade será **falsa** se, e somente se, *a* for verdadeiro mas *b* for falso simultaneamente (e será verdadeira em **todos** os outros casos);

1. **a ↔ b** é lido como "*a* se, e somente se, *b*" ou "*a* equivale a *b*". Ele denota que tanto *a* implica *b* quanto *b* implica *a*. É verdadeiro quando os valores de *a* e *b* forem iguais e é falso em todos os outros casos.

Avançando um pouco mais, estudemos as seguintes tabelas-verdade:

a	**b**	**¬ a ∨ b**	**a ^ ¬b**	**a → b**	**¬ (a → b)**
V	V	V	F	V	F
V	F	F	V	F	V
F	V	V	F	V	F
F	F	V	F	V	F

Tabela 2-2: Tabelas-verdade da implicação

O símbolo "**¬**" é lido como "não" e ele tem o papel de "inverter" o valor de verdade de uma variável ou proposição. Assim, se *x* é o caso, ¬ *x* não é; se *x* é o caso, ¬ *x* não o é.

Para fins de ordem, há uma convenção: onde os símbolos “e” ou “ou” aparecem na mesma expressão que o símbolo “não” (¬), este opera primeiro, de forma semelhante ao que acontece em uma expressão numérica, onde as potências são executadas antes das multiplicações e estas são efetuadas antes das adições.

Comparando a terceira com a quinta coluna e comparando a quarta coluna com a sexta (pedimos ao leitor que faça a gentileza de proceder a essa comparação atentamente, verificando que a 3.ª e a 5.ª colunas são idênticas, e que a 4.ª e a 6.ª colunas são também idênticas entre si), observa-se que:

$$(\boldsymbol{a} \rightarrow \boldsymbol{b}) \quad \leftrightarrow \quad (\neg\, \boldsymbol{a} \quad \vee \quad \mathbf{b})$$

$$\neg(\boldsymbol{a} \rightarrow \boldsymbol{b}) \quad \leftrightarrow \quad (\boldsymbol{a} \quad \wedge \quad \neg\, \boldsymbol{b}) \qquad \textbf{B.1}$$

II.5. A implicação material como fato intuitivo

Observando a primeira igualdade de B.1, vemos que ela estabelece que a expressão *A implica B* é sinônima da expressão *não-A ou B*, ou ainda, colocando numa linguagem mais usual, sinônima de “ou não acontece A ou então acontece B”. É frequente que essa equivalência ou sinonímia seja acusada de ser contraintuitiva. No entanto, podemos pensar em alguns exemplos bastante cotidianos nos quais a frase “*A implica B*” é substituída por “*ou não acontece A ou então acontece B*” sem causar qualquer estranheza. Vamos dar apenas um exemplo, que certamente permitirá ao leitor imaginar muitos outros semelhantes: Imagine que um adulto queira incentivar uma criança (por exemplo, seu filho) a comer legumes e, então, lhe diga

Se você não comer os legumes, não terá sobremesa.

Vamos nomear cada ação com uma letra: "comer os legumes" será representado por *A'* e ter a sobremesa será representado por *B'*. Então, a frase anterior é, de modo resumido: $\neg A' \rightarrow \neg B'$. Segundo B.1, essa frase equivale a $\neg\neg A'$ *ou* $\neg B'$; mas, como $\neg \neg A'$ é o mesmo que *A'*, então a frase fica $A' \vee \neg B'$. Ou seja, a frase anterior pode ser substituída, segundo B.1, por

Ou você come os legumes ou não terá sobremesa.

Fica claro e intuitivo que a primeira e a segunda frases significam a "mesmíssima" coisa, ou seja, são equivalentes. Esse exemplo pode ser estendido a outros semelhantes: basta colocarmos situações cotidianas em um esquema formal (isto é, nesse caso, escrevendo frases que usamos no dia-a-dia em um formato do tipo *A implica B*) e veremos que esses enunciados poderão muito bem ser substituídos por outros na forma "¬A ou B" sem modificar o sentido das frases.

Esse breve argumento pretende levar o leitor a reconhecer que não é necessariamente verdade que as conclusões da Lógica clássica (*L*) vão contra o senso intuitivo que usamos no dia-a-dia. Muitas vezes, conclusões de *L* podem parecer contra-intuitivas à primeira vista, mas - conforme adquirimos mais traquejo no uso dos símbolos lógicos e nos sentimos mais confortáveis em usá-los - poderemos encontrar conclusões poderosas e que não contrariam nossas intuições mais fundamentais sobre a "verdade".

Isso é um motivo pelo qual defendo a abordagem mais formal de *L* em aulas de Física. De um lado, como *L* é uma base para a Matemática e esta para a Física, compreender um pouco do formalismo de *L* pode facilitar ao estudante adquirir intimidade com a linguagem da Física e questionar sua natureza enquanto ciência. De outro, servirá como modelo de um raciocínio mais geral e crítico, que - saindo da ambientação restrita à Física - permitirá detectar e questionar muitas falácias relativas a outras questões de seu cotidiano, como as que envolvem política, convívio social, planejamentos diversos etc.

Uma vez que a Lógica (enquanto estudo das Regras de Inferência) se ocupa, de certo modo, muito mais da sintaxe (forma, formal, formalismo) que da semântica (conteúdo), porque ela trata das relações que podem ser obtidas a partir, digamos, de um dado *A* que implica *B*, nos dizendo que disso não deriva que *B* implica *A*, então *L* tem um alcance que não fica limitado a enunciados de um determinado assunto.

Pondo de modo mais concreto: se nosso estudante entender algumas relações básicas entre variáveis, símbolos lógicos, regras de inferência e falácias, por tê-las desenvolvido em aulas de Matemática, Física e Filosofia, e com isso, por exemplo, ele tenha se apropriado de que $A \rightarrow B$ leva a $\neg B \rightarrow \neg A$ e não necessariamente a $\neg A \rightarrow \neg B$ ou a $B \rightarrow A$, então esse estudante poderá não apenas se utilizar dessas ferramentas para construir caminhos de solução para equações físicas, mas terá em mãos algo útil para de repente questionar preconceitos!

Voltaremos a isso com detalhes mais tarde, mas adiantemos parte da discussão, apenas para localizar o leitor quanto ao que pretendemos neste trabalho. Suponhamos que seja trabalhado com nosso estudante o fato de que

Se sobre um corpo age a força gravitacional, e somente ela, então aquele acelera.

*Ou seja: Queda livre **(QL)** → Aceleração **(A)***

(Afirmação B.2)

Então imaginemos que um estudante incorra na afirmação do consequente e, portanto, imagine que B.2 lhe permite concluir:

*Se um corpo está em movimento acelerado, então sobre ele atua a força da gravidade e somente ela, ou seja, **A → QL**.*

(Afirmação B.3)

Sabemos que é um erro partir de B.1 (que vale sempre) e supor que B.3 sempre estará correta. Isso porque um corpo pode perfeitamente acelerar, segundo a Física que conhecemos, por ação de muitas outras forças, quer conjuntamente com a gravidade, quer em situações onde a força gravitacional não está presente (ou melhor, é desprezível). Isso é o que nos diz a Física: que B.2 é verdadeira, mas B.3 não é.

Já a Lógica clássica vai nos ensinar que a ida não garante a volta, como já vimos (ou seja, que "QL → A" não implica que "A → QL"). Esse é um exemplo, na verdade muito simples, que ilustra um sem número de fenômenos físicos que podem ser usados para explorar a falácia da afirmação do consequente. Essa falácia pode aparecer em assuntos aparentemente muito diferentes um do outro, como, por exemplo, Física e Direito.

Por isso, corro o risco de ser repetitivo, mas enfatizo - mais uma vez - que o conhecimento lógico, que pode ser introduzido aos nossos estudantes em aulas das mais diversas disciplinas, encontra aplicações em muitos questionamentos. Se nosso estudante explora e se apropria do fato de que a afirmação do consequente é uma falácia, quiçá esse nosso estudante terá uma ferramenta muito útil para concluir, por exemplo, que raciocínios preconceituosos tendem a ser falaciosos. Vejamos: Se dissermos que todos (ou muitos) os *A*s são *B*s, então mesmo essa informação não permite concluir que todos (ou muitos) os *B*s são *A*s (ou seja, que ainda que ser *A* implique ser *B*, isso não significa que ser *B* implica ser *A*). Se, digamos, pudéssemos dizer que a maioria dos jogadores de futebol profissional é composta de brasileiros, isso não nos indicaria que a maioria dos brasileiros é de jogadores de futebol profissionais.

III. Regras de inferência clássicas aplicadas à Epistemologia:

Alguns problemas e propostas de soluções

> *A ciência não nos traz mais a verdade, mas um simples instrumento para a ação inteligente. Não traz um programa, mas os meios de criá-lo, ficando ao homem a liberdade de escolher entre as múltiplas alternativas que oferecem o universo pluralista e em crescimento e os novos instrumentos de compreensão e ação que lhe fornece a ciência*.
>
> (TEIXEIRA, 2007, pp. 41-2)

Neste capítulo, partiremos de algumas regras de inferência clássicas e, após apresentar as falácias formais associadas ao uso incorreto dessas regras, discutiremos a necessidade prática de tais falácias no fazer científico, isto é, argumentaremos que, embora as regras de dedução lógica, quando utilizadas de modo incorreto, levem ao risco de cometermos erros, esse uso (*a priori*, formalmente incorreto) das regras é necessário na prática científica.

Evidentemente, isso constitui um problema (como podemos fazer ciência amparados no uso incorreto de certas regras?). Contudo, apontaremos para algumas soluções para que esse uso "incorreto" torne-se aceitável, do ponto de vista formal, no fazer científico.

Dentre outros problemas, vamos falar da falácia da afirmação do consequente (que basicamente consiste em confundir "*A* implica *B*" com "*B* implica *A*").

Partindo do fato de que uma das formas de a ciência funcionar é propor uma teoria (T) que faz uma predição (E) e, uma vez verificada essa predição (E), concluir-se em favor da teoria (T), vemos que a ciência vai de $T \rightarrow E$ para $E \rightarrow T$, o que é formalmente uma dedução não-permitida pelas regras de inferência usuais (uma lista de algumas dessas regras pode ser encontrada em MORTARI, *Op. cit.*, p. 146). Veremos, mais adiante, que esse é um exemplo de raciocínio *abdutivo*, que é diferente da dedução e, portanto, não segue as mesmas regras desta.

Contudo, tentaremos mostrar que existem bons motivos para "salvarmos" essa prática, tão cara à ciência (referimo-nos à prática de observar as predições de uma teoria para eventualmente concluir que esta tem uma boa chance de ser "verdadeira"), com uma pequena reinterpretação: em lugar de partirmos de $A \rightarrow B$ para $B \rightarrow A$, que seria um erro, vamos de $A \rightarrow B$ para $\boldsymbol{B} \rightarrow [\uparrow \boldsymbol{p}(\boldsymbol{A})]$, onde "$\uparrow p(A)$" significaria algo como *"aumento da probabilidade de A ser verdadeira*".

Nosso intuito é mostrar que, embora uma primeira abordagem, mais superficial, do uso apenas das regras de inferência dedutivas da Lógica clássica na ciência possa vir a invalidar alguma(s) de suas práticas mais comuns, um segundo olhar, que poderíamos chamar de "menos ingênuo", permite-nos dar uma solução relativamente "elegante" (no sentido de ser formal) para o problema. Isto é, pretendemos dar um exemplo a fim de convencer o leitor de que a própria Lógica clássica pode ser suficiente para resolvermos alguns (talvez, ousamos dizer, quase todos) dos problemas que poderiam sugerir a necessidade de apelarmos para formas não-clássicas da Lógica.

Quanto ao uso de probabilidades, não se trata de novidade. Muito pelo contrário:

> Reichenbach insistiu na importância da noção de probabilidade tanto na filosofia da ciência quanto na própria ciência. A verificação de enunciados científicos é probabilitária; o significado destes enunciados está ligado a seu grau de confirmabilidade, que por sua vez está ligada ao índice de probabilidade.
>
> Uma parte substancial da obra de Reichenbach consiste no estudo dos procedimentos de indução com base em teoremas do cálculo de probabilidades. (...)

(FERRATER MORA, 1994, p. 2492, verbete *Reichenbach, Hans*)

III.1. O *Modus Ponens* e o *Modus Tollens*

Uma regra de inferência muito importante da Lógica é o chamado *Modus Ponens*, consideravelmente mais fácil de entender que seu "irmão" *Modus Tollens* (que já será apresentado). Essa regra é também chamada de "Modo de Afirmação". Por ele, diz-se que, se *A* implica *B* e *A* se verifica, então *B* se verifica (BRZOZOWSKI, 2011, pp. 1-2). Em notação usual, *A* e *B* são símbolos de afirmações, "→" é o símbolo de "implica que" e a barra horizontal "___" simboliza "conclui-se que":

$$\begin{array}{r} A \rightarrow B \\ A \\ \hline B \end{array}$$

(C.1) *Modus Ponens*

Neste caso, a **afirmação do antecedente** leva à **afirmação do consequente**. É um tanto fácil de entender essa regra de um modo intuitivo (chamamos de "intuição" a "ideia" que fazemos de algo, pela experiência e pela visão de mundo que temos), isto é, é relativamente fácil concordar que ela seja uma regra que deve ser obedecida em qualquer raciocínio bem formulado; bastando para isso, creio eu, entender o que os símbolos estão dizendo:

1. Sempre que *A* acontece, acontece também *B*;
2. Aconteceu *A*;
3. Logo, acontece *B*.

Outra das regras de inferência é conhecida por ***Modus Tollens*** ou “Modo de Negação”. Para representá-la, usaremos “**¬**” como símbolo de “não”. Dadas duas afirmações, *A* e *B*, essa regra determina (BRZOZOWSKI, 2011, p. 2) que:

$$\frac{\begin{array}{r} A \rightarrow B \\ \neg B \end{array}}{\neg A}$$

(C.2) *Modus Tollens*

Ou seja: se um fato “*A*” implica um fato “*B*” (isto é: se sempre que “*A*” for verdade, “*B*” também o será), mas verificar-se que “*B”* não é verdadeiro, então a conclusão será a de que “*A*” não é verdadeiro. Por fim, uma vez que se chama “*A*” de “antecedente” e “*B*” de “consequente”, diremos que o *Modus Tollens* corresponde a uma **negação do consequente** com a então derivação da **negação do antecedente**.

Para desenvolver o elemento intuitivo como justificativa para acreditarmos nessa regra, vamos, então, ilustrar a motivação do *Modus Tollens* por meio de uma consideração geral, a qual, esperamos, permitirá entender por que motivo podemos confiar ser esse princípio um fato consoante a experiência real e o senso intuitivo: quando dizemos ***A* → *B***, estamos definindo que, *sempre* que ocorrer *A*, ocorrerá *B*. Ora, se *A* *sempre* acarretará *B*, então, se *B* não ocorreu (**¬*B***), certamente *A* não ocorreu (**¬*A***). Do contrário, caso *A* tivesse se dado, então *B* também teria se verificado. Isto é:

1. Sempre que *A* acontece, acontece também *B*;

2. Não aconteceu *B*;

3. Logo, não aconteceu *A*.

(porque, se *A* tivesse acontecido, *B* também teria).

Uma última observação é necessária aqui: estamos usando o verbo *acontecer* conjugado no tempo pretérito, mas normalmente os símbolos lógicos não indicam tempo (passado, futuro etc.). Optei por usar tempo para tornar as frases mais naturais e mais simples de entender, mas as regras de inferência não dependem do tempo que eu usei nessas explicações (isto é, *A* não precisa ser um evento, muito menos um evento anterior a *B*; mas *A* e *B* podem ser afirmações que se referem a fatos quaisquer, mesmo atemporais, como o fato de 1 + 1 ser igual a 2).

Além disso, as afirmações *A* e *B* não precisam ser verdadeiras para serem usadas em cálculos de predicado. Por exemplo, sabemos que o céu é azul; logo, se temos uma afirmação *X* que diz "o céu é amarelo com listras roxas", podemos usar o símbolo "**¬**" para dizer ¬*X* (isto é: "o céu **não** é amarelo com listras roxas"). Outro exemplo é: sabemos que existe gravidade perto da superfície da Terra; de modo que, se *Y* significa "não existe gravidade perto da superfície da Terra" e *Z* significa "podemos voar", então poderíamos dizer que um bom sistema teórico para descrever nosso mundo teria como verdadeiro que *Y* implica *Z*. Portanto, note o leitor que, embora nem *Y* nem *Z* sejam verdadeiras em nosso mundo, ainda assim é correto dizer que *Y implica Z*.

III.2. Um problema fundamental do conhecimento

Digamos que Bichano, o gato da nossa vizinha, dona Amélia, fugiu. A fim de encontrar o querido mascote, dona Amélia pede ajuda a toda a vizinhança. Seu Breno, outro vizinho, diz que viu um gato muito parecido (mesma cor, mesmo tamanho etc.) com o Bichano entrando, há menos de um minuto, dentro de sua garagem. Podemos confiar no que seu Breno diz?

Seu Breno abre a garagem e dona Amélia, ao entrar lá, encontra um gato parecido com Bichano, mas diz que não crê ser o seu amado animal, porque o gato da garagem tem uma mancha no pelo, a qual Bichano não tem. Será que o senhor Breno mentiu?

De fato, ele não mentiu, porque não disse que viu Bichano entrar na garagem, mas apenas que viu entrar um gato parecido com o de dona Amélia. Agora, dona Amélia percebe que o gato da garagem reage muito bem a ela e resolve pegá-lo no colo. Ao passar a mão por seu pelo, nota que a mancha desaparece: era apenas sujeira e, de fato, em seu colo está Bichano. Temos um final feliz, mas será que dona Amélia mentiu? Tampouco! Porque ela disse que não acreditava ser aquele o seu gato, e realmente ela não acreditava, mas havia cometido apenas um engano.

Temos o mesmo gato e duas testemunhas: dona Amélia diz que, para ela, não parecia Bichano e seu Breno diz que parecia, para ele (ele, por certo, sem conhecer tão bem o animal quanto a própria dona Amélia, não sabia que Bichano não tinha aquela mancha no pelo). De fato, mesmo que eles tivessem sido mais contundentes - dona Amélia falando que o gato encontrado não era Bichano e seu Breno dizendo que era -, ainda não estariam mentindo, não no sentindo moral do termo. Com efeito, esse simples exemplo reflete uma questão com a qual todos temos alguma familiaridade, acerca de como podemos adquirir conhecimento sobre um determinado fato: desde o fato de o gato da garagem ser ou não o procurado Bichano até as verdades sobre as Leis da Natureza e a origem do Universo, por exemplo.

Essa questão, que envolve a credibilidade do testemunho, a hipótese de haver mentira, a possibilidade de alguém enganar-se etc., tem análogos muito interessantes quando estamos lidando com testemunhos em um caso criminal, por exemplo, ou com observações e experimentos científicos. Esse problema remete a um **problema fundamental do conhecimento.**

Chamei de fundamental tal problema porque talvez recue à primeira de todas as perguntas (porque sem uma resposta a ela qualquer outra pergunta poderá perder relevância): “Podemos de fato conhecer algo?”.

Uma das formas de se dar conta de que esse problema é legítimo, e não mera fantasia irrelevante, envolve atentarmos para o fato de que não há como construirmos linhas de raciocínio sem um ponto de partida, isto é, a admissão de um princípio aceito *a priori* é exigência para o pensamento, tendo em vista que nenhum caminho pode ser traçado sem uma origem. Isso implica que toda conclusão a que nos apeguemos terá sua mais profunda base em uma afirmação que é, em última instância, nada mais que dogmática. Foi por isso que mencionei, na Introdução deste texto: *Pedir que um cientista faça seu trabalho sem admitir qualquer princípio ou dogma é exigir-lhe que pare de pensar*. Agora reitero essa afirmação num contexto onde espero que ela esteja melhor fundamentada com argumentos de por que eu disse isso tão categoricamente.

Assumir dogmas me parece ser a conclusão mais provavelmente correta de um dos tentáculos "lógicos" do problema que anteriormente chamei de "fundamental": esse filão seria "o **regresso epistêmico**", que se ocupa de questionar justamente a cadeia infinita de porquês em que nos envolveríamos se não admitíssemos algumas verdades a partir das quais deduziríamos outras. Formas de expressar essa questão estiveram presentes em várias questões já levantadas na história da Filosofia, como o "trilema de Münchhausen" e o de Fries (cf. RODRIGUES, 2013, pp. 61s e SCHORN, 2010, p. 138), que mantêm certas semelhanças no final das contas.

Para detalhar o tópico em questão, vou tomar o segundo deles como ilustração: o **Trilema de Fries** é a apresentação de três soluções para o problema "em quem estamos confiando para acreditar em algo?". Por exemplo, para acreditarmos no fato de que existem as grandes pirâmides de Guizé, no Egito, temos de adotar ao menos uma dessas opções:

1. **Acreditar na autoridade de alguém e na veracidade do que essa autoridade nos diz** (no caso, acreditar no relato das pessoas que dizem ter ido até Guizé e visto as pirâmides e crer que esses avistamentos são prova suficiente da existência das tais construções);

2. **Acreditar na autoridade dos nossos próprios sentidos**. Seguindo nosso exemplo, poderíamos ir por nós mesmos até Guizé para ver as pirâmides, mas teríamos de acreditar em nossos sentidos (por exemplo, que, ao vermos as pirâmides, não estaremos apenas tendo alucinações);

3. **Regressão infinita**. No nosso exemplo, poderíamos duvidar de todos os relatos e experiências, questionando o porquê de serem válidos, mas isso nos levaria a fazer infinitas perguntas (ou seja, jamais terminaríamos e jamais conseguiríamos informação alguma).

Percebe-se que essas três opções são todas problemáticas, cada uma apresentando seus próprios defeitos. A conclusão que tiramos após pensar nesse trilema seria que é impossível fugir de todos esses defeitos e, portanto, nunca podemos acreditar 100% em algo a não ser por um ato de confiança ou mesmo fé.

Voltando ao nosso exemplo da dona Amélia e do senhor Breno… Mesmo na suposição de que sr. Breno nunca age de má-fé, é preciso supor também, para crer no seu testemunho, que ele não tem alucinações, porque bem poderia ele não mentir sobre ter visto um gato, não de propósito, mas ter - o que não seria culpa sua e não constituiria uma mentira moralmente condenável ou ato de má-fé - alucinado e visto um gato entrar na sua garagem sendo que tal gato nem tivesse existido. Isso serve para ilustrar que, quando fazemos uma consideração ou dedução, usualmente somos obrigados a considerar **hipóteses acessórias** ou **hipóteses adicionais**, a fim de dar suporte ao nosso raciocínio.

E o que seriam essas hipóteses acessórias? De fato, elas são comuns não apenas no cotidiano (como o exemplo do gato de dona Amélia) como também nas Ciências. Por exemplo, quando dizemos que a teoria de Newton sobre o movimento dos corpos está resumida nas suas famosas três Leis, não estamos esperando que apenas essas Leis, sem nenhum tipo de **teoria acessória** seja suficiente para explicar os movimentos. Por exemplo, para cronometrarmos o movimento de um corpo, é preciso aceitar certos princípios do funcionamento do nosso cronômetro; para estabelecermos a massa desse corpo, é preciso aceitarmos certas hipóteses sobre o funcionamento da balança... e assim por diante. De fato, o uso de hipóteses ou teorias adicionais é sempre necessário em qualquer Ciência e mesmo no nosso cotidiano.

III.3. Duas falácias: a afirmação do consequente e a negação do antecedente

Apresentaremos, a seguir, dois erros correspondentes ao desvio dos modos de afirmação e de negação, apresentados há pouco.

III.3.a. A falácia da afirmação do consequente:

Essa falácia consiste em partir da **afirmação do consequente** e deduzir, a partir dela e de modo equivocado, a afirmação do antecedente. Ou seja: a estrutura (logicamente inválida) dessa falácia é a seguinte:

$$
\begin{array}{r}
A \rightarrow B \\
B \\
\hline
A
\end{array}
$$

(C.3) *Falácia da afirmação do consequente*

Note-se que a estrutura dessa falácia corresponde a supor que, uma vez válida a "ida" (***A* → *B***), necessariamente vale também a volta (***B* → *A***), o que é falso! Com efeito, o fato de *A* implicar *B* não garante que *B* implique *A*. Caso valha a implicação em ambos os sentidos, usamos o símbolo "↔", o qual lê-se "se, e somente se", ou "equivale a". Vejamos isso em um exemplo de aplicação desse raciocínio falacioso:

1. Todo paulista é brasileiro;
2. José é brasileiro;
3. Logo, José é paulista.

Ora, é evidente que José não é necessariamente paulista. Sendo brasileiro, ele poderia ser, também, mineiro, baiano, paraense, catarinense etc. De fato, a derivação anterior seria verdadeira caso não apenas alguém fosse brasileiro *se* fosse paulista mas, também, caso se pudesse dizer que alguém é brasileiro *somente se* for paulista. É por isso que o símbolo da validade da "ida e da volta", ou da dupla implicação, "↔", é lido como "se, e somente se".

III.3.b) A falácia da negação do antecedente

A próxima falácia formal que vale a pena mencionar é a que consiste em, partindo da negação do antecedente, negar o consequente. Ou seja, referimo-nos à falácia com a seguinte estrutura:

$$\begin{array}{r} A \rightarrow B \\ \neg A \\ \hline \neg B \end{array}$$

(C.4) *Falácia da negação do antecedente*

Lendo a estrutura dessa falácia, teremos algo assim: "Sempre que ocorre A, ocorre também B. Ora, A não aconteceu, então B também não aconteceu". Isso é claramente falso, como talvez fique mais claro se voltarmos ao exemplo do brasileiro José:

1. Todo paulista é brasileiro;
2. José não é paulista;
3. Logo, José não é brasileiro.

Novamente, os contra-exemplos cabíveis são: José pode ser mineiro, baiano, pernambucano etc. Nesses casos, ele não será paulista e mesmo assim será brasileiro.

Uma forma de introduzir essa falácia aos estudantes poderia ser por meio de alguma anedota, porque há algumas piadas que tratam justamente de elementos de Lógica e podem ser úteis em sala de aula. A esse respeito, peço licença para apresentar uma como exemplo:

Manulino (M) encontra seu amigo Joselídio (J) lendo um livro e pergunta:

M: - O que você está estudando?

J: - Estou aprendendo Lógica.

M: - E o que é isso?

J: - Vou lhe dar um exemplo… Você tem aquário em casa?

M: - Sim, tenho.

J: - Então suponho que você tem peixes, porque aquários são inúteis sem peixes. E, se tem peixes, é provável que tenha crianças em sua casa, porque geralmente as crianças gostam muito de animais de estimação, incluindo peixes. Logo, concluo que você tem filhos.

M: - Está correto! Que maravilha é essa tal Lógica!

Saindo dali, ainda espantado com o poder da Lógica, Manulino encontra seu amigo Perônio (P) e vai logo lhe contanto a novidade:

M: - Perônio, meu amigo, você não sabe da última: eu aprendi Lógica!

P: - E o que é Lógica?

M: - Vou dar um exemplo: Você tem aquário em casa?

P: - Não.

M: - Então você não tem filhos.

É evidente que mesmo a dedução de Joselídio tem seus pontos fracos; por exemplo, Manulino poderia usar o aquário para outras coisas ou tê-lo por gostar ele mesmo de peixes, sem qualquer necessidade de que isso representasse ele ter filhos, além de ser possível ter crianças que não sejam seus filhos em sua casa, evidentemente. Mas o foco da piada, sua graça, está justamente no fato de que Manulino aplica a falácia da negação do antecedente: a negação da premissa (ter aquário) não implica a negação da conclusão (ter filhos). E o fato de essa piada ser conhecida e apresentar graça para pessoas que sequer ouviram falar sobre a falácia da negação do antecedente atesta que algo sobre as regras de inferência (e suas correspondentes falácias) está presente na nossa intuição.

Anedotas assim podem ser encontradas facilmente e, somam-se às músicas, às obras literárias e a fontes culturais que podem enriquecer os assuntos em aulas, afinal, aprender algo sobre Lógica não precisa ser maçante, como nada precisa ser assim nas aulas: o conhecimento, na verdade, é um instrumento capaz de aumentar o universo das piadas que têm graça (não por menos que piadas técnicas fazem cientistas rirem, enquanto certamente não teriam o mesmo efeito sobre leigos – de modo que a ideia de que aprender é algo pesado e representa um sacrifício não precisa nem deveria condizer com a realidade).

III.4. A afirmação do consequente como tentadora na prática científica

Antes de prosseguir, voltamos a alertar o leitor sobre haver uma importante diferença entre dizer "*de A demonstra-se B*" e dizer "*A implica B*" ("*A → B*"). Com efeito, essas expressões não significam exatamente a mesma coisa, mas o teorema da implicação, já mencionado no capítulo I, permite que, para as finalidades deste trabalho, ambas possam ser intercambiáveis para o cálculo de probabilidades.

Aparentemente, o fazer científico frequentemente flerta com a falácia da afirmação do consequente quando ocorre o seguinte:

Seja T uma teoria que pretende ser explorada numa dada ciência. Se essa teoria faz uma previsão experimental, seja E a afirmação de que essa previsão experimental de fato se verifica. Então podemos escrever

$$\boldsymbol{T \rightarrow E} \tag{C.5}$$

Suponha-se que, após acurados testes experimentais, a comunidade científica chegue a uma conclusão que, por simplicidade, consideraremos praticamente unânime: a de que E é falsa. Então, digamos que houve um quase consenso de que

$$\boldsymbol{\neg E}.$$

Nesse caso, C.1 (*Modus Tollens*) assegura que $\neg T$, o que nos leva a concluir que **a teoria *T* é falsa**. Logo, se **E é falsa**, então **T é falsa** também. Isto é, se a previsão de uma teoria falha (excluindo casos de falseacionismo ingênuo, como supor que um simples experimento pode refutar uma teoria, quando, na prática, as medidas têm margens de erros, os equipamentos podem estar com defeito, as montagens experimentais podem estar mal feitas etc.), podemos dizer que a teoria está “errada”. Até aqui, o *Modus Tollens* nos leva a uma conclusão bastante intuitiva, portanto.

Agora, suponhamos que a conclusão quase consensual tenha sido a de que, efetivamente, E verificou-se verdadeira. Por exemplo, imaginemos que T seja o Modelo Padrão das Partículas Elementares e que E aponte a verificação da existência de uma determinada partícula - digamos, o bóson de Higgs.

Nesse exemplo, o quase consenso de que *E* é verdadeira equivaleria ao fato de a comunidade dos físicos de partículas concordar, quase unanimemente, que o referido Bóson tenha sido de fato encontrado e que, portanto, sua existência está confirmada dentro do então modo de pensar típico (ou paradigmático) da Física de Partículas. Na nossa notação, escreveríamos

$$\boldsymbol{E}.$$

A partir do fato da existência do bóson de Higgs (uso a palavra "fato" por simplicidade, porque é algo ainda questionável), que estamos associando à afirmação *E* (neste caso, *E* seria a afirmação "o bóson de Higgs existe"), é natural que os defensores de *T*, no nosso exemplo representando o Modelo Padrão, sintam-se satisfeitos e experimentem uma nítida sensação de sucesso. É intuitivo, também, que se interprete *E* como evidência favorável a *T*.

No entanto, mesmo que idealizemos que a veracidade de *E* é verdade incontestável (não há como ser, mas adotemos esse caso-limite ideal de "certeza absoluta") e que não tenhamos nem a menor sombra de dúvidas que $T \rightarrow E$ (novamente, isso é uma idealização de caso-limite que, de fato, é inatingível, mesmo a princípio), nem mesmo nessa idealização forçada poderemos concluir que seja inequívoca a veracidade de *T*.

Caso concluíssemos de modo absoluto pela veracidade de *T*, teríamos dado, resumidamente, os seguintes passos:

$$\frac{\begin{array}{r} T \rightarrow E \\ E \end{array}}{T}$$

(C.6) *Caminho de confirmação da teoria T pela verificação de sua previsão empírica E*

Pela (C.3), vemos claramente que o caminho (C.6) é uma realização da falácia da afirmação do consequente.

Em resumo, o fato de a previsão de uma teoria verificar-se empiricamente é necessário mas não é suficiente para afirmar que a referida teoria seja verdadeira. Ainda que uma teoria faça uma série de previsões teóricas e todas estas se verifiquem, não estamos autorizados a declarar verdadeira a tal teoria. Se o fizermos, estamos incorrendo em uma falácia formal.

Contudo, é intuitivo que o acúmulo de previsões bem-sucedidas de uma teoria vai aumentando a probabilidade de esta ser verdadeira, sobretudo quando não se vislumbram facilmente outras teorias que façam as mesmas previsões.

Portanto, podemos intuir os seguintes resultados:

Resultado Intuitivo 1. O sucesso de uma teoria em suas previsões não é garantia de sua veracidade, sendo necessário - porém não suficiente - para tal veracidade;

Resultado Intuitivo 2. Dado o acúmulo de previsões bem-sucedidas de uma teoria, tem-se um aumento da probabilidade de esta ser verdadeira.

III.5. Teoremas sobre a probabilidade de uma teoria ser verdadeira dado seu sucesso preditivo

O Resultado Intuitivo 1 é demonstrado pelos formalismos desenvolvidos há pouco. Contudo, resta demonstrar o Resultado Intuitivo 2 com formalismo lógico.

Para isso, é necessário introduzir as seguintes notações:

$$\mathbf{p(A)} \qquad \text{e} \qquad \mathbf{p(B|A)},$$

sendo a primeira a designação de “probabilidade de A”, simbolizando a probabilidade de ocorrer um evento *A* ou de uma afirmação *A* ser verdadeira; e sendo a segunda a representação da “probabilidade de *B* dado *A*”, isto é, a probabilidade de ocorrer *B* dado que ocorreu *A* ou a probabilidade de *B* ser verdade uma vez que já se sabe que *A* é (ou será) verdade (Nota: Em geral, os símbolos lógicos não traduzem tempo verbal; mas estamos cometendo esse abuso de leitura, aplicando tempos verbais passados ou futuros, como quando dizemos “ocorreu” ou “será”, para efeito de facilitar a compreensão do leitor, isto é, para fins meramente “didáticos”).

Os valores de probabilidade são números no intervalo fechado [0;1], onde $p(A)=0$ significa que *A* é “impossível” e $p(A)=1$ indica que *A* é “certo”.

Para motivar a definição de $p(B|A)$, pensemos no seguinte exemplo: Suponha que metade da população de um país é composta de mulheres; logo, a probabilidade de, ao escolher aleatoriamente uma pessoa desse país, ser verdadeira a afirmação *M*, “a pessoa escolhida é mulher” é de ½. Suponha, agora, que, numa dada época, 1% das pessoas do país estão grávidas. Então qual seria a probabilidade de, escolhendo uma pessoa aleatoriamente nesse país, serverdadeira a afirmação *G,* “A pessoa escolhida está grávida”? Evidentemente, essa probabilidade é de 1/100 ou uma em cem.

Agora, qual a probabilidade de *G* ser verdadeira dado que *M* é verdadeira?

Vamos imaginar, para simplificar as contas, que o referido país tem 200 pessoas e que somente as mulheres ficam grávidas. Assim sendo, teremos:

- PT = População total = 200;
- NM = Número de mulheres = 100 (metade de 200);
  - NG = Número de pessoas grávidas = 2 (1% de 200).

Daí concluímos que, se há 2 pessoas grávidas, então a probabilidade de *G* (isto é, a probabilidade de ser verdadeira a afirmação "a pessoa escolhida está grávida") ser verdade quando sabemos que *M* é verdade (isto é, é verdadeira a frase "a pessoa escolhida é mulher") é de 2/100.

Para casos mais gerais, é preciso fazer as contas com letras. O cálculo que fizemos foi, de modo mais geral: p(G|M) = p(M^G) / p(M), onde:

- p(G|M) = probabilidade de *G* dado que *M*;
- p(M^G) = probabilidade de *M* e *G* serem verdadeiras;
- p(M) = probabilidade de *M* ser verdadeira.

Generalizando, estamos motivados, por estar de acordo com a nossa visão intuitiva de probabilidades, a definir, de agora em diante, que:

$$p(B|A) = p(A \wedge B) \, / \, p(A) \qquad \textbf{(C.7)}$$

Essa equação mostra a definição de uma probabilidade condicional, ou seja, da probabilidade de ocorrer um evento *B* dado que ocorreu um evento *A*, isto é, *p(B|A).* Nessa expressão, *p(A^B)* pode ser lido como "probabilidade de ocorrerem A *e* B simultaneamente".

Ainda definindo probabilidades de acordo com nossa intuição, vamos buscar uma relação que expressa o significado da probabilidade de algo ***<u>não</u>*** ocorrer. Lembrando da notação anteriormente definida: usamos ¬*A* como sendo "não-A" e $\neg B$ como sendo "não-B". Assim, diremos que, para uma afirmação *A* qualquer:

$$p(A) + p(\neg A) = 1 \qquad \textbf{(C.8)}$$

Isso expressa um conceito muito intuitivo das probabilidades, o qual dita que, sendo *A* uma afirmação clara e coerente, há 100% de certeza de que ou *A* ocorre ou *A* não ocorre. Por exemplo, um meteorologista não corre nenhum risco de errar se disser "Amanhã ou vai chover ***ou*** não vai chover"; esse tipo de afirmação tem probabilidade unitária (ou 100%) de ser acertada.

Além disso, se o meteorologista do exemplo disser "Amanhã há 70% de chance de chover", intuitivamente sabemos que os restantes 30% podem ser entendidos como a probabilidade de não chover. O que está sendo intuído, portanto, é que a probabilidade de algo ocorrer somada à de esse mesmo algo não ocorrer é *um* (ou seja, "100%" num jargão mais informal).

III.5.a. O Teorema de Bayes e a hipótese de Stalnaker

A partir de (C.7), podemos escrever a probabilidade de *A dado B*, que fica:

$$p(A|B) = p(B{\wedge}A) / p(B) \qquad \textbf{(C.9)}$$

Uma vez que p($A{\wedge}B$) é igual a p($B{\wedge}A$), então a comparação de (C.7) com (C.9) nos leva a concluir que

$$p(B|A) = p(A|B)\, p(B) / p(A) \qquad \textbf{(C.10)}$$

Esse resultado é conhecido como **Teorema de Bayes** (FARIAS, s/d, p. 124).

A fim de calcularmos a probabilidade de uma implicação, por exemplo, a probabilidade de um evento *A* implicar um evento *B*, que denotaremos por $p(A \rightarrow B)$, podemos usar a **hipótese de Stalnaker** (DIETZ & DOLVEN, 2011, p. 1; SILVA, 2012, p. 2), que defende a seguinte igualdade (por vezes também chamada "**tese de Adams**", como em SILVA, 2009, pp. 53-56, e em WAGNER, 2004, p. 3):

$$p(A \rightarrow B) = p(B|A) \qquad \textbf{(C.11)}$$

Ou seja, segundo essa tese, a probabilidade de "*A implicar B*" é a mesma coisa que a probabilidade de "*B ocorrer dado que A ocorreu*".

Não vamos avaliar os argumentos que Stalnaker propõe para defender essa equação, mas gostaríamos apenas de salientar que ela não deixa de ser um tanto intuitiva, na medida em que de fato parece haver semelhança entre pensar que *A implica B* e que *dado que A ocorreu, B ocorrerá*. No entanto, a hipótese de Stalnaker ou tese de Adams não é unanimemente aceita, como se pode perceber ao notar a existência de outras formas de definir $p(A \rightarrow B)$. Com efeito, existem também - apenas para citar poucos exemplos - a tese de Lewis (cf. SILVA, 2009, pp. 23-54), que não abordaremos, e a implicação material, que será explorada em breve.

Uma vez, contudo, que a adotemos (malgrado suas limitações e críticas), a hipótese de Stalnaker (C.11), substituída no teorema de Bayes (C.10), leva ao seguinte resultado:

$$p(A \to B) = p(B \to A)\, p(B) / p(A),$$

$$\text{ou seja, } p(E \to T) = p(T \to E)\, p(T) / p(E)$$

(C.12)

Essa equação nos permite, finalmente, após essa relativamente longa digressão, dar uma justificativa formal para o "Resultado Intuitivo 2", exposto anteriormente. Com efeito, ela mostra que, dada uma teoria *T* que implique uma previsão empírica *E*, ou seja, dado $T \to E$, o fato de observarmos que *E* ocorre (ou, idealmente, de chegarmos a relativa segurança para afirmar que *E* é verdade), embora não permita concluir que certamente *T* está correta, nos autoriza a concluir que a probabilidade de *T* ser verdadeira é aumentada pela verificação de *E*.

Ou seja: havíamos mostrado, anteriormente, que, se uma teoria implica uma previsão experimental, a observação ou verificação de que essa previsão de fato ocorre não é suficiente para dizermos que a teoria estava correta. No entanto, mostramos, também, que era intuitivo que a probabilidade de a teoria estar correta é favorecida (ou aumenta) à medida que se confirmam suas previsões com experimentos e observações.

Esse fato, antes apresentado apenas de modo intuitivo, está agora devidamente formalizado pela demonstração de (C.12). Isso é concluído pelo fato de que essa equação deixa claro que $p(E \to T)$ é proporcional a $p(T \to E)$.

Aliás, o fato de *T* implicar *E* está sendo tomado como dado, uma vez que é a mera afirmação de que a teoria *T* faz a previsão *E*. Isso nos autoriza a interpretar $p(T \to E)$ como sendo igual a *1*, porque essa implicação é certa (supondo-se, claro, que a dedução de *E* a partir de *T* foi feita corretamente; por exemplo, sem ter havido um erro de cálculo quando algum estudioso da teoria *T* mostrou que ela faz previsão do fenômeno *E*).

A equação (C.12) também formaliza outras conclusões que não deixam de saltar aos olhos por serem também intuitivas:

1. Supondo p(T) constante, quanto menor o valor da probabilidade intrínseca de *E*, isto é, quanto menor o valor de *p(E)*, mais provável será que *E* implique *T*: isso é de fato intuitivo e demonstra uma conclusão de grande relevância, porque uma teoria que faz uma previsão muito comum, isto é, muito fácil de se cumprir, estará diante de muitas concorrentes, ou seja, terá muitas teorias rivais que façam a mesma previsão; desse modo, o seu sucesso ao prever *E* não será mérito seu, mas essa teoria terá de "dividir os louros" com suas rivais que também fazem essa mesma previsão (isso porque, quanto maior for *p(E)*, é de se supor que maior será o número de teorias rivais que também prevejam *E*) - com efeito, isso vai ao encontro de algo que já era bem defendido por Popper, a saber, que o cientista deveria ousar elaborar teorias e hipóteses que mostrem maior atrevimento:

> *Quanto mais ousada a teoria, tanto mais ela nos diz - e mais atrevido o ato imaginativo. (Simultaneamente, contudo, torna-se maior a probabilidade de ser falso o que a teoria afirma e é preciso submetê-la a testes rigorosos para verificá-lo.) A maior parte das grandes revoluções científicas deveu-se a teorias temerárias, que exigiram imaginação criativa, profundidade de visão, independência de espírito e um pensamento desejoso de aventurar-se em regiões inseguras*. (MAGEE, 1977, p. 28; grifos nossos).

2. A probabilidade de *E* implicar *T* é proporcional à probabilidade intrínseca (ou "*a priori*" ou "anterior") de *T* ser verdadeira: esse fato é também intuitivo e fica formalmente estabelecido quando pensamos no conceito de implicação material, isto é, nos termos apresentados no capítulo II, em especial na Tabela 2-1.

Formalizamos, finalmente, o Resultado Intuitivo 2. Contudo, para isso, adotamos a hipótese de Stalnaker. Faremos uma formalização semelhante, a seguir, porém usando elementos de Lógica Proposicional e explorando o conceito de **implicação material** (vide capítulo II).

Ficará evidente que, também nessa abordagem (cujo formalismo pessoalmente consideramos mais elegante e mais aceitável que a hipótese de Stalnaker), o Resultado Intuitivo 2 e as conclusões "1" e "2" há pouco discutidas mantêm-se válidos! Esperamos com isso convencer o leitor de que essas conclusões, outrora apenas intuitivas, são formalizáveis com o uso da Lógica e da Teoria de Probabilidades, ainda que existam divergências, entre os especialistas, sobre a melhor forma de definir a probabilidade de um evento implicar outro e ainda que usemos um sistema lógico mais "conservador" como o é a Lógica Proposicional Clássica.

III.5.b. Um teorema de implicação material

Nesta seção, farei uso da interpretação do símbolo "→" como representando implicação material.

Usando a primeira igualdade de B.1 (do capítulo II), poderemos escrever

$$p(A \to B) = p[(\neg A) \vee B] \qquad \textbf{(C.13)}$$

Voltaremos a essa igualdade mais tarde. Por enquanto, retomemos o exemplo do nosso pequeno país hipotético, com apenas 200 habitantes, onde metade da população é mulher e 1% da população está gravida. Representemos por *H* a afirmação de que a pessoa sorteada aleatoriamente é homem e vamos estudar as seguintes afirmações:

- $H \vee M$: “a pessoa sorteada é homem ou mulher”;
- $H \vee G$: “a pessoa sorteada é homem ou está grávida”;
- $M \vee G$: “a pessoa sorteada é mulher ou está grávida”.

Qual a probabilidade de cada afirmação anterior estar correta, isto é, quanto valem $p(H \vee M)$, $p(H \vee G)$ e $p(M \vee G)$?

Vamos assumir, para simplificar, que p(H) = p (M) = ½, isto é, que há dois, e apenas dois, gêneros de pessoas nesse país: homens e mulheres, ninguém podendo pertencer a ambos simultaneamente, e lembremos que p(G) = 1/100.

Assim, é fácil concluir que p(H v M) = p(H) + p (M) = ½ + ½ = 1, bem como é fácil concluir que p(H v G) = p(H) + p(G) = ½ + 1/100 = 51/100.

Porém, se fizermos o cálculo de p(M v G) desse modo, obteremos p(M) + p(G) = ½ + 1/100 = 51/100, o que está errado, porque todas as pessoas grávidas são também mulheres, de maneira que o valor correto para p(M v G) é de apenas ½.

Assim, de modo mais geral, se as afirmações A’ e B’ são totalmente independentes entre si, vale que:

$$p(A' \vee B') = p(A') + p(B') \qquad \textbf{(C.14)}$$

Mas, para o caso em que pode acontecer de A’’ e B’’ serem simultaneamente verdadeiras, isto é, quando $p(A'' \wedge B'') > 0$, vale que:

$$p(A'' \vee B'') < p(A'') + p(B'') \qquad \textbf{(C.15)}$$

Com efeito, para o caso de mulheres grávidas, teríamos de calcular da seguinte forma:

$$p(M \vee G) = p(M) + p(G) - p(M \wedge G) \qquad \textbf{(C.16)}$$

Parece razoável generalizar a ideia contida no exemplo da (C.16) para afirmações *A* e *B* quaisquer, de onde definiremos, por estar de acordo com nossa intuição, que:

$$p(A \vee B) = p(A) + p(B) - p(A \wedge B) \qquad \textbf{(C.17)}$$

Agora podemos finalmente dar sequência à equação (C.13). Simplificando um pouco a notação, vamos reescrevê-la como:

$$p(A \rightarrow B) = p(\neg A \vee B) \qquad \textbf{(C.18)}$$

Usando a (C.17), ficaremos com:

$$p(A \rightarrow B) = p(\neg A) + p(B) - p(\neg A \wedge B) \qquad \textbf{(C.19)}$$

Mas a equação (C.8) nos mostra que $p(\neg A) = 1 - p(A)$. Então, substituindo essa expressão na C.19, ficamos com:

$$p(A \rightarrow B) = 1 - p(A) + p(B) - p(\neg A \wedge B) = 1 - p(\neg A \wedge B) - p(A) + p(B) \qquad \textbf{(C.20)}$$

Notemos, então, que a segunda linha de B.1 (do capítulo II) nos ajuda a entender o que vem a ser $p(\neg A \wedge B)$: se substuirmos *a* por *B* e *s*ubstituirmos *b* por *A* nessa segunda linha de B.1, descobriremos que $\neg A \wedge B = \neg(B \rightarrow A)$.

Então, substituindo essa igualdade na (C.20), teremos

$$p(A \rightarrow B) = 1 - p[\neg(B \rightarrow A)] - p(A) + p(B) \qquad \textbf{(C.21)}$$

Mas, lembrando que *1 - p(¬X) = p(X),* conforme a (C.8), então podemos dizer que *1 - p[¬(B→A)] = p(B→A)*. Substituindo isso na (C.21), teremos, finalmente, que *p(A → B) = p(B → A) - p(A) + p(B);* ou, se preferirmos:

$$\mathbf{p(E \rightarrow T) = p(T \rightarrow E) - p(E) + p(T)} \qquad \textbf{(C.22)}$$

Essa equação (C.22), que constitui o teorema de que trata o título desta seção, tem propriedades semelhantes às da (C.12). O que era operação de multiplicação na (C.12) torna-se soma na (C.22). O que era divisão tornou-se subtração. De fato, são operações muito distintas, mas lembremos que tanto a divisão quanto a subtração por positivos têm um efeito decrescente (quanto maior o número pelo qual se divide ou o qual se subtrai, menor o resultado final) e tanto a multiplicação quanto a adição de positivos têm efeito crescente (quanto maior o número que multiplica ou que soma uma quantidade, maior o resultado final).

Desse modo, alguma explicação do Resultado Intuitivo 2 e também as conclusões “1” e “2” da equação (C.12), discutidas anteriormente, podem ser obtidas por meio de raciocínio análogo para a equação (C.22).

Apesar disso, elas são equações diferentes, o que se deve ao fato de partirem de conceitos distintos de implicação (isto é, interpretam o símbolo “→” de maneira diferente): a C.22 usa a implicação material, enquanto a C.12 usa a hipótese de Stalnaker.

Observação: Vale comentar que não é citada, aqui, nenhuma referência bibliográfica para a C.22 (e por isso desculpo-me com o leitor) porque não consegui encontrar nenhuma fonte onde essa equação tivesse sido apresentada (apesar disso, suponho não ser inédita, uma vez que sua derivação é relativamente simples).

III.5.c. Um parêntese: interpretação probabilística do princípio de indução

Entendemos por indução o princípio pelo qual passamos a acreditar em uma Lei natural a partir da repetição desta. Por exemplo, depois de os cientistas observarem, em muitos experimentos, que a energia total se conserva em sistemas isolados, concluíram que a conservação da energia é uma lei de validade universal.

De fato, nada garante a validade do princípio de indução. Contudo, poderíamos entendê-lo de modo mais fraco: não como uma lei cuja validade estamos afirmando de modo absoluto, mas sim probabilístico. Nesse caso, a repetição de experimentos que mostrem a conservação da energia, por exemplo, não nos dá garantias absolutas da validade do princípio de conservação, mas nos permite considerar mais provável essa validade.

Contudo, embora essa interpretação probabilística do princípio de indução possa parecer sedutora, propomos um contraexemplo que apenas pretende mostrar que também essa interpretação padece de limitações: se temos uma lanterna a pilha e percebemos que, toda vez que movemos o interruptor para a posição “LIGAR”, ela acende, poderíamos concluir que, a cada vez que acionamos a lanterna, torna-se mais provável que na próxima vez ela acenderá; no entanto, é exatamente o oposto: quanto mais a lâmpada acende, menos energia sobra nas baterias e mais reduz-se a vida útil da lâmpada, de maneira que, a partir de certo ponto, vai aumentando a probabilidade de as baterias acabarem, fazendo com que reduza a chance de a lâmpada acender novamente.

O exemplo apresentado é um tanto artificial, mas basta para ilustrar que a repetição de um fenômeno, ao contrário de ser necessariamente uma evidência de que ele continuará ocorrendo, pode significar que deixará de ocorrer.

III.6. A verificação experimental de uma teoria como exemplo de raciocínio abdutivo

Até o momento, estivemos tratando o problema - de inferir que uma teoria *T* tem boas chances de ser verdadeira uma vez descoberto que sua(s) previsão(ões) empíricas *E* são verdadeiras - do ponto de vista do raciocínio dedutivo (do tipo, *se A, então B*) e tendo em vista uma única teoria *T* que preveja *E*.

Como veremos agora, esse tipo de rciocínio pode ser encarado como abdutivo. Contudo, o que anteriormente fizemos foi descrevê-lo de uma forma dedutiva com a introdução de uma abordagem probabilística: *dado E, então provavelmente T*. Assim, emprestamos uma inferência por abdução (*E porque T*) para criar uma inferência por dedução (*E, então provavelmente T*) que lhe fosse correspondente.

Discutiremos, agora, essa inferência em sua forma abdutiva, mas queremos sublinhar que nos parece que as C.12 e C.22 "justificam" probabilisticmente a abdução (de uma teoria explicando um fato empírico) a partir de sua forma "disfarçada" de dedução, de maneira que esperamos que essas equações sejam um bom exemplo de como, embora a Lógica se relacione mais diretamente com a inferência dedutiva que com outras formas de inferência, como a abdutiva, ainda assim essas formas de raciocínio inferencial podem encontrar respaldo nos elementos lógicos clássicos, como as regras de inferência dedutiva, as tabelas-verdade etc.

O raciocínio abdutivo consiste em inferir a melhor explicação para um fato. Nesse caso, poderíamos abordar a questão da seguinte forma: Dado que *E* acontece, qual a melhor explicação para isso?

Essa abordagem recorre à busca da "melhor" teoria ou da mais provável de ser verdadeira para explicar *E*. Poderíamos entendê-lo do seguinte modo:

$$T_1 \vee T_2 \vee \ldots \vee T_n \rightarrow E \qquad \textbf{(C.23)}$$

Nesse caso, não é imediato descobrir qual das teorias *T* explica *E*. O raciocínio abdutivo então teria a forma geral "*E* acontece; T_1, ..., T_n explicam *E*; mas T_m é a melhor dentre essas explicações". Nesse caso, "melhor" das explicações pode ser encarado como sinônimo de "mais provável".

A busca pela "melhor" ou "mais provável" explicação leva ao desenvolvimento de critérios para, comparando duas ou mais explicações *T*, determinar qual tem melhores chances de ser a "verdadeira" ou "quase verdadeira" ou, simplesmente qual é a "melhor".

Uma teoria é uma entidade da esfera epistemológica, por assim dizer, ou seja, faz parte do mundo das coisas que usamos para "entender" (ou "descrever") o mundo. Nisso o realista e o antirrealista concordam. O ponto em que discordam pode ser resumido ao seguinte: além dessa dimensão epistemológica do mundo, existe também uma dimensão ontológica, isto é, "do ser em si"?

A dimensão epistemológica pode ser entendida como o que sabemos sobre o mundo ou como o que entendemos do mundo, ou ainda a forma como vemos o mundo. Já a dimensão ontológica seria a que trata de como o mundo é de fato. Naturalmente, é de se supor que, quer exista quer não exista essa dimensão ontológica, não podemos ter acesso a ela, mas somente temos acesso ao universo epistemológico, ao "como achamos" que as coisas são.

O antirrealista considera sem sentido até afirmar a existência da esfera ontológica. Para ele, talvez quando dizemos, por exemplo, que o elétron tem carga -e, estejamos apenas abreviando uma frase mais longa: "da forma como entendemos o elétron e como ele funciona em nossas teorias, ele tem carga -e".

É evidente que as unidades de medida, as convenções de sinais e as notações, bem como as definições dos conceitos usados na ciência são arbitrárias e, portanto, foram criadas pelo homem. Isso o realista não nega. A questão do debate entre realismos e antirrealismos é se, além desse conjunto de coisas que nós convencionamos e além das coisas que nós captamos com os sentidos, existe uma dimensão ainda mais fundamental de como as coisas realmente são.

Esse debate é antigo e permanece aberto até hoje, havendo bons e elaboradíssimos argumentos de ambos os lados. No entanto, para o que nos interessa nesse momento, é suficiente dizer que os critérios de escolha da melhor explicação para um fenômeno podem ser encarados como simples artifícios para escolha de uma teoria a ser usada (na ótica antirrealista) ou como critérios de aproximação da verdade (na ótica realista). Posta essa distinção, finalizaremos a discussão sobre a abordagem abdutiva apontando dois exemplos de critérios para escolha da "melhor" teoria:

- O critério do sucesso explicativo/preditivo remete ao tamanho do poder que uma teoria tem de explicar o mundo; em resumo, uma teoria que explica mais coisas é melhor que uma teoria que explica menos coisas;

- O critério da simplicidade prescreve a busca pela teoria mais simples; isto é: se duas teorias explicam com mesmo grau de sucesso um conjunto de fenômenos, então a mais simples delas é a melhor.

Como o leitor deve ter imaginado e como nem sempre as coisas são fáceis, é muito frequente que a aplicação de ambos os critérios encontre certa dificuldade, porque muitas vezes a teoria com maior poder explicativo é a mais complexa e a mais simples muitas vezes é a menos capaz de explicar o mundo. Sendo assim, a ciência se desenvolve como um andar entre dois ambientes - o da simplicidade e o do poder explicativo - cabendo a todo momento buscar permanecer próximo em um terreno na intersecção entre ambos, sem pender muito para nenhum dos lados.

III.7. Os “paradoxos” da implicação material e as “teorias-sereias”

Há um curioso fato da Lógica clássica que não podemos deixar de comentar: a partir de qualquer premissa falsa pode-se demonstrar toda e qualquer proposição. Assim, por exemplo, dado que o céu é azul, estaríamos corretos se disséssemos “Camelos não sobem em árvore, dado que o céu é xadrez”. A premissa (que o céu é xadrez) é falsa; portanto, ela implica a conclusão verdadeira de que camelos não sobem em árvore. Mas premissas falsas não implicam apenas conclusões verdadeiras, e sim toda e qualquer proposição, incluindo as falsas, de maneira que também estaríamos corretos ao deduzir que “O céu é xadrez; logo, 1+1=3”.

Neste último exemplo, temos uma premissa e uma conclusão falsas, mas o processo de dedução em si está absolutamente correto. Afinal, como vimos antes, as tabelas-verdade apresentadas no capítulo II nos mostram que, caso *A* seja falso, então $A \rightarrow B$ será verdadeiro. Outra forma de demonstrarmos esse teorema (de que uma proposição falsa implica toda e qualquer proposição) é a seguinte:

Temos, pela segunda equivalência dada pelo B.1 (do capítulo II), a qual estabelece $\neg(\boldsymbol{a}\rightarrow\boldsymbol{b}) \leftrightarrow (\boldsymbol{a} \wedge \neg\boldsymbol{b})$, que a única forma de *A* não implicar *B* seria se *A* fosse verdadeiro e simultaneamente *B* fosse falso. Notemos o que acabamos de dizer: “*A não implica B*” equivale a “*A é verdadeiro* ***e*** *B é falso*”. Ora, quando falamos *x* ***e*** *y*, com o uso da conjunção ***e***, estamos dizendo que tanto ocorre *x* quanto ocorre *y*. No caso que estamos analisando, estamos dizendo que, para *A* não implicar *B*, então precisam ocorrer duas coisas: (1.ª) *A* terá de ser verdadeiro **<u>e</u>** (2.ª) *B* ser falso.

Não nos interessa, para demonstrar o teorema, observar essa 2.ª necessidade, mas temos de nos ater à 1.ª. Ora, se estivermos partindo de uma premissa *A* que é falsa, então essa 1.ª condição jamais será satisfeita e, portanto, não poderemos dizer que *A* não implica *B*. Portanto, para *A* falso, **<u>não</u>** se pode dizer $\neg(A\rightarrow B)$.

Mas, em Lógica clássica, uma proposição é necessariamente somente verdadeira ou somente falsa. Esse princípio é chamado **bivalência**, porque apenas existem esses dois valores para cada proposição assumir: verdadeiro e falso. Outro princípio que impera é o da **não-contradição**, que determina que jamais se pode ter A e $\neg A$ simultaneamente. Juntos, esses dois princípios dão origem ao do **terceiro excluído**, que determina o seguinte: se uma afirmação é falsa, sua negação será verdadeira, e vice-versa. Portanto, se "para A falso, **não** se pode dizer $\neg(A \to B)$", então "para A falso, conclui-se que $(A \to B)$"

Daí concluímos que uma afirmação falsa implica toda e qualquer afirmação. Esse é um dos famosos paradoxos da implicação material (cf. ROCHA, 2013; HAACK, 2002, p. 68), que são 3, conforme segue, para A e B representando afirmações quaisquer:

$$A \to (B \to A)$$

$$\neg A \to (A \to B)$$

$$(A \to B) \vee (B \to A) \qquad \textbf{(C.24)}$$

Esse "paradoxos" são assim chamados por representarem algo contrário à intuição comum, mas as três afirmações de C.24 são corolários bastante curiosos, admito, da Lógica clássica. Vamos interpretá-los, um por um...

O segundo vem do que acabamos de discutir (que, de uma afirmação falsa, deduz-se toda e qualquer afirmação). Já o primeiro e o terceiro são apenas outra forma de colocar alguns dos fatos mais estranhos que se destacam da Tabela 2-1: o primeiro teorema diz que, se A é verdadeira, então qualquer afirmação implica A (o que se verifica, na tabela, pelo fato de que $A \to B$ é sempre verdadeiro quando B também o é); já o terceiro diz que, dadas quaisquer duas afirmações, ou a primeira implica a segunda ou vice-versa (isso se pode verificar na Tabela 2-1, quando se nota que o único caso em que A não implica B é quando A é verdadeiro mas B não é; no entanto, nesse exato caso, pode-se dizer que *B* implica *A*, de modo que, quando *A* não implica *B*, então certamente *B* implica *A*). Mas atenhamo-nos ao segundo paradoxo...

Vimos que, partindo de premissas falsas, seremos capazes de provar qualquer coisa. Daí que o cuidado com as premissas que escolhemos, por exemplo, em um debate seja tão importante. De fato, uma pessoa que questiona cuidadosamente cada premissa que ela ou outra pessoa (que esteja dialogando com ela, por exemplo) apresenta e se debruça demoradamente sobre cada afirmação, cada dado, cada informação que recebe, uma pessoa assim, embora possa parecer o tipo de companhia que muitos consideraríamos desagradável ou exigente em excesso, pode ser, na verdade, uma pessoa que não está fazendo nada mais do que exercer com lucidez suas faculdades racionais.

Pensemos um pouco nisso, fazendo já uma digressão: tendemos a considerar exagerada ou simplesmente “chata” a criança que está em sua fase do “por quê?”. Mas, com efeito, admitamos que muitas das perguntas desse tipo de criança são bastante racionais e até mesmo elogiáveis do ponto de vista de uma Lógica formal. Não que sua formulação esteja seguindo padrões e notações usuais da Lógica, mas muitas dessas perguntas são verdadeiramente cabíveis e capciosas. É bem possível que tendamos a fugir dessas perguntas não por elas serem impertinentes, mas por serem de tal modo cabíveis e por estarmos de tal modo desprovidos de uma resposta adequada que o simples da pergunta já serve para nos “colocar contra a parede” e trazer à tona que podemos estar redonda e adultamente enganados.

Mais que isso: quando pensamos que perguntas infantis são simplesmente frutos de mentes imaturas, talvez estejamos querendo apenas evitar a conclusão alternativa: que a aquisição dessa “maturidade” da qual tanto nos ufanamos pode não passar de um longo processo de simples condicionamento cognitivo ou doutrinação ideológica. Muitas das perguntas de uma criança poderiam ser respondidas pela fórmula geral “Porque é assim que o mundo funciona”. Mas o fato de nos contentarmos com essa resposta não quer dizer que a questão está realmente respondida de modo satisfatório: antes pode ser um sinal de que simplesmente vivemos o suficiente para nos conformarmos que o mundo é assim.

Ora, o fato de o mundo estar configurado de uma certa maneira não invalida a pergunta infantil formulada de outro modo: “Por que o mundo foi configurado desse modo?” ou, para sermos ainda mais claros, “Por que não reconfiguramos o mundo para que ele venha a ser de outro modo?”.

Essa curta digressão se refere a nada menos que o educar. Afinal, esse tipo de pergunta está presente em salas de aula e é proferido por estudantes que muitas vezes saem das aulas sem obterem uma resposta à altura de suas perguntas incompreendidamente profundas.

O pior é que muitas vezes esse estudante questionador pode vir a ser rotulado de pouco inteligente. Um fato que deve ser conhecido de todo educador é que perguntar não é um ato de pouca, mas - ao contrário - de muita inteligência. E deveria ser o perguntar, mais do que o responder, o intuito da educação.

Com efeito, as perguntas de nossos estudantes podem ocultar questões muito profundas da Epistemologia. Quando ensinamos algum conceito ou algum princípio a um estudante, este pode indagar “Mas como sabem disso?”. E é essa uma das perguntas que provavelmente um professor mais ouvirá ao longo de sua carreira. Antes de dizer que precisamos estar preparados para responder a esse tipo de coisa, parece-nos que há algo a ser feito: sabermos reconhecer que essa pergunta é mais importante que muitas das afirmações que nosso estudante pode vir a memorizar ou que muitas das convicções que ele pode vir a obter em sua vida.

Precisamos investir em formar educadores que saibam reconhecer nesse tipo de pergunta um lampejo de genialidade e, antes de se assustarem com tais indagações, sentirem-se com elas realizados: sua tarefa de educar estará surtindo efeito se seus estudantes cultivarem dúvidas e não apenas convicções. E esse ensinamento não é novo, porque já Sócrates teria dito “Só sei que nada sei” (cf. CHAUÍ, 2000, p. 9) e também a literatura milenar hebraica já atribuía ao Rei Salomão o ter dito “Vês alguém que se considera sábio a seus próprios olhos? Há mais esperança para um tolo que para ele” (BÍBLIA HEBRAICA, 2012, p. 699 - Livro dos Provérbios, capítulo 26, versículo 12).

Na literatura ocidental, tal ideia podemos encontrar, por exemplo, no seguinte diálogo:

> *Oinos – Mas eu sonhei que nesta existência ficaria imediatamente conhecedor de todas as coisas e tornar-me-ia, assim, imediatamente feliz por conhecer tudo.*
>
> *Agathos – Ah! A felicidade não está no conhecimento, mas na aquisição do conhecimento! Sabendo para sempre, seremos para sempre venturosos; saber tudo, porém, seria diabólica maldição.*
>
> (POE, Edgar Allan, 1966, p. 429)

Também é nesse sentido que Paulo Freire desenvolve a proposta de uma **pedagogia da pergunta** (cf., p. ex., CARNEIRO, 2013, p. 74) e discorrerá sobre a transformação da "curiosidade ingênua" em "curiosidade epistemológica" (para maior aprofundamento nesse tema, remetemos o leitor a ZATTI, 2007, pp. 58-59). Finalizada essa digressão, retomemos nossa discussão sobre as implicações de uma proposição falsa…

III.7.a. Superando os "paradoxos"

O fato de podermos implicar qualquer coisa a partir de uma premissa falsa pode soar muito contrário à intuição, a ponto de ser considerado, por isso mesmo, algo paradoxal. Do mesmo modo, pensarmos que uma afirmação verdadeira é implicada por qualquer afirmação ou que, se tomarmos duas afirmações, aleatoriamente, uma delas implica a outra, todas essas coisas desafiam a inuição. Temos, portanto, um problema que precisamos superar ou, ao menos, minimizar, para continuarmos defendendo *L* com uma abordagem material das implicações.

Em primeiro lugar, podemos dizer que *L* não necessita de uma interpretação material da implicação, sendo que outras podem ser invocadas, podendo mesmo ser feitas extensões da Lógica clássica nas quais outras formas ou interpretações das implicações sejam definidas. Não exploraremos essas alternativas aqui, mas remetemos o leitor curioso pelo assunto a buscar maiores informações em ROCHA, *Op. cit.*.

Outra forma de lidar com esses paradoxos é notar que C.24 não são exatamente paradoxais, mas, na pior das hipóteses, meramente afirmações contraintuitivas, afinal - e isso sim é o mais importante -, C.24 não apresenta nenhuma contradição (cf., p. ex., HAACK, *Id. Ibid.*, p. 185). O leitor talvez já tenha percebido que simpatizo, particularmente, com esse tipo de solução, afinal, como digo em outras partes do presente texto, não espero que a Lógica seja refém da intuição, mas que, enquanto uma "ciência", realmente nos leve a encontrar resultados contrários à intuição primeira. Afinal, uma ciência que apenas nos diz o que já pensamos saber não seria muito necessária (e necessária é algo que a Lógica parece ser).

Cabe, nesse segundo caminho de solução, lembrar que o significado da palavra "implicar", em L, não precisa ser o mesmo que na linguagem usual. Além disso, que *A implica B* não pode ser confundido com *A causa B*, e isso tem especial relevância em ciências naturais, como a Física.

Podemos discutir quais as causas de raios durante tempestades ou como a incidência de radiação em metais pode produzir o efeito fotoelétrico, por exemplo, mas eis um ponto muito importante a se considerar: a discussão das causas de fenômenos físicos é um dos exemplos de temas que não podem ser resolvidos somente com uso da Lógica. Aqui está uma clara situação em que a Lógica é insuficiente: determinar causas ou explicações de fenômenos naturais.

Redundo em insistir que a Lógica não é nem pretendo defender que possa tornar-se onipotente (capaz de resolver todas as questões) - longe disso! Mas é mais ou menos claro, em algumas situações, até que ponto a Lógica pode oferecer ajuda e em quais momentos teremos de apelar para outras fontes, como os sentidos, a intuição etc.

O que quero mostrar é que, embora a razão seja realmente limitada, ela nem por isso é inútil ou incômoda. De fato, ela está por trás da construção do ferramental matemático que um físico não pode deixar de usar em seu trabalho. Realmente não pode ser negligenciada, mas quero ir além dessa constatação e insistir que a racionalização sistemática das questões com as quais nos deparamos não é algo que vai entrar em conflito com as outras fontes de conhecimento.

Esse é um ponto que parece inocente mas creio ser fundamental: o raciocíniom pautado pelas regras de inferência não cobre a função da experiência, da intuição, das emoções etc., mas também não entra em conflito com elas! E isso precisamos ter muito claro, para não cometermos o erro de pensar que, na ciência ou na vida, o ser racional implicaria ser apático em relação a tudo o mais que não for lógico (como se alguém racional se tornasse insensível ou incapaz de olhar para a experiência do mundo, dos sentidos etc.) e nem de pensarmos, portanto, que a racionalidade precisa ser limitada.

De fato, acredito que ela se esvanece por si só quando se aproxima de seus limites, não sendo necessário que a emoção ou a intuição, por exemplo, removam a razão nesses pontos onde ela naturalmente deixaria de agir; em outras palavras, entendo que em alguns domínios a racionalidade é necessária ou pelo menos útil, mas, quando não ocorre nada disso, ela não se torna perigosa (pelo contrário, torna-se inerte e, portanto, inofensiva).

Por exemplo, para dizer que a Razão não conflita com a Emoção, pensemos na paixão: uma pessoa apaixonada não arrisca seus sentimentos pelo fato de ser racional; afinal, que diz a Lógica a respeito da emoção? Nenhum teorema ou regra de inferência, tabela de verdade ou que mais se possa extrair da pura Lógica pode afirmar quer que a pessoa possa quer que ela não possa apaixonar-se. A Lógica nem impele à paixão nem opõe-se a ela, mas sobre ela não exerce qualquer efeito.

Do mesmo modo, a Lógica pura não permite deduzir qual a melhor posição política a se adotar quanto a determinado problema, mas sem dúvida é um elemento crucial para ser tomada essa decisão. A mim parece que é justamente a falta (não o excesso) de racionalidade que realmente oferecem risco, por exemplo, à paixão ou a política. Digamos: uma pessoa bastante irracional pode ser impelida, por uma paixão não correspondida, a cometer um crime passional, do mesmo modo que uma multidão enfurecida pode acabar condenando um inocente, de maneira que a própria História da nossa Civilização nos ensinou a pautar o Direito com certa dose de racionalidade e de desvio da emotividade desenfreada. É por conta disso que, nos Estados de Direito, não se admite que uma turba emotiva puna mesmo um criminoso culpado, ficando a tarefa de julgar e penalizar a cargo do Estado, na figura de um juiz que precisa ter um mínimo afastamento emocional em relação ao caso julgado (por exemplo, não se pode admitir que um réu seja julgado por magistrado que tenha qualquer envolvimento emocional com a vítima).

III.7.b. Novamente a falácia da negação do antecedente

Nesse ponto, creio que vale trazer uma nota, ainda que breve, sobre a negação do antecedente. Digamos que uma pessoa parte de uma afirmação *A* para chegar a uma conclusão *B*. É comum cotidianamente ouvirmos algo como "Sua premissa é falsa, então sua conclusão também é", o que sabermos ser falacioso. E isso é fácil de perceber justamente pelo segundo corolário da C.24, que nos afirma que mesmo conclusões verdadeiras podem ser extraídas de premissas falsas.

Na Física podemos ter um exemplo disso: sabemos que as bases da mecânica newtoniana (*N*) são muito distintas daquelas que a Relatividade Geral (*R*) apresenta. Em outras palavras, essas duas teorias partem de premissas diferentes, de maneira que, se pudéssemos dizer (o que provavelmente não podemos, mas faremos apenas para efeito de exemplificar) que *R* é verdadeira e *N* é uma teoria falsa, uma pessoa impelida pela falácia da negação do antecedente poderia pensar que essas duas teorias jamais produzirão previsões iguais, o que não é correto!

De fato, para uma infinidade de fenômenos dentro dos limites de energia, velocidade etc. do cotidiano, as previsões de ambas as teorias frequentemente são muito próximas, a ponto de a velocidade com que um corpo, lançado de uma altura de 1m acima da superfície da Terra, na ausência de ar, chegará ao solo ser praticamente a mesma calculada em ambas as teorias.

Para além das situações cotidianas, podemos definir que um buraco negro é um corpo cuja gravidade em sua superfície é tão intensa que a velocidade de escape é maior ou igual à velocidade da luz. Partindo de uma definição assim e calculando a velocidade de escape de um objeto astronômico qualquer pela via de *N*, obtém-se um raio em função da massa do corpo que é compatível com o obtido na *R*, o que evidencia que mesmo duas teorias distintas podem implicar um mesmo efeito.

III.7.c. O poder preditivo de uma teoria falsa

Se *A* implica *B* e *B* é falsa, então *A* será falsa, pelo *Modus Tollens*. Portanto, se uma teoria *T* implica uma previsão empírica *E* e essa previsão é falsa, a teoria *T* também é, a rigor, falsa ou, numa linguagem popperiana, dizemos que foi falseada (cabe lembrar que Popper estava bastante ciente das nuances e incertezas envolvidas no processo de experimentação, de maneira que não bastariam uns poucos experimentos para refutar uma teoria; antes, seria necessário certificar-se de que não houve erro na manipulação dos equipamentos, defeito no funcionamento destes, falhas de interpretação dos resultados, erros de cálculos etc.).

Mas uma afirmação falsa implica toda e qualquer afirmação (cf. C.24), e não percamos de vista que uma assertiva falsa não apenas implica assertivas falsas como também proposições verdadeiras. Sendo assim, essa teoria falsa *T* a princípio é capaz de prever ou explicar todo e qualquer fenômeno que observamos com pleno sucesso (afinal, qualquer que seja o fato experimental *E*, se *T* é falsa, então *T* implica *E*). Eis agora, diante de nós, um problema: se uma das qualidades requeridas para que uma teoria seja aclamada na comunidade científica é que cumpra o critério de sucesso explicativo/preditivo, e se entendermos esse sucesso como a simples capacidade de explicar ou predizer fenômenos verdadeiros, então essa teoria cumpre muito bem esse critério.

A rigor, isso não é um problema grave ou mesmo digno de preocupação, porque o fato de uma teoria falsa cumprir bem um único critério não fará com que a comunidade científica seja levada ao erro de aceitar bem essa teoria; afinal, há outros critérios, como o de simplicidade, que uma teoria precisa cumprir para ser bem aceita.Contudo, se pudermos mostrar uma forma de “salvar” esse critério, estaremos autorizados a considerá-lo mais seguro, e - num mundo de incertezas, como é o das ciências - não se pode desperdiçar nenhuma boa chance, quanto mais um critério de grande calibre (como é o do sucesso explicativo/preditivo).

Além disso, e ainda mais importante, esse “problema” - ainda que pequeno - pode ser apontado como uma “pedra no sapato” da nossa defesa de que a Lógica clássica ainda merece lugar de destaque na formulação do pensamento humano, em particular na Epistemologia. Isso porque, se o conjunto de coroláros (C.24) já parece estranho ao senso mais intuitivo, o fato de ele poder nos levar a uma conclusão também estranha (a de que uma teoria falsa pode fazer ótimas previsões verdadeiras) só vem piorar a aceitação da Lógica clássica como um conjunto de regras seguras e confiáveis. Por isso vemos a necessidade de esclarecer também esse problema, a fim de salvar a imagem dessas regras diante de nosso senso intuitivo.

A primeira coisa a notar é que, pela regra do “terceiro excluído”, se alguém profere uma afirmação verdadeira V_1, então automaticamente sabemos proferir uma afirmação falsa F_1 correspondente, bastando escolher $F_1 = \neg V_1$. Do mesmo modo, para cada afirmação falsa F_2 que concebamos, é fácil associar uma afirmação verdadeira V_2, bastando escolher $V_2 = \neg F_2$. Assim, se construirmos um conjunto V cujos elementos sejam apenas afirmações verdadeiras $V = \{V_1, V_2, \ldots, V_n\}$, é fácil construir outro conjunto F que tenha por elementos apenas afirmações falsas, tomadas como sendo as negações das afirmações de V, ou seja, $F = \{F_1, F_2, \ldots, F_n\} = \{F_i \text{ tal que } F_i = \neg V_i, \text{ onde } V_i \in V\}$. Assim, estaremos autorizados a supor que uma teoria falsa que faça previsões bem-sucedidas em grande número tem potencialidade para fazer previsões mal-sucedidas em número igualmente grande.

Mais uma vez estamos diante de um motivo formal (o fato de que uma afirmação falsa permite inferir toda e qualquer afirmação, tanto afirmações verdadeiras quanto falsas) para aceitarmos a recomendação popperiana de não buscar em primeiro lugar a corroboração mas o falseamento de uma teoria (SCHÖPKE, 2010, p. 196, verbete “Popper, Karl”). Essa recomendação, independentemente da autoridade que se atribua ou se negue a seu proponente, não deixa de soar bastante razoável e intuitiva. Dessa forma, a simples mudança do foco da atitude do fazer científico (essa mesma mudança que Popper propôs outrora para escapar do problema da indução), de não buscar corroborar mas buscar falsear uma teoria (e, portanto, a “boa” teoria seria a que passou em todos os testes até o momento, ou que não foi reprovada nos testes realizados até então - e quanto mais resiste ao falseamento, tanto mais podemos confiar nessa teoria), brilha como solução para o nosso problema.

Outra solução está em reconhecer que a prática do cientista e a história da ciência sugerem distinguir bem a capacidade explicativa, de um lado, e a conveniência (“utilidade”, se preferirmos) das teorias. Afinal, uma teoria mesmo “falseada”, como a mecânica newtoniana, não deixa de ter seu nicho e de merecer ainda grande reconhecimento, mesmo por ser aplicável a um vasto universo de situações. No exemplo da mecânica newtoniana, sabemos que essa teoria não tem sucesso na descrição de fenômenos quânticos e nem na de eventos relativísticos. Contudo, seu papel e sua simplicidade na solução de problemas cotidianos é - insistimos - inegável.

Analisando esses pontos de outro modo: se duas teorias falsas implicam ambas as mesmas coisas, já que - de acordo com (C.24) - cada uma delas implica toda e qualquer afirmação, perde o sentido, agora, dizermos que uma teoria falsa está mais próxima da verdade que outra. Esse fato, relativamente inesperado para nossa intuição, parece sugerir que a Lógica clássica nos conduz ao erro de considerar todas as teorias falsas exatamente iguais. Afinal, se *T1* e *T2* são falsas e se toda afirmação falsa implica toda e qualquer afirmação, teremos, em particular, que *T1* implica *T2* e, simultaneamente, *T2* implica *T1*, de modo que $T1 \leftrightarrow T2$. Isso parece ser um problema na medida, e somente na medida, em que, duas teorias falsas são iguais em termos de conteúdo de verdade e capacidade de previsões falsas. Contudo, isso não significa que elas são iguais em tudo, e sua principal diferença pode residir justamente na simplicidade de uma ser, eventualmente, maior que a de outra.

Por exemplo, admitamos que a teoria da gravitação newtoniana seja “falsa” (malgrado toda a discussão que poderíamos ter sobre essa qualificação da teoria, mas, dado que ela não vale para todos os regimes, como relativístico e quântico, diremos, por ora, que é falsa). Admitamos, também, que a teoria dos vórtices cartesianos seja falsa. De fato, a teoria cartesiana tem uma vantagem sobre a newtoniana: a de explicar por que todos os planetas do sistema solar giram no mesmo sentido e em planos quase paralelos entre si (a teoria newtoniana permite que girem em qualquer sentido e em quaisquer inclinações de planos orbitais; tal questão apenas foi resolvida quando uma teoria sobre formação do Sistema Solar tomou corpo). Contudo, a teoria newtoniana "vence" em capacidade de encontrar planetas, descrever quantitativamente vários detalhes das órbitas e por trazer, em um único corpo teórico, um mesmo sistema de leis que regem tanto o céu quanto a Terra. Ainda que nossa análise anterior mostre que, se ambas são falsas, não tem muito sentido dizer que a newtoniana é menos falsa que a cartesiana, nada nos impede de dizer que a teoria de Newton tem mais vantagens (sob vários outros aspectos) e, portanto, é, dalgum modo, preferível. Se adotarmos uma teoria da verdade que incorpore de determinada forma esses elementos (o que, embora não seja feito neste trabalho, é algo bastante plausível – fique registrado), talvez possamos sim dizer que uma é menos falsa que a outra.

Em outras palavras, o fato de duas teorias serem equivalentes somente denota que seu conteúdo de verdade é o mesmo (se uma é verdadeira, a outra também o será; se uma for falsa, também o será a outra), mas não que elas têm o mesmo grau de simplicidade. No entanto, embora dizer que duas teorias são iguais ou equivalentes sugira que elas sejam iguais em tudo, esse entendimento está um tanto equivocado. Por exemplo, escrever "1" e escrever "$\cos^2 x + \text{sen}^2 x$" têm o mesmo efeito matemático, já que $\text{sen}^2 x + \cos^2 x = 1$, mas a segunda forma não é tão simples quanto a primeira.

Exemplificando um pouco mais, suponhamos ter duas teorias falsas tais que uma delas explica fatos verdadeiros de modo muito simples e fatos falsos de modos muito complexos (por exemplo, ela dá solução correta para certos problemas reais com umas poucas e triviais passagens de cálculos, enquanto custa muitas e longas passagens bastante complexas para chegar a conclusões que se mostram falsas) enquanto a outra faz justamente o contrário. Nesse caso, a primeira seria uma teoria nitidamente "melhor" que a segunda.

De fato, essa situação parece ser bastante comum na ciência, porque frequentemente uma teoria “errada” ou com hipóteses bastante questionáveis pode fazer a dedução de algo correto (mesmo porque, se uma teoria *A* é falsa, dela podemos extrair também consequências verdadeiras, conforme já vimos): podemos calcular a relação entre massa e raio de um buraco negro em uma teoria puramente newtoniana, bastanto trabalhar sobre o modelo de uma esfera massiva cuja velocidade de escape seja a da luz; podemos obter valiosas informações sobre linhas espectrais de um átomo a partir do modelo de Bohr, embora ele faça uso de hipóteses *ad hoc* para que o elétron não perca energia sob irradiação enquanto “gira” em torno do núcelo, contrariando as exigências do eletromagnetismo clássico de Maxwell.

Pedimos, ainda, licença ao leitor para propor mais um exemplo que, embora artificial, servirá para ilustrar bem o fato de que a simplicidade de uma afirmação não está atrelada a seu valor de verdade: Sabemos que a força de gravidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos, isto é, inversamente proporcional a r^2. Há muitas formas de dizer isso com diferentes graus de complexidade. Citaremos apenas duas, ambas com mesmo valor de verdade mas com distintos graus de simplicidade, para encerrar a exposição desse tópico:

(1) A força da gravidade diminui com a distância elevada ao quadrado;

(2) A força da gravidade diminui com a distância elevada a um número que tem todas as seguintes propriedades: (a) é inteiro, (b) não é menor que 1, (c) não é igual a 1, (d) não é igual a 3 e (e) não é maior que 3.

Do mesmo modo, é comum que - no desenrolar da história do conhecimento humano - nos deparemos com momentos em que um conjunto de leis ou princípios acaba sendo revisto e, muitas dessas vezes, essa revisão remete à complexidade ou à busca pela simplicidade desses conjuntos.

Por exemplo, o teorema de Nöther (cf. HORVATH *et al.*, 2007, pp. 20-21) veio trazer uma unificação interessante de vários princípios de conservação por meio de suas respectivas simetrias. Esse teorema diz que, se todos os instantes do tempo são iguais, isto é, se um segundo hoje e um segundo do passado são iguais a qualquer segundo do futuro - o que, no jargão físico equivale a dizer que o tempo tem uma simetria de translação ou que o tempo é homogêneo -, então, a energia se conserva. Diz que, se, do mesmo modo, o espaço é homogêneo - isto é, cada centímetro é equivalente a qualquer outro centímetro -, então a quantidade de movimento, ou o "momento linear", se conserva. Diz que, se todas as direções do espaço são iguais entre si - ou seja, se o espaço é isotrópico -, então a quantidade de movimento angular, ou momento angular, se conserva. Da mesma forma, apresenta uma lei geral que associa cada simetria do universo a uma lei de conservação, unificando, assim, todas as leis de conservação em um único princípio (cf. *Id. Ibid.*; cf. também MENEZES, 2005, pp. 39-53).

Outro exemplo interessante é o das equações de Maxwell, que - num único conjunto de 4 equações - passou a representar todas as leis da eletricidade, do magnetismo e até da ótica (uma vez que a luz passou a ser vista como um fenômeno eletromagnético, o que permitiu que toda a área de estudo da luz, chamada Ótica, se tornasse apenas uma consequência do Eletromagnetismo, e não mais uma ciência separada desta).

De fato, a história da ciência está repleta desses exemplos de unificação. A própria mecânica de Newton ofereceu uma unificação surpreendente: passou a entender que as leis que regem o movimento dos corpos celestes e as leis que regem os movimentos dos corpos terrestres são as mesmas. Isto é: após os trabalhos de gigantes, como Copérnico, Kepler, Galileu, Newton e outros, passamos a entender que as leis que fazem os planetas girarem ao redor do Sol são as mesmas que fazem uma maçã cair.

Daí tiramos que há todo um valor estético, uma beleza difícil de descrever, nas Leis da Natureza. Por isso, uma pessoa que saiba ler os símbolos matemáticos que descrevem, por exemplo, a Lei da Gravitação Universal tem a possibilidade de contemplar essa equação como alguém que contempla um quadro ou ouve um concerto. O fato é que nossa mente parece apreciar essas simplicidades (ou unificações) como verdadeiras obras detentoras de uma estética (ou beleza) notável.

Aliás, isso nos obriga a mais uma brevíssima digressão: o processo educacional que permita ao educando reconhecer essa beleza de uma equação ou princípio científico é válido em si mesmo. Ou seja, se o aprender ciência tem valor pelo conhecimento em si, soma-se a isso o valor estético dessa formação. Desse modo, devemos nos preocupar duplamente em investir no ensino de ciências: pelo conhecimento em si, com todo o diálogo que ele proporcionará com o mundo, e pela ampliação da capacidade - tipicamente humana - de contemplar a beleza inerente ao mundo, capacidade essa que é, para dizer o mínimo, uma fonte de prazer.

Negar ao sujeito sua formação científica (e ao escrever nesses termos, em que menciono essa formação como “sua”, já a subentendendo como direito inerente ao sujeito) é tanto negar-lhe o conhecimento quanto quase literalmente castrar-lhe uma capacidade de sentir prazer: o prazer de contemplar a beleza da maravilhosa herança cultural e científica a que temos acesso privilegiado neste recém-nascido século XXI. Mas infelizmente o sistema educacional presente ainda carece - desde a formação de nossos professores até a efetiva manifestação dos assuntos nas salas de aula das escolas de educação básica - de reconhecer e investir nessa formação com urgência, muito embora já faça algum tempo que a democratização da educação vem sendo defendida na literatura, com motes ecoantes como, por exemplo, a tese de que “Física também é cultura” (ZANETIC, 1989).

III.7.d. O canto das sereias: sedução e afogamento

Nesta seção, não apresentamos um problema metodológico sobre como aceitar ou descartar uma teoria. Temos, contudo, o interesse de analisar os paradoxos da implicação material agora sob um foco mais decididamente educacional.

Existe uma complicação, do segundo paradoxo da implicação material, que deixei por último para dar certo destaque: o fato de que uma teoria falsa implica qualquer afirmação, dando a impressão de ela ter um um enorme sucesso explicativo deve servir de lição muito importante, a ponto de que imagino ser necessário “emoldurar” o segundo paradoxo em nossas lousas (uma hipérbole para dizer que creio que ele deve ser ensinado com ênfase para nossos estudantes), porque ele ensina que uma teoria falsa tem enorme poder de sedução, uma vez que parece implicar tudo.

Acredito que muitos de nós já tiveram a experiência de ouvir alguém expondo uma teoria, uma ideologia ou uma visão de mundo e, de repente, tivemos um prazer intelectual manifesto na frase “Puxa, isso faz muito sentido! Isso explica muita coisa!”. Com efeito, o segundo paradoxo sugere que, quando nos deparamos com uma ideia que tem tal poder de sedução, existe o risco de estarmos diante justamente de uma ideia falsa, que seduz tal qual as mitológicas sereias, em um êxtase de canto belíssimo (nesse caso, o clímax intelectual de quem diz “Isso explica tudo!”) para afogar as vítimas num oceano de falácias (com o perdão da má poesia).

Contudo, o próprio paradoxo nos ensina a distinguir uma teoria-sereia de uma ideia menos perigosa: a teoria falsa é capaz de implicar tudo, desde A até $\neg A$. Portanto, se uma teoria parece tão sedutora, o primeiro teste a ser feito creio que seria “Ela consegue explicar tanto uma coisa quanto seu oposto?”. Se sim, então tudo indica que é uma teoria ruim.

É claro que teorias e ideologias usam termos muito mais amplos (isto é, menos bem-definidos) do que as afirmações deveriam ser para aplicarmos as regras de inferência e, além disso, implicar não é o mesmo que explicar. Mas tomemos uma teoria, ideia, visão de mundo ou ideologia da qual sistematicamente se consegue extrair tanto o sim quanto o não, tanto um fato quanto seu oposto… Se não parecer, de primeira, completamente vaga, então talvez pareça uma teoria sedutora, mas o segundo paradoxo nos sugere que uma teoria que parece explicar tudo provavelmente é uma péssima teoria.

Por exemplo, teorias conspiratórias podem até ser verdadeiras ou parcialmente verdadeiras, mas são suspeitas, porque, se um conspiracionista vê algo ruim acontecer, logo culpará os conspiradores, ao passo que, se vir algo bom acontecer, poderá dizer que os conspiradores fizeram algo de bom apenas para ganhar a confiança do público a fim de poderem fazer, depois, mais coisas ruins. Ou seja, quer algo bom quer algo ruim aconteça, um conspiracionista dirá que tal coisa é previsível em sua teoria.

Acredito que muitas peudo-ciências e, infelizmente, um universo de ideologias políticas, dentre outras ideias, são fortes candidatas a serem “ideias-sereias”, que seduzem com a aparente capacidade de dar conta de todos os fatos, mas justamente por serem falsas o suficiente para isso.

Essa importante lição, ensinada pelo segundo paradoxo da implicação material, é apenas mais um exemplo de fato de enorme importância que podemos extrair de elementos bastante simples da Lógica clássica.

Esta brevíssima seção encerra-se mas talvez não tenha ficado claro seu objetivo educacional, de maneira que arriscarei fazer um resumo: reconhecer a sedução de teorias falsas é muito semelhante (senão idêntico) a reconhecer os perigos de uma ideologia falsa, de modo que o estudante que consiga apropriar-se dos elementos que nos permitem identificar os mecanismos enganadores (formalmente descritos nos paradoxos de implicação material) dessas ideias-sereias terá maiores chances de questionar informações e ideologias que lhe sejam apresentadas e tal dádiva é essencialmente o que um educador espera dar ao educando.

Com efeito, embora vivamos uma época em que tem-se propagado a afirmação de que professores são doutrinadores idelógicos, o que a prática ideal e a literatura da área de Educação apontam é exatamente o contrário: nosso objetivo é justamente capacitar o sujeito a problematizar ideologias. Se existisse alguma ideologia na qual os verdadeiros educadores pretendem “doutrinar” gerações de estudantes, tal ideologia seria, de fato, uma meta-ideologia: questionar todas a ideologias (o leitor queira perdoar as repetições da palavra, mas ela faz-se necessária aqui). Por certo que uma meta-ideologia como esta é também uma ideologia, mas, de fato, o que não é? Até quem acusa os educadores de doutrinar as novas gerações o faz sob forte presença de princípios ideológicos (um tanto contraditórios, tanto quanto uma “ideologia inimiga de ideologias” poderia ser, mas presentes e reais).

III.8. Breve comentário sobre Teorias da Verdade

Retomando o problema de que uma premissa falsa implica toda e qualquer tese, quer verdadeira quer falsa, veremos agora essa questão sob a ótica das teorias da verdade.

Antes de prosseguir, cumpre anotar que uma teoria da verdade não é a mesma coisa que um critério de verdade. Um critério é uma forma de decidir se uma afirmação é (ou pode ser) ou não é (ou não pode ser) verdadeira. Já uma teoria da verdade não precisa oferecer, e normalmente não fornece, um critério ou conjunto de critérios de verdade. Como diz Desidério Murcho:

> Uma teoria da verdade não tem de nos fornecer um critério de verdade substancial, e em geral não fornece tal coisa. Pode fornecer uma espécie de critério de verdade, mas é de tal modo trivial que não permite decidir coisa alguma. O objectivo de uma teoria da verdade é esclarecer a natureza deste fenómeno: algumas afirmações são verdadeiras; o que as faz verdadeiras? Que propriedade é esta de que estamos a falar quando falamos da verdade de uma afirmação? É mesmo uma propriedade? Como é evidente, isto nada tem a ver com critérios de verdade substanciais, que nos permitam decidir, dada uma afirmação qualquer, e unicamente com base na teoria em causa, se essa afirmação é ou não verdadeira. [...] tal como uma teoria da gravidade não é uma teoria para nos ajudar a descobrir se os objectos caem. Nós já sabemos que os objectos caem; uma teoria da gravidade pretende explicar esse fenómeno de que já temos conhecimento. [...] Nós não queremos usar estas teorias [da verdade] para descobrir que afirmações são verdadeiras e que afirmações são falsas; nós já sabemos que algumas afirmações são verdadeiras (como "A neve é branca") e que outras são falsas (como "A neve é preta"). O que queremos é esclarecer este fenómeno que faz uma afirmação verdadeira ser verdadeira.

(MURCHO, 2004; parênteses do autor, colchetes nossos).

E, continuando, o autor relaciona as teorias da verdade com a Lógica e com o ensino de Lógica:

> Compreende-se agora melhor por que razão ao ensinar lógica não tem sentido fazer referência às teorias da verdade. As teorias da verdade não são critérios automáticos de verdade. Repare-se que, num certo sentido, qualquer teoria da verdade nos dá um certo critério de verdade, mas apenas num sentido trivial e não informativo — no mesmo sentido em que uma teoria da referência nos dá um critério de referência. Tomemos, como exemplo, a teoria da verdade como coerência. Esta teoria afirma que a verdade não é mais do que a coerência com um certo corpo relevante de crenças. Portanto, num certo sentido, dada uma afirmação P, basta verificar se P é coerente com um certo corpo relevante de crenças para saber se P é verdadeira. Só que esta verificação não é nem automática, nem informativa, nem trivial. Não podemos aplicar a teoria [da verdade como coerência] para descobrir se as afirmações "Há vida extraterrestre inteligente" ou "Deus existe" ou "O livre-arbítrio é uma ilusão" são verdadeiras ou falsas. Para descobrir se estas afirmações são verdadeiras ou falsas temos de fazer o que nos é familiar e que difere de caso para caso, consoante se trata de um ou outro domínio de conhecimento. Uma teoria da verdade não permite distinguir as afirmações verdadeiras das falsas; permite apenas explicar, depois de dada uma afirmação verdadeira, o fenómeno que consiste nessa afirmação ser verdadeira. Uma teoria da verdade não substitui os métodos de descoberta de verdades que temos nos mais diversos domínios de conhecimento, da física à história, da filosofia à biologia. E *a lógica não é um método para descobrir verdades automaticamente. A lógica formal tem por única missão explicar e sistematizar o fenómeno da validade e da invalidade que depende exclusivamente da forma lógica; a lógica informal ter por missão explicar e sistematizar o fenómeno mais global da boa e da má argumentação. Em nenhum dos casos o objectivo é encontrar critérios automáticos para decidir se uma dada afirmação é ou não verdadeira. E apesar de ser possível*

determinar automaticamente a validade proposicional, não é possível determinar automaticamente a validade predicativa, nem é possível determinar automaticamente se um argumento é bom ou mau.

(*Id. Ibid*., grifos nossos)

Com efeito, raramente a disciplina das regras de inferência nos permitirá, por sua pura aplicação, descobrir novas verdades. Mas isso não significa que ela seja desprezível no que se refere à descoberta dessas verdades. Com essas regras, somos capazes de rechaçar ou validar grande número de processos argumentativos. Só para ficarmos, por ora, com um único exemplo: o senso comum parece confundir $A \rightarrow B$ com $B \rightarrow A$, confusão essa que sabemos, pelas leis de inferência, não ser válida. Assim, por exemplo, se alguém diz, referindo-se a um local que fica a céu aberto, que

Se chove, o chão fica molhado,

É comum, no dia-a-dia, sair de uma premissa como a anterior e concluir pela negação do antecedente:

Não choveu, então o chão não ficou molhado.

Considerando o ato de chover representado por A e o ato de o chão ficar molhado sendo representado por B, a primeira frase é $A \rightarrow B$, enquanto que a segunda é $\neg A \rightarrow \neg B$, o que é uma falácia, porque de $A \rightarrow B$ não se conclui legitimamente que $\neg A \rightarrow \neg B$. Com efeito, esta última fórmula ($\neg A \rightarrow \neg B$) equivale, por *Modus Tollens*, a $B \rightarrow A$, o que só pode ser deduzido de $A \rightarrow B$ por meio da falácia da afirmação do consequente.

Ora, nos termos do exemplo concreto que estamos usando, o fato de não haver chovido não implica que o chão não estará molhado. Com efeito, alguém pode ter derramado água no chão acidentalmente ou com a intenção de lavá-lo. Em todo caso, dizemos que chover é condição suficiente porém não necessária para o chão ficar molhado.

Nesse caso, mesmo sem a análise intuitiva do exemplo (verificar que o fato de uma pessoa derramar água sobre o chão também seria suficiente para deixá-lo molhado), a simples aplicação das regras de inferência da Lógica nos permitem identificar imediatamente a falácia de confundir $A \rightarrow B$ com $B \rightarrow A$ ou com $\neg A \rightarrow \neg B$. Por lidar com símbolos para uma infinidade de situações reais.

Dizemos "uma infinidade" sem com isso usarmos uma hipérbole (figura de linguagem que representa o "exagero"), porque trata-se mesmo de haver infinitos enunciados que podem ser representados pelas variáveis *A* e *B*. Afinal, enquanto *A* representou a chuva e *B* representou - nesse caso - o chão ficar molhado, bem seria possível que *A* representasse, por exemplo, o sol estar a pino no céu enquanto *B* representasse o local ficar iluminado (sendo que nesse caso também *B* poderia ocorrer sem A, por exemplo, com uma iluminação artificial), ou inúmeros outros exemplos. O fato é que sempre saberíamos que $A \rightarrow B$ não equivale logicamente a $B \rightarrow A$ ou a $\neg A \rightarrow \neg B$) e simplesmente saber isso já nos permite evitar uma literal infinidade de argumentos falaciosos.

É esse o ponto que queremos deixar claro: Quando dizemos que nosso ensino de Física, Matemática, Filosofia, Sociologia e tantas outras áreas do conhecimento teriam muito a contribuir para a formação de nosso estudante se atentassem para a formação da racionalidade, isto é, da disciplina da Lógica em si (mesmo que não explicitada nas aulas dessas disciplinas, mas apenas permeando-as), não queremos com isso dizer que ao aprimorar seu raciocínio lógico nosso estudante estará devidamente preparado para tomar decisões. Não é isso que afirmamos, mas sim que, caso não tenha desenvolvido uma lucidez e formalização suficientes de seu raciocínio, nosso estudante padecerá de um perigoso “analfabetismo” racional: estará em sérios riscos de cometer falácias em decisões importantíssimas de sua vida.

Ora, mesmo que alguém defenda - e com razão o faria - que a Lógica não resolve todas as questões, não se pode com a mesma razão defender que se pode viver abandonando-a, como se a irracionalidade não fosse capaz de levar o ser humano a cometer graves erros.

Isso posto, espero ter deixado claro ao leitor que não tenho a pretensão de expor um ensino racionalista para que nossos estudantes estejam completamente preparados para discernir verdades no mundo. Mas estou convencido de que, sem o devido amadurecimento de sua racionalidade - que pode ser bastante alimentado pelo ensino da Lógica em suas aulas de Física, por exemplo - a ele terá sido sonegada uma vital formação.

Verdadeiramente, acredito que - quando nosso estudante aprende a lidar com a abstração de usar variáveis, por exemplo, usando (como temos feito muito neste texto) letras para referir-se a fatos do mundo “real” - a abstração emprestará a nosso estudante o poder de aplicar uma única ideia para resolver uma infinidade de problemas.

Por exemplo, imagine que um estudante veja uma notícia que diz “A maioria das pessoas que cometem crimes é de classe social desprivilegiada”. Queremos que nosso educando esteja devidamente preparado não apenas para questionar a validade dessa notícia, mas também para construir a convicção de que, mesmo que fosse verdadeira, ela não implica, por exemplo, que “a maioria das pessoas de classes desprivilegiadas comete crimes” (porque ele aprendeu que $A \rightarrow B$ não equivale a $B \rightarrow A$). Vemos que uma simples operação com letras, se estiver contextualizada em um verdadeiro processo formativo (e não seja apenas um amontoado de letras sem significado) pode afastar de nosso estudante a chance de, levado por uma notícia dessas, adentrar um preconceito.

Esse exemplo mostra que o conhecimento de Lógica realmente não permite a nosso estudante discernir se a manchete é verdadeira, mas permite que ele note que ela não o leva licitamente à conclusão no sentido de formular uma concepção discriminatória (um preconceito contra pessoas de classes econômicas desprivilegiadas, nesse exemplo). Se notamos a limitação da aplicação da Lógica nesse caso, nem por isso ficamos sem contemplar uma interessante manifestação de seu “poder”.

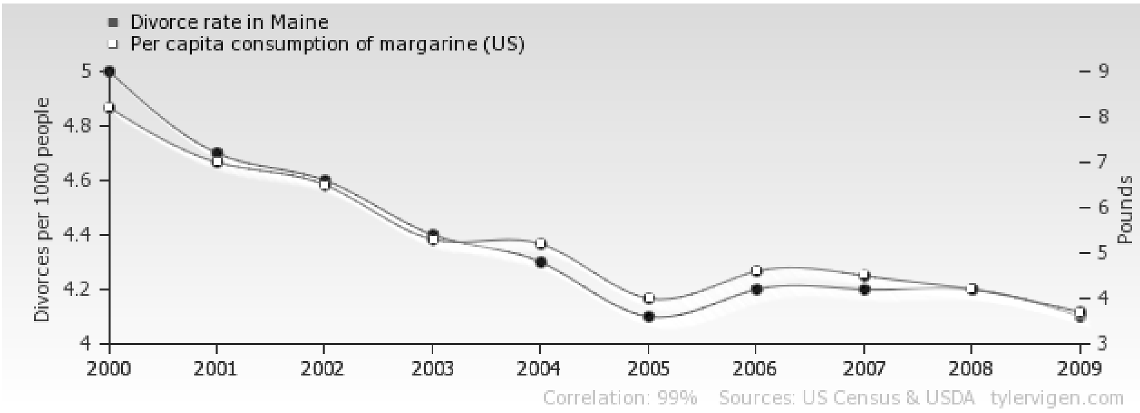
Usando os termos de MURCHO, 2004, a Lógica aqui nos permitiu verificar a invalidade proposicional (isto é, que uma implicação de proposições não leva à implicação inversa) da conclusão preconceituosa, muito embora seja incapaz, com apenas esses dados, de mostrar a invalidade predicativa (que pessoas que cometem crimes têm por predicado, ou propriedade, a maior probabilidade de pertencerem a determinada classe econômica) da conclusão.

Há um mito sutilmente mencionado, mesmo no ambiente acadêmico e educacional, de que raciocínios lógicos, rigorosos, sistemáticos ou mesmo a racionalidade em si são demasiado limitantes. Pode ser verdade que tais formas de pensamento são limitantes, mas isso não significa que prejudicam o pensamento ou esgotam os questionamentos.

Justamente por serem limitadas, a racionalidade, a sistematização do pensamento etc. não são limitantes. Explico: aquilo que é limitado tem limites (tautologia) e, por conta exatamente desses limites, resta-lhe pouca força para limitar outros seres. Ou seja: por não ter o poder de distinguir, por si mesma, o que é verdade e o que não é, a Lógica – por exemplo – nos deixa livre o terreno da Filosofia. Em outras palavras: a Lógica (ou a Razão, a sistematização do pensamento etc.) é limitada e, então, não consegue sozinha dizer qual é a “verdade” sobre todos os assuntos; mas justamente por isso ela deixa aberto o terreno do debate entre escolas filosóficas, o espaço artístico etc. Mas “deixar aberto” aqui não significa deixar intocado: esses terrenos podem não ser propriedade da Lógica, mas ela também caminha por eles; ou melhor, ela é o melhor veículo no qual podemos caminhar nesses terrenos.

Voltando ao exemplo da correlação entre crimes e grupos étnicos, poderíamos também oferecer ao nosso estudante outros motivos para olhar as correlações com certa desconfiança. De fato, uma correlação estatística nem sempre representa uma causalidade.

Esse fato é perceptível em alguns exemplos de tal modo engraçados que deram origem a uma página na *internet* com conteúdo ao mesmo tempo (em minha leitura) de caráter filosófico, científico e humorístico. Em VIGEN (acesso em 2014), temos exemplos de alta correlação entre variáveis obviamente sem qualquer relação causal entre si. Dos mais de 24 mil exemplos que o autor diz estarem postados na página, citemos apenas um: o gráfico a seguir mostra a evolução temporal do índice de divórcios (para cada mil pessoas) na cidade de Maine e do consumo *per capita* de margarina nos EUA; a correlação entre essas duas variáveis (que, se perfeita, teria um valor exatamente igual a 1, segundo as teorias estatísticas) é de incríveis 0,992558 !



[*Imagem 1*]. Exemplo de correlação estatisticamente relevante mas epistemologicamente insustentável, extraído da página humorística “Spurious Correlations”

Vale notar que os exemplos de “correlações espúrias” tampouco servem para esvaziar de significado o estudo estatístico das correlações. De fato, estas são muito úteis para diversas ciências, mas - nos casos em que são estudadas - nunca são usadas como argumento isolado para se defender uma causalidade; sempre há algum modelo, mesmo que simples, de mecanismo pelo qual uma variável está interferindo em outra.

III.9. O critério de Nicod e o paradoxo de Hempel

Discutimos a seguir mais um aparente candidato a problema quanto a usar o sistema *L* ao estudar Epistemologia. Veremos como esse problema se manifesta e como podemos enxergar uma solução para ele.

A fim de pesquisar a validade de uma generalização do tipo “todos os *A* são *B*” (por exemplo, “todos os corvos são negros”), o filósofo francês Jean George Pierre Nicod (que viveu apenas 31 anos; de 1893 a 1924), propõe que apenas dados positivos sobre coisas que são *A* e também são *B* tenham relevância para a corroboração da generalização (BLACKBURN, *Op. cit.*, p. 83 - verbete “critério de Nicod”), enquanto que dados acerca de coisas que não são nem *A* e nem *B* ou de coisas que são *B* mas não são *A* não têm qualquer relevância para essa confirmação (*Id. Ibid.* e ENCYCLOPÆDIA HERDER, verbete “Nicod, criterio de”).

Por exemplo, se queremos confirmar que todos os corvos são negros, observar vários corvos negros constitui fato que corrobora (embora nunca chegue a demonstrar de modo definitivo) tal afirmação. Se, contudo, encontrarmos um único corvo que não seja negro, teremos aí um bom motivo para abandonar essa generalização.

O critério de Nicod estabelece algo que parece, à primeira vista, intuitivo: que encontrar objetos que não são corvos não tem qualquer serventia nem para corroborar e nem para refutar a afirmação. Assim, por exemplo, se encontrarmos um sapato branco, esse achado não trará qualquer benefício ou prejuízo para nossa crença de que todos os corvos são negros. Contudo, essa posição encontra um obstáculo no paradoxo de Hempel (cf. BLACKBURN, *Op. Cit.*, p. 283 - verbete “paradoxo de Hempel”).

Esse paradoxo consiste em partir do fato de que, se duas afirmações são logicamente equivalentes, então algo que confirma uma delas está confirmando também a outra; do mesmo modo, algo que refuta uma delas está refutando também a outra. Isso não deixa de estar de acordo com a Lógica clássica, que estabelece, para duas afirmações equivalentes, que o valor de verdade ("verdadeiro" ou "falso") de uma tem de ser exatamente o mesmo para a outra. Assim sendo, se encontramos um bom motivo para acreditar numa afirmação *X* e esta afirmação é equivalente a outra *Y*, então temos também motivo para acreditar nesta última; se, pelo contrário, temos motivos para duvidar de *X*, esse motivo também deve nos levar a duvidar de *Y*.

Vamos a um exemplo: a afirmação *X*, que diz "todos os corvos são negros", é equivalente à afirmação *Y*, que diz: "qualquer coisa que não seja negra não é um corvo".

Agora notemos que, se encontrarmos qualquer coisa que não seja negra e também não seja um corvo (como o exemplo citado antes: um sapato branco), então teremos encontrado um objeto que está de acordo com a afirmação *Y* e, portanto, também com a afirmação *X*. Mas isso vai contra o critério de Nicod, que afirmava, em suma, que encontrar um objeto que não é *A* não contribui em nada, quer para corroborar quer para refutar a tese de que "todo *A* é também *B*".

Temos, portanto, um problema em mãos: se a Lógica clássica me permite concluir que *X* é equivalente a *Y* e, portanto, os valores de verdade de *X* e de *Y* são exatamente os mesmos, é quase imediato concluir que algo que sirva para afirmar ou para refutar uma dessas afirmações tenha exatamente o mesmo efeito na outra. Contudo, parece razoável aceitarmos a intuição que está por trás do critério de Nicod, segundo a qual encontrar um sapato branco, por exemplo, não fornece qualquer motivo para reforçarmos nossa crença de que todos os corvos são negros.

Ao propor esse paradoxo, Hempel foi levado a concluir que o critério de Nicod está equivocado (*Id. Ibid.*, p. 283). Segundo essa solução, somos obrigados a abandonar a intuição de que encontrar objetos que não são *A* não deve ter nenhuma influência sobre nossa crença na generalização a ser examinada.

Concordamos com essa solução (que "salva as aparências" da Lógica clássica), embora ela parece, num primeiro momento, não ser intuitiva. Com efeito, não é incomum que nossa intuição seja levada além de seus limites de validade pela ciência, e não deveria ser diferente na “ciência” formal que se chama Lógica.

Por exemplo, nossa intuição não acolhe facilmente a ideia de que a Terra gira em torno do Sol a cerca de 30 km/s. Também não nos leva a considerar muito factível que seres microscópicos possam nos levar a doenças e até à morte. Tampouco nos sugere a intuição pura que possamos construir um trem que levita ou naves que nos levem até a Lua. E se o leitor passar os olhos ao redor de si, no instante em que lê estas linhas, é muito provável que consiga encontrar muitos outros exemplos de tecnologias e conhecimentos científicos que possivelmente seriam deslumbrantes aos nossos ancestrais.

É inegável que a intuição chega a cumprir o papel de “mãe” dos princípios e axiomas que constituem nossa ciência. Mas se o papel das ciências “filhas” da intuição fosse manter-se sempre imitando a mãe, então não teríamos motivos para ter criado as ciências (contentar-nos-íamos com a intuição e nada mais almejaríamos além disso) e, como consequência, o mundo que conheceríamos certamente seria absurdamente menor que aquele que hoje conhecemos (o qual provavelmente é muito menos amplo que aquele que nossos descendentes conhecerão): nada saberíamos dos outros planetas, sóis, galáxias, vidas microscópicas e transformações que ocorrem em escalas de tempo muito maiores ou muito menores que a vida humana - isso apenas para propormos alguns exemplos.

Mas o que realmente parece cabível é que o formalismo da Lógica e nossa intuição estejam em constante diálogo, de maneira que não apenas a Lógica dependa de regras de inferência providas pela intuição, mas que esta última seja levada a se reformular por aquela. Podemos pensar em uma analogia com nosso cotidiano, voltando aos exemplos anteriores: se outrora talvez tivesse soado estranho, para a intuição humana, supor que um dia teríamos carros movidos sem a necessidade de cavalos, hoje usamos quase todos os dias os transportes automotivos (e, diga-se de passagem, alçando velocidades bem maiores que as atingíveis mesmo pelo mais rápido atleta) sem que isso nos cause algum tipo de “crise existencial”.

De fato, quando desenvolvemos a demonstração de um teorema para a implicação material, passamos pela expressão (C.19), que nos mostra que a probabilidade de *A implicar B* aumenta com a probabilidade de *não-A*. Talvez atpe possamos vislumbrar, na (C.19), uma motivação para o abandono do critério de Nicod e, com isso, para uma revisão de nossa intuição inicial, de que encontrar objetos não-A de nada adianta para corroborar ou refutar a tese de que todo *A* é também *B*.

Revisemos a intuição do critério de Nicod e remanejar dalgum modo nossa intuição. Se queremos entender a sentença “Todos os corvos são negros”, podemos muito bem pensar em um mundo que sofre duas divisões: a primeira separa os entes que são corvos daqueles que não o são; a segunda separa os objetos negros dos objetos não-negros. Tendo dividido o mundo dessa forma, jamais esperaremos encontrar - se a sentença for válida - algum objeto-corvo dentro da categoria dos objetos não-negros. Sendo assim, todas as vezes em que nos depararmos com um objeto não-negro, é razoável que tenhamos a expectativa de que ele não seja um corvo.

Ora, se encontrarmos, dentro da classe dos objetos não-negros, algum corvo, teremos falseado nossa tese de que todos os corvos são negros. Imaginemos que estamos observando um objeto tão distante que mal podemos discernir sua forma, mas somente sua cor: é um objeto branco. Enquanto nos aproximamos desse objeto para tentar vê-lo melhor e saber do que se trata, podemos estar preocupados com a generalização pretendida de que todos os corvos são negros (Permita o leitor que o levemos para uma situação excessivamente “dramática” para tentarmos, ainda que apelando ao exagero, mostrar que é possível abandonar o critério de Nicod e ainda assim estar de acordo com alguma forma de intuição). Continuando nosso drama artificial...

Vamos pensando: “Eis um objeto branco. Tomara que não seja um corvo; porque, se for, aquela tese - que temos defendido há tanto tempo - terá sido refutada”. Então vamos nos aproximando desse objeto e notamos que ele se move e tem asas - ficamos ainda mais preocupados: “Oh, não! É uma ave! Se for um corvo, nossa teoria de que todos os corvos são negros terá ido abaixo!”. Em seguida, chegamos mais perto e notamos que se trata de uma pomba. Sentimos um alívio e ficamos mais tranquilos quanto à tese em que já acreditávamos.

Esse curtíssimo e muito artificial drama nos mostra que o protagonista estaria autorizado a sentir-se aliviado com a constatação de que o objeto branco que ele estava vendo era, na verdade, uma pomba e, portanto, mantinha-se a salvo sua teoria de que todos os corvos são negros. Embora essa estorinha nos leve a reconhecer apenas que o abandono do critério de Nicod não deixa de ter certo amparo emocional, entendemos que dessa dimensão emocional para a dimensão intuitiva não há um abismo intransponível. De fato, pensemos num exemplo que nos leve a colocar os pés no chão da ciência:

A lei de Hubble, que remete (na forma como a entendemos hoje) à expansão do universo, diz que as galáxias afastam-se umas das outras e que a velocidade com que se afastam é tão maior quanto mais distantes as galáxias estão. A forma como medimos a velocidade de afastamento é indireta: por meio do avermelhamento (ou *redshift*) de uma galáxia, podemos inferir a qual velocidade ela está se afastando de nós (por conta do efeito Doppler, que diz que um objeto brilhante parecerá avermelhado quando estiver se afastando rapidamente do observador; esse avermelhamento será tão mais intenso quanto maior for a velocidade de afastamento). Suponhamos que nos debrucemos sobre a afirmação “As galáxias distantes tendem a ser muito avermelhadas”.

Alguém pode dizer: “Bem, a lei de Hubble associa o avermelhamento das galáxias à sua distância de nós; mas como medimos a distância de galáxias que estão muito longe da nossa? Com efeito, os astrônomos muitas vezes usam o próprio avermelhamento para - supondo já válida a lei de Hubble - deduzirem a distância”. Esse questionamento pode ter mérito; contudo, a crença na lei de Hubble pode ser afirmada de outros modos: de fato, um astrônomo poderia dizer “Mas quanto às galáxias próximas, temos outros meios de inferir suas distâncias. Por exemplo, podemos inferir as distâncias de estrelas variáveis do tipo Cefeida pela oscilação - que tem período bem conhecido - de seu brilho. Temos encontrado muitas dessas estrelas próximas da via Láctea e nenhuma delas demonstrou avermelhamento tão intenso quanto o das galáxias mais distantes; algumas até têm um efeito contrário, de azulamento (*blueshift*)”.

Esse exemplo mostra que o fato de as cefeidas próximas da Terra não serem muito avermelhadas pode fornecer algum tipo de respaldo ao fato de que há um fenômeno de avermelhamento que se intensifica com a distância e, pelo qual, às galáxias mais distantes fica reservado um forte avermelhamento. Embora a observação de cefeidas próximas e pouco vermelhas não implique que as galáxias distantes são muito avermelhadas, o primeiro fato soma evidência às observações do segundo fato (isto é, à observação de galáxias distantes muito avermelhadas), porque permite supor que existe um fenômeno que, de algum modo, faz com que objetos próximos não sejam muito avermelhados mas objetos distantes o sejam. E crer nesse fenômeno fortalece a crença de que as galáxias distantes tendem a ser muito avermelhadas.

III.10. O paradoxo do monte de areia (ou Problema da Vagueza)

Prosseguindo nossa digressão epistemológica, é oportuno tratar, ainda a partir do caso das cefeidas e dos cisnes, com a questão de como o cientista sabe que está diante de um cisne, de uma cefeida ou de certo objeto? Em outras palavras, como o cientista pode definir os termos sobre os quais construirá sua teoria?

O problema das definições já é bem conhecido dos filósofos, de modo que trataremos de uma de suas versões, nesta seção, o paradoxo do monte de areia, e, em seguida, discutiremos como as idealizações, tão caras à ciência (por exemplo, muito se fala, em Física, sobre o vácuo, quando a total ausência de matéria é, na realidade, impossível de se obter em laboratório, constituindo, em última instância, uma idealização), ainda que possam estar distantes do “mundo real”, não comprometem a fundamentação da ciência (ou, se preferirmos: a dificuldade em se definir claramente conceitos e estabelecer ideais de objetos com correspondentes no mundo físico não necessariamente aponta para uma crise dos fundamentos das ciências naturais). Retomemos, então, o problema do monte de areia...

Também conhecido como “sorites”, esse problema é tradicionalmente ilustrado a partir dos seguintes postulados:

- *Sorites-1*: Um único grão de areia não é um monte de areia;

- *Sorites-2*: Adicionar um grão de areia em algo que não é um monte de areia não fará com que esse “algo” torne-se um monte de areia.

Partindo de um grão de areia, que *Sorites-1* diz não ser um monte de areia, vamos adicionando grãos de areia, um por um, e a aplicação sucessiva de *Sorites-2* nos fará sempre cair na conclusão de que não estamos diante de um monte de areia. Contudo, quando tivermos, digamos, 10 bilhões de grãos de areia, os dois postulados anteriores nos obrigam a concluir que não temos um monte de areia quando já poderíamos dizer que o temos.

Esse paradoxo lança questionamentos importantes sobre a nossa capacidade de definir entidades que, dentro de certo espectro, não são facilmente identificáveis como participantes de um gênero (como, no exemplo, o gênero das coisas que são montes de areia) ou de outro (como o das coisas que não são montes de areia). Sabemos que frequentemente nos deparamos com situações assim. Um exemplo físico é o das cores: há certas frequências de luz que classificaríamos como amarelas e outras que chamaríamos, sem pestanejar, de verdes; mas encontramos um contínuo, entre esses dois extremos, de “verdes-amarelados” e “amarelos-esverdeados”. Nem por isso, contudo, uma ciência que se utiliza das cores (como, por exemplo, a Astronomia Estelar, que tem nos índices e espectros de cor importantes variáveis para seus estudos) torna-se inviável: pode-se, por exemplo, lidar com as frequências de luz numericamente (o que dá conta do contínuo do espectro) ou definir diferentes regiões do espectro da luz conforme códigos alfabéticos e/ou numéricos (no nosso exemplo, o nosso Sol pertence à classe espectral G, por ser amarelo, mas mais especificamente à classe G2, que o identifica como sendo de um amarelo levemente tendendo para o laranja, conforme visto através da nossa atmosfera).

O problema da vagueza representa a dificuldade que reside em se definir termos, o que poderia parecer um enorme obstáculo na prática das ciências, que frequentemente necessitam de definições bem estabelecidas. Mas isso pode não ser tão grave a ponto de exigir, por exemplo, uma reformulação das bases da Física. Por exemplo, a noção de corpo rígido e a noção de fluido, antagônicas entre si, são idealizações de coisas inexistentes de fato, mas nem por isso elas significam que a Física de corpos rígidos está errada. O problema de definir, caso a caso, conforme o problema, se algo é um corpo rígido, não é da teoria física em si, mas do modelo ou das teorias auxiliares com a ajuda dos quais a aplicamos. Nesse sentido, é como se a teoria se comunicasse com o "mundo real" por meio de um modelo (ou de teorias auxiliares) e não sem esse tipo de mediação. O modelo sim tem de se ajustar à realidade, mas sua necessária flexibilidade não demonstra a existência de qualquer espécie de falha grave nas bases da teoria ou, tampouco, da ciência de onde ele se origina.

Assim, teríamos um conjunto de leis ideais que se aplicariam a objetos definidos dentro de um domínio no qual estamos interessados em cada momento. Essas definições seriam parte de um determinado modelo de realidade usado em cada caso. Essa é a heurística que as próprias ciências utilizam com sucesso, não havendo motivo para supor que tal procedimento implique uma crise nos fundamentos das ciências naturais.

Tal breve discussão, ainda que superficial, pode parecer ter pouco sentido para, digamos, cientistas e epistemólogos, que provavelmente não esperavam mesmo ver nas idealizações e nas definições de termos qualquer evidência de crise das ciências ou das teorias. Contudo, essas discussões epistemológicas são necessárias quando lidamos com o senso crítico (que, felizmente, resiste em muitas pessoas) de nossos estudantes. Minha experiência com jovens educandos pode ainda ser pequena, mas muitas vezes já me deparei com esse tipo de dúvida entre estudantes, assim como já as ouvi serem relatadas por colegas professores: “Se a Física lida com tantas coisas ideais, que não existem no mundo real, que sentido existe em estudá-la”. Esse tipo de questionamento pode não passar de uma desculpa para um estudante que odeia Física tentar uma forma desesperada de escapar das aulas, mas nem assim deixa de ser uma dúvida legítima e que merecia a digressão de uma pequena seção desta Tese.

De fato, é possível argumentar com o estudante que, ainda que a ciência lide com imprecisões, aproximações e idealizações, isso em nada nega sua aplicabilidade, utilidade, valor epistemológico e até mesmo seu valor poético. Afinal, não importa tanto se o trio de galáxias ARP 274 está mesmo a 400 milhões de anos-luz da Terra ou se temos uma grande margem de erro nesse valor: a beleza que levou essa fantástica imagem a receber 67 mil votos independe desses detalhes e, já que o ser humano é tão disposto a reconhecer a estética do que o rodeia, as belas fotografias do espaço já são em si mesmas um excelente motivo para que a humanidade empreenda tamanha dedicação à ciência da Astronomia.

[***Imagem 2***] ARP 274. Versão em preto e branco (porém, ainda bela) da imagem disponível em http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2009/14/image/a/format/large_web/
Acesso em 29 de abril de 2016

Mas não é apenas esse aspecto educacional que podemos enxergar quando pensamos nas definições. Elas frequentemente sequer são explicitamente apresentadas como tal aos educandos. De fato, muitas vezes, o estudante tem a impressão de não haver diferença entre definição e lei, entre convenção e descoberta. Um caso que ilustra bem como existe tal confusão entre as pessoas

> *foi a reclassificação de Plutão como "planeta-anão": aqui pode-se discutir que a mudança tratou-se não de descobrir que Plutão não era um planeta, mas de estabelecer uma nova definição para este termo, a qual implicou a reconsideração.*
>
> *[…]*
>
> *[Nota de rodapé] […] não havia sido feita nenhuma descoberta nova acerca das características fundamentais do astro; o que houve foi uma necessidade, dado o grande número de outros objetos semelhantes descobertos, de se estabelecer uma definição mais clara para o termo "planeta", e convencionaram-se determinadas definições que acabaram por colocar Plutão na categoria de "planeta-anão". Há de se sublinhar, porém, que uma definição não é arbitrária, mas observa a toda uma classe de conveniências, e deve ser tal que, em se relacionando com outras definições dentro de uma mesma teoria, não cause contradições e permita construir uma estrutura de linguagem propícia a descrever satisfatoriamente o fenômeno a que a referida teoria se propõe.*
>
> (DAROS-GAMA, 2011, p. 68; DAROS-GAMA & ZANETIC, 2009)

Como vemos nesse exemplo, há uma confusão grande sobre o que são definições. Com efeito, elas são indispensáveis em qualquer ciência, e geralmente se assume que gozam da propriedade de dispensar demonstração. Podemos discutir o quanto são convenientes ou mesmo motivar, por exemplo, que escolhamos um modo (e não outro) para definir um termo qualquer, mas não podemos discutir muito além disso a veracidade de uma definição, ou melhor, não podemos pedir algo como "dê-me uma evidência experimental de que essa definição é verdadeira".

Já leis e outras constatações diretamente obtidas dos fenômenos carecem do máximo possível de evidências empíricas ou mesmo de demonstrações teóricas. Por exemplo, não é necessário demonstrar a definição da unidade imaginária, *i*, que diz $i^2 = -1$, mas é necessário e possível demonstrar que *i* é uma solução para a equação, em ***C***, $x^2 + 1 = 0$ (a outra solução é $-i$).

Se leis (ou teoremas, corolários etc.) precisam de evidências mas definições (ou axiomas, postulados etc.) prescindem destas, a natureza e a forma de lidar com as primeiras é muito diferente da que exigem as segundas, de maneira que diferenciá-las, para os estudantes, é fundamental.

O que digo aqui pode parecer óbvio, mas muitas de nossas aulas falham em tal tarefa, e mesmo livros didáticos nem sempre dão ênfase a tal distinção. Por exemplo, o livro didático de MARTINI *et al*. (2013) parece apresentar, em destaque, ao longo do texto, em quadros verdes, algumas informações que, de algum modo, identificam os tópicos fundamentais do texto e, embora enorme parte dos quadros verdes sejam definições, alguns não o são. Vejamos dois exemplos, um em que identifico uma definição e, em seguida, um em que identifico uma afirmação de outra natureza.

O primeiro quadro verde <u>define</u> a velocidade escalar média:

> ***velocidade escalar média*** *(v_m) de um corpo em determinado percurso é a relação entre o deslocamento escalar realizado pelo corpo (Δs) e o tempo despendido na ação (Δt).*
>
> $$v_m = \Delta s/\Delta t$$

(*Op. cit.*,vol. 1*,* p. 29)

O segundo quadro verde apresenta a 2.ª lei de Kepler: “As áreas ‘varridas’ pelo raio vetor que liga o planeta ao Sol são iguais em intervalos de tempo iguais durante o movimento do planeta” (*Id. Ibid.*, p. 168).

Não tenho a menor intenção de fazer crítica ao texto, de cuja qualidade não duvido, mas é provável que muitos estudantes não tenham facilidade para diferenciar a origem ou a natureza das duas afirmações que acabamos de citar. Ambas podem parecer descobertas científicas. Podem existir autores que digam que tudo o que a ciência fala são invenções, mas, é possível, fora de uma tal abordagem, distinguir mais claramente que existem afirmações em que damos nomes a coisas que encontramos na natureza e há outro tipo de afirmações em que descrevemos algum princípio que certos objetos parecem obedecer no mundo (e, para isso, usamos os nomes que demos a esses objetos, a grandezas e relações entre elas, naturalmente, mas o conteúdo de tais afirmações não se reduz somente à nomeação de entidades).

Distinguir esses dois reinos de declarações científicas tem uma importância enorme até para a forma como um(a) educando(a) mais crítico(a) pode vir a questionar quem lhe traz informações. Sua criticidade pode, por exemplo, manifestar-se quando se depara com definições, para elaborar perguntas como “essa definição é usual, mais geralmente aceita, ou passa por grandes controvérsias?”, “que autores a adotam?”. Inclusive, é mesmo possível que, em um debate, um(a) interlocutor(a) acate a definição dada pelo(a) oponente e, em cima disso, desenvolva seu raciocínio (frequentemente pode usar a definição do/a oponente contra ele/a mesmo/a, mostrando, por exemplo, que por vezes incorre em aplicar o termo a algo que não cabe na definição). Mas parece haver muito mais perguntas, ou pelo menos perguntas mais profundas, a serem feitas quando nos deparamos com algo mais que simples definições.

Quando se trata, por exemplo, de o professor ou professora de História, Geografia, Filosofia ou Sociologia dar definições para “comunismo”, “socialismo”, “capitalismo”, “(neo)liberalismo” etc., há pouco (embora não se reduza a nada, importante lembrar) que se pode questionar sobre as nomenclaturas (por vezes, um bom dicionário filosófico ou sociológico pode até ser adotado como “autoridade” quanto às definições dos termos que serão usados pelo(a)s educando(a)s em um debate em sala de aula, por exemplo), mas uma simples pergunta parece engendrar muito maior discussão (e essa sim seria um foco provavelmente mais rico para o debate): qual desses sistemas é o melhor, o mais “aplicável” ou o mais justo?

Em uma aula de Física, podemos debater com jovens estudantes (não importa se jovens com 15 ou com, digamos, 90 anos de experiência de juventude) se os átomos existem, mas um primeiro passo bastante útil seria começar por estabelecer um acordo quanto ao que a turma chamará de átomo. Sem definições, muitos debates estão fadados a “patinar” sobre palavras tão maleáveis que os discursos vão se liquefazendo e podemos cair em situações nas quais parecem opor-se pessoas que, na verdade, estão defendendo a mesma posição (porém com palavras diferentes).

Para terminar essa breve discussão sobre as definições, seus usos na ciência e na sala de aula, vale comentar que há uma falácia importante a ser evitada: a falácia das definições. Se quisermos falar de um termo X e exigirmos definir X, digamos que definimos X como sinônimo de Y… então nos vemos com o problema de definir Y, donde o definimos como antônimo de Z, que é uma forma de W,… e assim incorreremos numa interminável série de definições. Geralmente nos contentamos quando conseguimos reduzir os termos mais complexos a relações entre palavras mais simples e cujos significados quase não causam disputas.

Um(a) educador(a) que pretenda, por exemplo, trabalhar debates em salas de aula (ou que simplesmente queira tratar com especial atenção as definições dos termos sobre os quais apoiará uma aula expositiva), pode ter de se lembrar do problema de *sorites.* Por exemplo, se propomos que nossa turma debata, por um motivo qualquer, se o cão (ou a cadela) ou se o(a) gato(a) é melhor amigo(a) das pessoas, provavelmente não há necessidade de definir cão e gato (provavelmente não há confusão sobre se dado espécime é cachorro ou gato), mas, se formos debater se socialismo ou comunismo são sistemas viáveis ou justos, é imprescindível definir esses termos (sobretudo porque há enorme confusão sobre seus significados, mesmo existindo disputa de definições entre os peritos); também se formos discutir o parentesco entre cães e lobos, o problema de *sorites* pode tornar-se muito evidente, num momento em que não podemos distinguir claramente algumas raças de cães com certas espécies de lobos (creio que há, inclusive, autores que defendem que o cão doméstico é uma subespécie de lobo, *Canis lupus familiaris*).

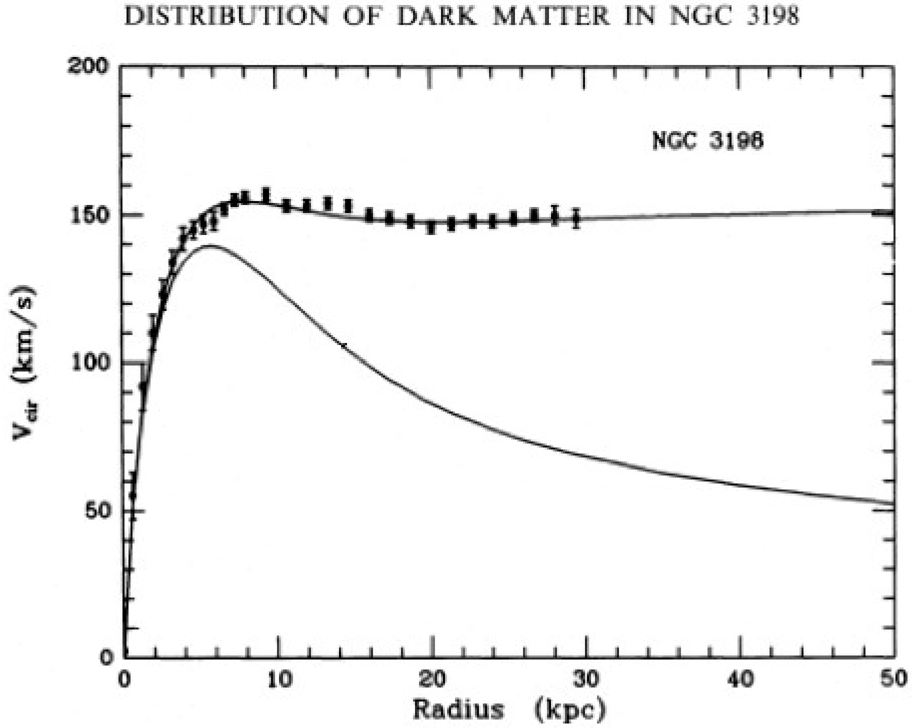
Vale ressaltar que essas colocações não têm a intenção de esboçar um roteiro de aulas, mas podem, espero, fornecer elementos para alguns detalhes a serem incorporados em dinâmicas e/ou em aulas expositivas para explicitar a importância das definições não apenas na prática do(a)s cientistas, como também no cotidiano do(a)s estudantes.

III.11. Mais alguns exemplos aplicados à Física

Muitos itens foram discutidos até aqui, mas algumas das abstrações apresentadas têm aplicações mais focáveis em questões físicas concretas. Vou explorar apenas alguns exemplos, como ilustração. Isso significa que creio ser possível aplicar os elementos de Lógica aqui discutidos a uma infinidade de situaçõs científicas (além das cotidianas), mas evidentemente não pretendo esgotar todos os casos aqui. Bastariam alguns exemplos para mostrar como aplicações bem simples de conceitos lógicos clássicos e suas regras de inferência podem nos levar a entender ou questionar melhor alguns estudos científicos.

III.11.a. O problema da matéria escura

Comecemos com o problema da matéria escura… Embora hoje venham sendo somadas evidências para se sustentar que o universo está permeado por uma grande quantidade de matéria invisível (que é imune à força eletromagnética) que atrai gravitacionalmente, uma das evidências experimentais mais apontadas, nos manuais acadêmicos, para a existência de tal matéria, é a curva de rotação das galáxias (cf., p. ex., OLIVEIRA Filho & SARAIVA, 2014, p. 579).



[*Imagem 3*]. Exemplo de uma “famigerada” curva de rotação; no caso, obtida para a galáxia NGC 3198. As barras de incerteza representam os dados observacionais da velocidade de rotação de estrelas em torno do centro galáctico em função da distância a este. A linha contínua inferior representa o comportamento teórico esperado para a curva, considerando a mecânica newtoniana.

[Figura adaptada (simplificada) de ALBADA *et al.*, 1985]

Acontece que essa curva, obtida observacionalmente, não é aquela que seria prevista pela Mecânica Newtoniana (*Id. Ibid.* e VELTEN, 2008) com base na matéria observada (vide, para ilustrar essa discordância entre a previsão e a observação, a [Imagem 3], onde se apresenta a curva para uma dada galáxia). Ocorre algo aproximadamente assim:

Se a teoria gravitacional newtoniana (GN) está correta e se a porção mais relevante da matéria que compõe a Galáxia visível, ou seja, é aquela que observamos (MV), então a curva de rotação deve ter aproximadamente um certo formato CR. Ou seja:

$$GN \wedge MV \rightarrow CR$$

(Afirmação C.1)

Sabemos que, pelo *Modus Tollens*, a negação do consequente implicará a negação do antecedente. Logo, se *CR* não acontece (isto é, se a curva de rotação da Galáxia não é como o previsto pela gravitação newtoniana aplicada à suposição de que a quase totalidade da matéria galáctica é estimável visualmente), então a conjunção "*GN* **e** *MV*" está errada. Para que uma afirmação formada por duas outras unidas pela conjunção "e" esteja errada, basta que ao menos uma dessas duas esteja errada. Logo:

Se a curva de rotação da Galáxia não é conforme o previsto, então ou a mecânica newtoniana está errada (precisa de reformulações) ou então nem toda a matéria que atua gravitacionalmente na Galáxia é visível. Isto é:

$$\neg CR \rightarrow \neg GN \mathbf{\ v\ } \neg MV$$

(Afirmação C.2)

Note o leitor que a C.2 decorre da C.1 por aplicação da regra de inferência, já mencionada, conhecida como "modo de negação" (*Modus Tollens*).

Conforme citado, as observações astronômicas levaram os cientistas a admitirem que ¬*CR*, isto é, as observações não estão de acordo com a curva de rotação prevista. Portanto, segundo a C.2, ou a Mecânica Newoniana está equivocada ou então uma parte considerável da matéria da Galáxia é invisível. Aliás, esse "ou" não é exclusivo, de maneira que existe também uma terceira possibilidade: a de que ambas as anteriores estejam estejam certas (isto é: ¬*GN* **e** ¬*MV*).

A ciência tem certo caráter conservador, e isso não é uma *crítica* de minha parte! O que acontece é que, se temos três opções (ou a mecânica de Newon precisa ser reformulada ou existe muita matéria invisível na Galáxia ou ambas as coisas), os cientistas darão prioridade à hipótese mais simples, o que descarta, de início, a terceira opção (que é, sem dúvida, a mais complexa).

Também estamos desconsiderando que existem outras opções além dessas três e considerando muitas simplificações. Por exemplo, pode acontecer de as observações (que levaram os astrônomos a concluir que a curva de rotação não está conforme o previsto) estarem sujeitas a erros, como sabemos que toda observação está e como se vê, por exemplo, na seguinte constatação, extraída das conclusões de uma Dissertação de Mestrado em Astrofísica que estudou justamente esse tema:

> *"Revisando o processo de extração das curvas de rotação* [galácticas]*, notamos que erros sistemáticos na interpretação das observações podem ser cometidos em função de diferentes problemas, sejam eles instrumentais, observacionais ou teóricos"* (SCARANO Jr., 2003, p.110).

Isso não significa que correções das observações necessariamente venham a resolver todo o enigma da curva de rotação, mas talvez sejam um dos fatores responsáveis e poderiam reduzir as estimativas da quantidade de matéria escura que se supõe existir no universo. O fato é que a Natureza pode ser imaginada como um livro e o cientista, como um leitor apaixonado: todo livro é sujeito a interpretações, mas estas não reduzem - pelo contrário, aumentam! - a beleza e o gosto de se apreciar a leitura.

A Ciência, longe de ser uma magistrada suprema, que bate o martelo e determina uma sentença irrevogável, está aberta a reconstrução, e não existe, em princípio, qualquer ideia, levantada pelos pensadores e pensadoras de outrora, que não possam ser revistas pelas gerações futuras. Mais interessante que isso: não há qualquer motivo pelo qual uma ideia antiga não mereça ser revisitada e possa inspirar uma inovação no pensamento futuro. É o que nos ensina o fato de que certo heliocentrismo já se supunha na mente de Aristarco ou que o átomo tenha sido vislumbrado (ainda que muito distante do átomo como o entendemos hoje) pela antiga Grécia. Talvez fosse algo assim que um dos grandes literatos do mundo antigo, cognominado “Coélet”, quase certamente o rei Salomão, autor de muitos dos Provérbios da milenar literatura do povo hebreu, tinha em mente ao escrever a bem conhecida máxima: “O que foi tornará a ser, o que foi feito se fará novamente; **não há nada novo debaixo do sol**. Haverá algo de que se possa dizer: "Veja! Isto é novo! "? Não! Já existiu há muito tempo; bem antes da nossa época” (Eclesiastes 1:9-10; grifos meus).

Tornando ao tema da matéria escura, por mera simplicidade de raciocínio, consideraremos, por ora, que $\neg CR$ é um fato dado observacionalmente, isto é, que os referidos erros sistemáticos ainda não seriam suficientes para redesenhar as curvas obtidas observacionalmente até uma configuração que esteja de acordo com a previsão tipicamente newtoniana. Frequentemente é necessário limitarmos nossas hipóteses possíveis para uma análise lógica não se tornar impraticável.

Isso não significa que estamos nos fechando à possibilidade de haver outros elementos a serem considerados, mas que os consideramos pouco prováveis, desprezíveis ou que nos interessa, por segurança, considerar apenas alguns casos extremos nos quais uma dada hipótese pode ser negligenciada. De fato, não é a Lógica que nos diz quais hipóteses considerar (como dito antes, a Lógica não é onipotente), de modo que essas informações precisam ser colocadas “vindas de fora” da Lógica: pela intuição, pelas observações ou mesmo por simples conjectura.

Isso posto, retomemos nossa discussão a partir da Afirmação C.2… A comunidade científica parece ter preferido, em sua maioria, a hipótese de $\neg MV$, o que não é absurdo nem inesperado, dado o saudável conservadorismo dos cientistas, que consideraram, nesse caso, mais plausível supor que há matérias não visíveis na Galáxia a supor que uma teoria muito bem estabelecida (como a mecânica newtoniana) precisa de reformulações novas.

Restou, então, assumir a existência de abundante matéria invisível, ou “matéria escura”, no universo. Além do problema das curvas de rotação galácticas, outras evidências foram surgindo. Contudo, C.2 nos permite ver que uma alteração das teorias gravitacionais também poderia ser levada em conta. Com efeito, é o que tem ocorrido, aparentemente, sobretudo em pesquisas mais recentes:

> Na arena da matéria escura, sabe-se que uma modificação da dinâmica newtoniana pode emular os efeitos da matéria escura sem necessidade de novas partículas materiais. Tal abordagem foi, entretanto, muito criticada no passado por não apresentar uma teoria relativística consistente. Há poucos anos, no entanto, uma teoria relativística consistente foi construída e um grande esforço

> tem sido empregado para determinar sua validade observacional. Mostramos [no trabalho do autor desta citação] uma análise preliminar de como tal teoria poderia explicar as observações do efeito de lentes gravitacionais do Aglomerado da Bala, aclamado como uma das melhores evidências de matéria escura da atualidade.
>
> (QUARTIN, 2008, p.iv)

A habilidade de entender e articular esse tipo de informação científica com uma Afirmação como a (C.2) é fundamental para a prática de um cientista, de um professor ou de um estudante de ciência. Ainda que se possa pensar que dita habilidade é inata, de um modo intuitivo, devemos nos lembrar que a Educação não pode contentar-se facilmente com a intuição inata dos estudantes (fosse suficiente, não haveria sequer necessidade de Educação). A sistematização do pensamento é uma das metas de um bom processo educativo. De fato, é uma meta que está diante de todo o processo educacional: desde a linguagem, a literatura e as artes até formas de comunicação bem distantes da linguagem coloquial, como se poderia dizer que é o caso da matemática e das ciências naturais.

O que propomos aqui (a valorização do aprendizado da sistematização do pensamento, pelo educando) não é algo exatamente novo, portanto, porque já é feito em aulas de Língua Portuguesa, Física etc.; mas, se o raciocínio lógico já é considerado tão fundamental para todas as áreas do conhecimento (a tal ponto de não ser negligenciado em nenhuma delas), nada mais natural que tratar esse raciocínio de forma bem explícita: tornando elementos da Lógica e da representação dos cálculos de predicado, conjunções, disjunções, implicações etc. um tema recorrente em algumas aulas de Física ou de Matemática, por exemplo. Em outras palavras: elementos de Lógica estão presentes em nossos cotidianos escolares; contudo, a Lógica, enquanto disciplina (com seus símbolos, regras de inferência etc.), fica sempre oculta aos olhos do estudante.

Da mesma forma como uma criança pode começar conhecendo os números a partir da contagem nos dedos, deixar de lhe apresentar, ao longo da vida, as representações gráficas e os símbolos, além dos postulados e teoremas da Matemática seria dificultar ou até impedir o desenvolvimento de seu raciocínio quantitativo. Por que, então, não supor que apresentar explicitamente a Lógica presente em nossas discussões matemáticas, físicas, gramaticais, literárias etc. na sala de aula seria um elemento facilitador para abrir um mundo diante do nosso estudante?

Para ousar estender mais esses parênteses educacionais, a Lógica e a Matemática são frequentemente associadas a ciências que estudam sintaxes. Não por mera coincidência, a gramática que estudamos em disciplinas de Língua Portuguesa também é citada como um estudo de sintaxe. De fato, Matemática, Gramática, Interpretação de Textos, Ciências Naturais e tantas outras áreas têm muito mais em comum do que supõe o estereótipo escolar (que separa o universo do conhecimento em “exatas” e “humanas”). Assim, vemos frequentemente estudantes (e professores!) que supõem que “ser bom em exatas” exime-o ou mesmo impede-o de “ser bom em linguagem escrita” ou vice-versa.

Ora, mas a mesma racionalidade que permite ao gramático saber qual a forma correta de construir uma sentença é, em essência, aquela que possibilita ao físico realizar cálculos. Talvez, portanto, levar elementos de sistematização do raciocínio lógico para a sala de aula (como no exemplo da queda livre, apresentado anteriormente neste mesmo capítulo) seja uma via e aproximação de áreas do conhecimento tão afins, em realidade, porém tão injustamente separadas por um mito escolar de setorização do universo. Com efeito, a Lógica tem raízes na intuição que nosso estudante certamente já desenvolveu, mas isso não impede que, ao se explicitar algo dessa ciência essencial, que é a Lógica, em sala de aula, ele ganhe, com isso, muito maior amplitude de aplicação do raciocínio, do mesmo modo como nosso estudante já adentra a vida escolar sabendo falar, e nem por isso é dispensável que estude a Língua Portuguesa, com suas gramáticas e teorias literárias.

III.11.b. A equação geral da onda unidimensional

Retomemos o raciocínio de que um fato geral implicar um caso particular não nos permite concluir que um caso particular mostre sempre uma forma trivial de se chegar na lei geral. De fato, isso não pode ser esquecido em sala de aula, mas às vezes ocorre que o raciocínio que desenvolvemos com nossos estudantes cai no erro de confundir o caso particular com o caso geral. Exploraremos agora um exemplo dessa situação.

O exemplo da dedução da equação geral de uma onda unidimensional é fácil de encontrar em manuais universitários. O objetivo, em dado momento, é deduzir uma equação que descreva movimentos ondulatórios. Essa equação é chamada “geral” porque descreve a viagem de qualquer pulso, seja mecânico ou eletromagnético, seja de onda em uma corda ou de onda em outro tipo de meio, seja de uma perturbação espacial, seja de pressão, seja de ondas longitudinais, seja de transversais etc. (Há, contudo, algumas ressalvas, como o fato de que ondas reais não têm certas características idealizadas: por exemplo, um pulso pode perder amplitude enquanto se desloca, dado que não existe meio real de propagação que não ocasione alguma dissipação de energia, e pode sofrer mudança de velocidade se houver forças sobre ele. Mas estamos interessados apenas na situação em que a velocidade é constante, como é comum em Física, vamos analisar apenas o caso “ideal”.). É, portanto, algo que as ondas clássicas ideais têm em comum, a obediência a essa equação:

$$\partial^2 f/\partial t^2 = v^2\, \partial^2 f/\partial x^2 \tag{C.25}$$

A relação C.25 descreve uma perturbação qualquer, $f = f(x,t)$, que se desloca na direção x, sendo tal perturbação concebível como um pulso que não altera sua forma. Na C.25, x representa a coordenada espacial, t representa a temporal e v é a velocidade (suposta constante) de propagação da onda.

Antes de discutirmos a dedução da C.25, vamos comentar sua generalização para 3 dimensões, apenas para exemplificar o que foi discutido na seção anterior: que muitas vezes é fácil conjecturar, com acerto, qual a forma correta de uma equação geral a partir de um seu caso particular. No caso, a unimensionalidade do problema está evidente na equação quando ocorre a derivada parcial segunda em relação a *x*.

Em muitas equações, esse tipo de restrição acontece por ser a derivada parcial segunda em relação a uma única coordenada um dos termos de um operador laplaceano:

$$lap\ \mathbf{v} = \partial^2\mathbf{v}/\partial x^2 + \partial^2\mathbf{v}/\partial y^2 + \ldots + \partial^2\mathbf{v}/\partial z^2$$

Definição do operador laplaceano – *lap* (***v***) – de um vetor qualquer ***v***, nas dimensões *x*, *y*, …, *z*.

Esse operador costuma ser definido exatamente para 3 dimensões, mas colocamos as reticências para representar que é fácil fazê-lo para um número qualquer de dimensões (bastando somar mais um operador derivada parcial segunda em relação a cada dimensão extra ou suprimir em relação a cada dimensão ausente. Com esse tipo de raciocínio, a primeira hipótese que poderíamos levantar é que a equação geral de uma onda tridimensional é muito semelhante a C.25, exceto que, em lugar da tal derivada segunda, ocorreria uma aplicação do operador mencionado. Com efeito, não é muito mais complexo que a própria dedução da C.25 a da equação tridimensional, a qual está correta (cf. COUTO, 2010, p. 53), como conjecturamos (embora não seja do nosso interesse apresentar aqui sua demontração):

$$\partial^2 f/\partial t^2 = v^2\ lap(f) \tag{C.26}$$

Mostremos, agora, um esboço de demonstração da equação C.25 (cf. NUSSENZVEIG, 2002, pp. 99-100;102-103; ROQUE, 2012, pp.12-14; TIPLER & MOSCA, 2008 p. 501). Trata-se de um esboço porque uma demonstração rigorosa seria muito mais longa e elaborada, o que excederia o escopo do texto. Para o que nos interessa, podemos “pular passagens” e incorrer em abusos de notação, já que tornarão esta última menos “carregada” e, neste caso, facilitarão um pouco o entendimento dos passos apresentados. Caso o leitor tenha particular interesse em evitar tais abusos, o que é bastante positivo, remetemos a uma breve observação sobre a notação da “regra da cadeia” (que é o principal recurso matemático ao qual apelaremos para nossa demonstração esboçada) presente em BORTOLOSSI, 2002, pp. 277-8.

Começamos firmando o entendimento de que buscamos uma equação que descreve um pulso deslocando-se, com velocidade constante *v*, em uma única dimensão e, mais importante, de modo que o pulso não se deforme enquanto se desloca. Isso significa que, para um observador em repouso em relação ao pulso, este parecerá totalmente idêntico a si mesmo ao longo do tempo. Em linguagem matemática, se definirmos $f=f(x,t)$ como sendo a descrição do pulso (f pode ser a coordenada y de um pulso que se desloca na direção x, pode representar a pressão em uma onda mecânica, a intensidade de um campo elétrico ou magnético no caso de um pulso de luz etc.) para um observador no referencial inercial S, então a mesma função, no caso de um observador no referencial S', em repouso em relação ao pulso, será independente do tempo, isto é: $f(x,t)=f(x')$, onde x' é a posição do pulso medida pelo observador em S'.

Como S' desloca-se a uma velocidade constante em relação a S, então vale a simples transformação de coordenadas $x' = x \pm vt$, sendo o sinal ± dependente do sentido no qual o pulso (e S') se desloca. Ficamos, portanto, com a seguinte equação como ponto de partida:

$$f(x') = f(x \pm v\,t) \tag{C.27}$$

A partir da (C.27), aplicando-se a “regra da cadeia” e tomando as derivadas parciais primeiras de *f*, com o uso da “regra da cadeia”, chegaremos a:

$$\begin{gathered} \partial f/\partial x = df/dx'\ \partial x'/\partial x = df/dx'\ 1 \rightarrow df/dx' = \partial f/\partial x \\ \partial f/\partial t = df/dx'\ \partial x'/\partial t = df/dx'\ (\pm v) \rightarrow \partial f/\partial t = \pm v\ df/dx' \end{gathered} \tag{C.28}$$

Substituindo a primeira na segunda das equações (C.28), ficaremos com:

$$\partial f/\partial t = \pm v\ \partial f/\partial x \tag{C.29}$$

Poderíamos contentar-nos com a C.29 e declará-la a equação geral da onda unidimensional, não fosse um inconveniente: o sinal ambíguo indica a dependência que a equação tem do sentido no qual se desloca a onda. E é desejável que uma equação física não tenha esse tipo de inconveniente, mas - ao contrário - seja o mais geral possível. Felizmente, tomando-se novamente a derivada parcial em relação ao tempo, em ambos os membros da C.29, a dependência do sinal desaparecerá. Para tanto, basta lembrar que:

$$\partial f/\partial x' = \partial f/\partial x,$$

conforme a primeira das C.28, já que a derivada parcial de $f(x')$ em relação a x' é idêntica à derivada total de $f(x')$ em relação a x', uma vez que x' é a única variável de $f(x')$, e lembrar também que:

$$\partial(\partial f/\partial x')/\partial t = \partial(\partial f/\partial x')/\partial x'\ \partial x'/\partial t = \partial^2 f/\partial x'^2\ (\pm v)$$

Com tudo isso em mente, a (C.29), derivada mais uma vez em relação ao tempo, terá o sinal ambíguo multiplicado por si mesmo, o que deixará um fator v^2, sem a inconveniente dependência do sinal, e nos levando finalmente a (C.25):

$$\partial^2 f/\partial t^2 = v^2 \, \partial^2 f/\partial x^2$$

Equação Geral da
Onda Unidimensional

Conforme ressalvado, a demonstração anterior foi um mero esboço dos passos "gerais" para se chegar à equação da onda. Alguns abusos de notação foram cometidos, como o expressar a função *f* sem explicitar em que ponto ou sobre que variável ela se aplicava. Já que saímos da C.27, é fácil verificar que há exatos dois formatos de solução particular da C.25: um é $f(x,t) = f(x+vt)$ e outro é $f(x,t) = f(x-vt)$. A C.25 é um tipo de equação diferencial para o qual a solução geral é a combinação linear das soluções particulares. Ou seja, a solução geral da C.25 é:

$$f(x,t) = g(x+vt) + h(x-vt) \tag{C.30}$$

,

Que descreve, no caso mais geral, dois pulsos: um vindo num sentido e outro vindo no sentido oposto.

É importante notar que a (C.27) e a (C.30) não são idênticas. A (C.30) é, na verdade, mais geral que a (C.27). Isso se dá porque o processo de derivação ocasiona "perdas" de informação. Por exemplo, se partimos da função $f(x) = x$ e a derivarmos uma vez, ficamos com $f'(x) = 1$, que é uma equação diferencial para a qual $g(x) = x + 1$ é solução, bem como $h(x) = x + c$, para qualquer *c* constante, é a solução geral.

Outro exemplo seria uma função $u(t) = exp(t)$, que derivada 4 vezes resulta $u''''(t) = exp(t)$, donde se conclui que $u''''(t) = u(t)$. O fato é que esta última equação diferencial aceita outra solução exponencial, $u(t) = exp(-t)$, além de outras compostas por funções trigonométricas: $v(t) = A.\ sen(t)$ e $w(t) = A\ cos(t)$, para *A* constante, também têm por derivadas quartas a si mesmas. Com efeito, de quatro derivações sucessivas da função exponencial, chegamos a uma equação diferencial cuja solução geral é $u(t) = a.exp(t) + b.exp(-t) + c.sen(t) + d.cos(t)$, onde a, b, c, d são constantes (solução geral confirmada pelo mecanismo de conhecimento computacional WolframAlpha®, disponível em http://www.wolframalpha.com).

É importante que o professor de Física tome o cuidado de, ao apresentar a equação de onda e suas soluções, não dar a confundir casos e soluções particulares com casos e soluções gerais (por exemplo, dar a entender que, do estudo de uma corda tensionada – caso particular – pode deduzir uma equação geral de ondas, o que é falso e sendo que se dá justamente o oposto: da equação geral podemos deduzir algo a respeito das ondas em cordas tensionadas; aqui a implicação não corresponde à equivalência), sob o risco de, ao não fazê-lo, reforçar no estudante a impressão de que a lógica das deduções é indiferente ao sentido das implicações. Isso é importante para pelo menos duas coisas:

1- Que o estudante não seja compelido a cometer falácias de implicação, como a da afirmação do consequente;

2- Que o estudante não se confunda, porque, em sua mente, poderia ser legítima a seguinte dúvida, por exemplo: Se partimos da descrição de um pulso, chegamos à equação de onda e desta chegamos a uma solução geral que envolve dois pulsos em sentidos opostos, então isso significa que toda vez que existe um pulso existe também outro em sentido oposto? Em particular, já que a luz é uma onda, toda vez que um pulso luminoso é emitido, necessariamente surge um pulso luminoso em sentido oposto? Terá isso alguma relação com a lei da conservação de momento linear?

Talvez o leitor pense que as dúvidas hipotéticas do item 2 anterior sejam um exagero meu, mas, pelo menos em minha ainda escassa experiência docente, eu diria que dúvidas tão surpreendentes são felizmente comuns. E repito: *felizmente* comuns, embora sejam quase restritas a um pequeno número de estudantes que são sempre os que as expressam.

Por que digo que é feliz o professor que encontra essas dúvidas em seus estudantes? Porque elas podem até nos deixar contra a parede, mas é nelas que se apoia qualquer processo de aprendizado que realmente vale a pena. Eis aqui a difícil confissão de muitos professores, suponho: as melhores perguntas dos nossos estudantes geralmente são aquelas que temos maior dificuldade em responder. Mas o fato é que, como bem lembrava Paulo Freire ao longo de suas obras, somos educadores-educandos, ou seja, estamos também aprendendo enquanto ensinamos. Portanto, o medo de não saber responder a certas perguntas não deve desmotivar jamais o professor. O medo que realmente nos deve importunar é não o de que nosso estudante faça perguntas difíceis, mas o de que ele não as faça ou que se resigne a perguntar apenas coisas banais, como qual o dia da prova ou o que ele precisa memorizar.

Um estudante que terá apenas perguntas fáceis geralmente é aquele que não está enfrentando um conflito cognitivo (e não estou me referindo ao termo especificamente piagetiano): porque a Educação envolve desconstruir e construir ideias, conceitos e até os próprios sujeitos. E isso é frequentemente algo constrangedor: porque o estudante está sendo reconstruído pelo processo educativo tanto quanto o professor. É quase que um análogo educacional da Lei de Ação e Reação: o professor não pode criar um ambiente de aprendizado sem que ele mesmo aprenda, não pode promover a re-elaboração cognitiva do seu estudante sem que ele mesmo passe por uma tão radical quanto a que presencia no estudante.

Portanto, eu acredito que questões “estonteantes” realmente aparecem em sala de aula e, se não aparecem, um dos primeiros desejos do professor será o de instigá-las. Mas, claro, como elas envolvem, em nós, educadores, talvez o dobro do transtorno que causa no nosso educando (uma medida porque nós mesmos passamos pelo aprendizado enquanto ensinamos e outra, porque corremos o risco de não saber as respostas, o que pode, mas não precisa nem deve, ser constrangedor). Mesmo assim, o professor não deve temer as perguntas difíceis dos estudantes tanto quanto um médico não deve temer certos sintomas em seus pacientes.

Assim como o sintoma pode causar incômodo mas ser, na verdade, um efeito do corpo sendo curado, do mesmo modo o transtorno das dúvidas “insolúveis” ou das perguntas difíceis é causa e efeito de um aprendizado realmente profundo.

É assim que a palavra “transtorno” aparece tanto em ambientes sob reforma, e geralmente na frase “Desculpem-nos pelo transtorno; estamos em reforma para melhor atendê-los”.

Ainda nessa linha, a Ciência tem coleções de questões em aberto, cujas respostas são desconhecidas. Deve o professor tocar nessas questões em aula ou deve evitar mencioná-las? Em minha prática profissional, eu respondo a essa pergunta usando o princípio básico de que a Educação visa antes à dúvida que à resposta. Se o papel do educador é formar a pergunta mais que formar a resposta, então é fácil concluir que perguntas em aberto desempenham papel muito positivo na formação do estudante. E, acrescento, é muito mais relevante meu estudante saber que a Ciência atual debate a relação entre a massa das partículas e o bóson de Higgs que saber de memória todas as equações onde aparece a variável “massa”.

O caso da equação de onda traz alguns pontos importantes de discussão sobre a ordem das inferências e a dedução. Mas o que vivenciamos é um sistema educacional muito mais interessado em que nosso estudante calcule e resolva muitos exercícios onde aplica a equação de onda, sem ter qualquer preocupação com a apropriação do que ela representa, de onde ela vem, a que ela leva, ou mesmo sobre quais seus limites de validade (v constante, forças dissipativas nulas etc.).

Novamente o fantasma do tempo (o fato de as cargas horárias serem muito curtas) nos assombra, e muitos colegas devem perguntar-se como podem lidar com as nuances da equação da onda e, no mesmo limite de tempo, aperfeiçoar e exercitar as aplicações práticas dessa equação. Mas não tentarei dizer que é possível tratar ambas as coisas com a mesma atenção. Antes, minha particular defesa de uma resposta vai no sentido de que toda decisão é regida pelo seu objetivo. Ora, sendo assim, as mais importantes perguntas do docente são, antes de responder como e o que ensinar, questionar para quê e para quem ensinar.

Já que o nível da nossa discussão sobre equação da onda é de uma escolaridade de graduação (superior), que envolve cálculo diferencial, então vou defender uma resposta contextualizada nessa modalidade de ensino: há de se considerar quem é o meu estudante.

Se é um futuro engenheiro (ou futura engenheira), que usará a teoria de movimentos ondulatórios para finalidades específicas, é realmente mais importante que eu enfatize, com ele (ou com ela), as aplicações da equação C.25, mesmo pagando o preço de que ele conheça apenas superficialmente a origem e as nuances dessa mesma equação. Por outro lado, se minha turma é de futuros professores e professoras de Física, ou de aspirantes a Cientistas, está claro que a aplicação última dos elementos teóricos tem pouca relevância para eles, enquanto que a origem, as nuances, as implicações teóricas e experimentais e todas as dúvidas ainda abertas sobre um tema são candidatas a serem trabalhadas em sala de aula.

Nosso modelo educacional ainda valoriza demais a aplicação em detrimento das nuances teóricas/epistemológicas do tema, e isso é vicioso: a Física ensinada no Ensino Médio tem o conceito como meio para fins de aplicação em exercícios e, nessa mesma linha, nosso Ensino Superior se esforça para produzir professores que respondam a essa demanda de um Ensino Médio que pouco se importa com a epistemologia dos temas.

Mas, mesmo no Ensino Médio, a aplicação sendo valorizada enquanto pouco importa o conceito é um equívoco, especialmente porque o arcabouço matemático desse nível de ensino não permite trabalhar a Física de modo mais realista. Ora, se intencionássemos valorizar a aplicação mais que o conceito, de nada valeria uma aplicação em situações idealizadas demais.

Em outras palavras, mesmo que só quiséssemos ensinar uma Física "útil" para nosso estudante no Ensino Médio, nem isso nosso sistema educacional está preparado para fazer, porque que utilidade prática pode haver em ensinarmos os estudantes a resolver exercícios com polias ideais se eles não encontrarão nada parecido com uma dessas em lojas de materiais? Que adianta gastarmos meses estudando blocos puxados por cordas de massa desprezível se uma corda do mundo real é consideravelmente pesada?

Se nossa Escola desistiu de ensinar a Física básica e falhou tão miseravelmente ao tentar ensinar a Física aplicada, é quase possível asseverar que podemos nos dar ao luxo de tentar qualquer ideia nova, porque há pelo menos um lado bom sobre esse ponto tão ruim em que se encontra nosso sistema educacional: a partir desse ponto, quase "tudo o que vier é lucro".

Gastamos muito tempo fazendo os adolescentes memorizarem e aplicarem fórmulas do movimento uniforme, mas quantos adultos se recordam delas? Passamos meses em cima das Leis de Newton e quantos egressos do Ensino Médio podem enunciar ao menos uma delas? Nem menciono os conteúdos de Ótica, Ondulatória, Física Térmica, Eletromagnetismo e Física Moderna, porque ainda são raras as escolas que os alcançam. Ora, então se nem conteudista a Escola consegue ser, que tal tentarmos alguma alternativa ao conteudismo?

E não é preciso nem pedir permissão, porque os Parâmetros Curriculares Nacionais e tantos outros documentos, como já mencionamos, realmente apontam uma valorização do conceito, das nuances teóricas e da epistemologia.

Em resumo, não estou tentando dizer que é possível dar grande atenção tanto ao conteúdo e suas aplicações quanto à base epistemológica e problematizadora dos conceitos científicos em sala de aula. Estou ousando dizer que vale privilegiar essa última em detrimento do primeiro, ao contrário do que tem sido feito até hoje na maioria das escolas.

Antes eu tinha dito que podemos fazer isso, já que temos normativas mais progressistas a nosso favor, que definiram objetivos menos conteudistas para o Ensino. Agora estou dizendo que realmente vale a pena investirmos nisso, pelo menos quando é o que se espera de nós. Como disse antes, em um curso, digamos, de engenharia ou tecnologia, ainda existe sentido em enfatizar a aplicação e exercitar resolução de problemas práticos, mas isso não se dá em cursos de Licenciatura, por exemplo, que têm outro objetivo. É por considerações assim que eu, pessoalmente, olho com bastante ceticismo para a maioria de nossos manuais universitários: muitos deles pretendem servir tanto à formação de Cientistas quanto à de Engenheiros, o que me parece muito difícil e dificilmente conciliável.

Para fomentar essa discussão, começamos com um esboço de como deduzir formalmente a equação da onda. Agora creio que cabe também discorrer um pouco sobre outras formas de obter tal equação (não exatamente por dedução, mas por generalização, potencialmente correndo-se o risco de incorrer em uma falácia).

Já tocamos na questão da generalização, que pode ser falaciosa e se comete quando se deduz uma regra geral de um caso particular. E, como acabo de mencionar os manuais universitários, seria um bom momento para comentar que alguns dos materiais que consultei, dentre os que apresentam uma dedução da equação da onda, incorrem em generalização: analisam o caso de um tipo particular de onda (ou um pulso em uma corda tensionada ou uma senoide qualquer) e mostram que ela obedece a C.25.

Felizmente, a maioria deles não incorre em uma generalização falaciosa (que seria aquela que pretende servir de demonstração), mas apenas abdicam de demonstrar a C.25 e contentam-se em verificar sua validade para algum caso particular (cf., p. ex., ALONSO & FINN, 2012, p. 606; SERWAY & JEWETT Jr., 2014, p. 36, HALLIDAY & RESNICK, 2009, pp. 128-9; YOUNG & FREEDMAN, 2008, pp. 111-5).

De todo modo, é importante enfatizar muito, para o(a)s estudantes de Física, quando estamos fazendo uma generalização, que esta não serve como prova ou evidência suficiente da validade de uma equação geral (Em outras palavras, no caso específico da equação da onda: se provarmos que um pulso em uma corda obedece à equação, isso em nada nos garante que essa equação descreve um conjunto mais geral de fenômenos).

Infelizmente, não estou certo de que esse tipo de ênfase (na ordem lógica das demonstrações, nas hipóteses de onde se está partindo etc.) é suficientemente dada na maioria dos manuais que temos disponíveis, a ponto de já ter encontrado colegas, professores de Física no Ensino Superior, que confundiam uma demonstração particular da C.25 com algo de validade geral, acreditando que, por exemplo, ao derivar essa equação da análise das forças que atuam sobre um pulso em uma corda tensionada, estavam apresentando uma dedução suficiente da equação da onda, o que é claramente falso (e o não perceber tal coisa é relativamente grave). De fato, penso que essas nuances epistemológias (de onde se pode deduzir uma equação, sob quais hipóteses, qual o alcance de validade delas etc.) são até mais importantes, na formação de um cientista ou de um professor, que a habilidade de resolver exercícios de ondulatória.

Uma primeira dedução generalizante consistiria em tomar uma função senoidal da forma $y(x,t) = A\ sen(k\ t + q)$ e, após sucessivas derivações, mostrar que ela satisfaz a C.25. Isso realmente prova que tal função é solução da C.25, mas não que a C.25 é uma equação que descreve todas as ondas e pulsos unidimensionais clássicos em situalções ideais onde estão ausentes forças externas.

É importante notar que um pulso de formato gaussiano, por exemplo, pode ser igualmente bem descrito pela C.25, uma vez que $y = A\ exp[-(x+vt)^2]$ pode ser reescrita como $y = A\ exp[-(x')^2]$, com $x'=x+vt$, que, por ser uma função da forma C.27, é solução da C.25.

A C.25 pode não passar de um amontoado de símbolos para um estudante que não entenda aquilo que é crucial: o que, no fundo, ela está descrevendo: um (ou dois) pulso(s) que se desloca(m) sem sofrer mudança de formato. É como o que vemos em uma corda longa, com uma das extremidades fixa, quando a esticamos e causamos uma deformação que passa a caminhar pela corda. É esse tipo de fenômeno que a C.25 descreve.

Evidentemente, um autor pode ter motivos que o levem a expor a C.25 sem demonstração ou a partir de um caso particular, como o de uma corda tensionada ou de uma oscilação senoidal (mas, no nível de graduação, seria de se esperar que o estudante de Física Básica detenha conhecimento de Cálculo diferencial e da "regra da cadeia" suficientes para acompanhar a demonstração que esboçamos anteriormente, de modo que a escolha de não realizar uma demonstração mais geral dificilmente pode sustentar-se sobre o desconhecimento do ferramental matemático como motivo).

Com o risco de ser repetitivo, enfatizo: não se pode apresentar uma equação deixando a impressão de que a derivação de uma função senoidal serve como demonstração de alguma relação de validade mais geral ou que a complexa decomposição das forças que agem sobre o pulso em uma corda seja suficiente para deduzir a dita relação.

Além disso, no caso de deduzirmos a equação para um pulso numa corda tensionada, a 2.ª Lei de Newton precisa ser utilizada. Isso pode dar a falsa impressão de que a C.25 depende da 2.ª Lei de Newton para ser válida, quando o esboço de demonstração que apresentamos mostra que a equação geral da onda é dedutível a partir apenas de lemas matemáticos (a regra da cadeia, basicamente), uma vez estabelecido o ponto de partida C.27, de maneira que um pulso da forma C.27 obedeceria a C.25 mesmo em um universo onde as Leis de Newton não valessem. O caso é que, num tal universo, talvez não conseguíssemos fazer um pulso desse tipo surgir em uma corda, mas, em contrapartida, eventualmente poderíamos obtê-los em outros fenômenos (quiçá em fenômenos que inexistem em nosso universo).

Com efeito, a relação entre a C.27 e a C.25 é estritamente matemática, independendo das leis da Física. Com o risco de novamente ser redundante ou repetitivo: não estou dizendo que a Física e suas leis são irrelevantes em fenômenos ondulatórios; ao contrário, são essas leis que determinam quais fenômenos podem ser (aproximadamente) ondulatórios e quais não podem; mas, uma vez que um fenômeno, qualquer que seja a Física dele, obedeça a C.27, ele necessariamente obedecerá a C.25, já que esta se deduz daquela por vias unicamente matemáticas.

Esse tipo de consideração é importante salientar em cursos de Física, a meu ver, já que é importante se manter em mente a dimensão das leis da Física (que são verdades contingentes, não necessárias, de modo que outros mundos, tão logicamente viáveis quanto o nosso, poderiam ter leis físicas diferentes), que são de natureza distinta dos fatos da Matemática, o que está por trás de grandes diferenças entre essas duas áreas do Conhecimento, por exemplo: o fato de que a Matemática não precisa apelar para a forma como a Física usa o princípio de indução, enquanto que esta jamais poderia prescindir dele; o de a Matemática não precisar ser confrontada com testes experimentais, os quais são vitais para Ciências Naturais; o de a Física não poder ser inteiramente deduzida da Matemática etc.

Tornando ao assunto da generalização, é importante deixar claro que uma equação geral precisa ser deduzida como tal: não se pode tomar o caso particular e dele pretender inferir certa universalidade, a menos que não haja outra opção (quando, por exemplo, a Ciência avança com a conjectura de que certa equação tem validade mais geral, muito embora não haja muito mais que apenas intuições estéticas para defender tal hipótese, no princípio, até que surjam evidências experimentais - conforme discutimos antes) ou que haja necessidade pedagógica para uma dedução mais geral não ser possível ou ser desaconselhada (nesses casos, porém, é preciso deixar bem claro, para o estudante, que a dedução apresentada não permite a generalização, mas foi escolhida por determinados motivos).

III.11.c. A longevidade dos mésons relativísticos e alguns propósitos educacionais

Voltando a elencar exemplos de avaliação lógica de questões físicas, vou apresentar algo muito semelhante ao que acabamos de fazer com o caso da matéria escura, mas com outro problema (para ilustrar que dois temas tão distintos podem ser analisados com um mesmo padrão lógico): a evidência de dilatação do tempo encontrada na detecção de mésons.

Estudantes de Física que já tiveram a oportunidade de estudar algo sobre a Relatividade restrita podem estar familiarizados com um exemplo muito apontado, nos manuais universitários, a título de evidência experimental em favor da dilatação do tempo (que seria um resultado famoso da Relatividade restrita, segundo o qual o tempo não flui no mesmo ritmo para todos os observadores; de maneira que se pode ter passado uma hora em um referencial enquanto se passaram apenas alguns minutos em outro, por exemplo).

Esse exemplo consiste no “alargamento” do tempo de vida de mésons (de um tipo em particular de mésons, conhecido como “múons” ou “mésons-mi”): enquanto sabemos que eles têm um tempo de vida tipicamente pequeno (antes de decaírem e se transformarem em outro tipo de partícula) quando estão em repouso, algumas medidas experimentais sugeririam que eles duram muito mais tempo quando em movimento a alta velocidade.

Tal acontecimento estaria de acordo com as previsões da Relatividade, que indicam que, no referencial do próprio méson, ele teria vivido tipicamente o mesmo tempo que ele vive (até decair) em repouso. Contudo, para o observador que o vê passar com alta velocidade *v*, ele teria vivido um tempo maior, alterado por um fator *y*(v). É isso que nos ilustra o seguinte excerto:

> Se a dilatação temporal estivesse correta, a meia-vida para um múon em movimento (medido por um observador na Terra) deveria ser maior por um fator *y* (...). [As evidências experimentais] foram boas o suficiente para excluir a suposição clássica de um único tempo universal (TAYLOR, 2005, pp.607-8).

Aqui o autor citado parece sugerir que as evidências experimentais, uma vez que corroboraram a previsão relativística, implicam a validade da teoria da Relatividade restrita e não mais nos permitem cogitar a existência de um tempo absoluto, isto é, que flui da mesma forma em todos os referenciais (como nossa intuição primeira sugeriria e como pensava Newton).

A relatividade do tempo seria, portanto, para o autor citado, algo inquestionável! Não haveria muita margem para discutir isso. Contudo, uma análise lógica, histórica ou epistemológica (bastaria ser uma dessas três coisas) já nos faria ter certa desconfiança quanto a isso.

A História nos ensina que a Ciência é passível de erros e revisões. O mesmo nos ensina a Epistemologia. A Lógica pode nos ensinar as limitações do raciocínio, que sempre depende de hipóteses. É nessa última fonte de desconfiança que nos vamos ater por ora, partindo de uma objeção à colocação de TAYLOR (*Op. cit.*):

> "Afirma-se que esta dilatação do tempo próprio de um corpo em movimento é comprovada por experiências nas quais mésons instáveis são acelerados e movem-se a altas velocidades em aceleradores de partículas. Nestas experiências verifica-se que a meia-vida (tempo de decaimento) destes mésons acelerados e movendo-se a altas velocidades é maior do que a meia-vida de mésons em repouso no laboratório. Acontece que esta não é a única interpretação destas experiências. Pode-se igualmente argumentar que elas apenas mostram que a meia-vida dos mésons instáveis depende de seus movimentos em relação à matéria distante ou então dos fortes campos eletromagnéticos a que estão submetidos. Recentemente Phipps obteve esta explicação alternativa a partir da mecânica relacional [T. E. Phipps, Jr. Clock rates in a machian universe. Toth-Maatian Review, 13:5910–5917, 1996]" (ASSIS, 2013, p. 234).

O raciocínio apresentado por ASSIS (2013) é de que existe outra explicação possível para a discrepância entre a meia-vida do méson em movimento e a mesma grandeza para a partícula em repouso: uma alteração intrínseca da grandeza meia-vida, isto é, dessa grandeza em si: não seria, então, o tempo que "durou mais" em um referencial que no outro, mas simplesmente a longevidade do méson seria maior quando ele se desloca em relação aos campos gravitacional e eletromagnético dos corpos em redor.

Já falamos do raciocínio abdutivo (que busca procurar a melhor explicação para dado fato) e de sua importância na ciência. Ora, esse nosso exemplo bem mostra a abdução sendo aplicada. Na verdade, o mesmo dava-se com o exemplo da matéria escura: poderíamos encarar toda a questão com a seguinte pergunta: "dada a curva de rotação galáctica ser diferente do previsto, qual a melhor explicação para tal?", mas focamos o raciocínio lá como se fosse uma dedução por *Modus Tollens*.

De fato, frequentemente uma abdução pode ser análoga a uma "dedução" probabilística, bastando que olhemos para uma classe de explicações possíveis (E1, E2, E3, …, En) para um fenômeno *F*; caso uma das explicações (digamos, *E1*) seja muito mais plausível que todas as outras, então podemos pensar tanto "A melhor explicação para *F* é *E1*" (formato de abdução) quanto "Sabe-se que *F*; então, provavelmente *E1*" (formato de dedução).

Como já tratamos detalhadamente o exemplo da matéria escura, vamos fazer uma análise um pouco menos formal do exemplo dos mésons. Vimos, no exemplo anterior, que, se temos *A e B implica C* (aqui a colocação do verbo no singular é proposital, porque é a cunjunção “A e B”, enquanto um bloco único, que implica *C*) e então descobrimos que *C* não se verifica, é o caso de que *A* é falso, *B* é falso ou ambos são falsos; isto é, da falsidade de *C* não se pode extrair com certeza que somente *A* ou somente *B* é falso.

O mesmo raciocínio se aplica agora: a duração média dos mésons em movimento seria maior que a dos mésons em repouso se houvesse dilatação do tempo, como prevê a Relatividade, ou se simplesmente a meia-vida dessas partículas (algo como a “longevidade” intrínseca delas) aumentasse por conta desse movimento. Isso porque a conjunção *a meia-vida intrínseca é inalterável pelo movimento* (A) *e o tempo não dilata* (B) implica *a meia-vida medida não se altera* (C), de modo que a verificação empírica de que *C* não ocorre nos permite concluir que *A* ou *B* não ocorrem (vale notar que estamos excluindo ainda outras muitas possibilidades nessa implicação, sendo que uma atitude científica prudente pode ser a de sempre supor que explicações alternativas correm o risco de surgir com o passar do tempo, de maneira que toda conclusão da ciência é provisória).

Uma analogia um tanto ruim seria o leitor pensar que uma pessoa esteve desaparecida por 300 anos e agora foi encontrada viva; dentre as várias opções para explicar tal fato estão: ela esteve em um lugar no qual o tempo passou mais devagar e, de fato, ela só esteve fora por um dia, enquanto nosso mundo experimentou a passagem de três séculos, ou simplesmente ela descobriu um modo de melhorar tanto sua saúde que ela de fato esteve fora por 300 anos mas seu corpo não teve grandes problemas com isso. Claro que são apenas duas das explicações, e talvez nenhuma delas seja muito plausível: bem pode tratar-se de um embuste (por exemplo, alguém descobre que é sósia de uma pessoa desaparecida há 300 anos e faz-se passar por essa pessoa para pregar uma peça em cientistas e detetives… tal ideia é mais fácil de aceitar e provavelmente será a hipótese que os investigadores policiais levantarão primeiro).

Mas o fato é que temos pelo menos duas variáveis a considerar quando se trata de falar em dilatação relativística do tempo de vida dos mésons: a meia-vida intrínseca e a velocidade. Portanto, um acréscimo dessa possibilidade à citação anterior de TAYLOR (*Op. cit.*), bem como uma inversão do sentido da implicação (para evitar parecer que incorremos na afirmação do consequente) e mais algumas lapidadas histórico-epistemológicas poderiam deixar a frase do manual mais exata, de modo que poderíamos colocá-la mais ou menos assim:

Se a meia-vida para um múon em movimento (medido por um observador na Terra) for aumentada por um fator y *e se eliminarmos a hipótese de isso ser devido a uma mudança intrínseca dessa variável, então tal fato será uma evidência de que a dilatação temporal está correta… Medidas assim realizadas servem de evidência para que a posição paradigmática atual seja a de que o tempo não é absoluto, mas depende do referencial*.

Aqui não se tem a pretensão de corrigir um autor, mesmo porque sabemos que ainda muitas explicações poderiam ser adicionadas ao rol das causas de uma alteração da medida da meia-vida e também há como aumentarmos os rigores históricos, epistemológicos e lógicos dessa proposta de redação alternativa apresentada, a qual é meramente uma ilustração. Mas é enquanto ilustração que gostaríamos de destacar o parágrafo anterior, salientando que algumas atitudes não são excessivamente preciosistas quando vêm da parte de um professor.

Se há muitas opções de explicação para um dado fenômeno, é saudável que o educador apresente ao menos duas para seus educandos, não porque isso encerraria todas as possibilidades, mas para não ocultar do estudante o caráter dinâmico e incerto da aventura científica. Afinal, não nos interessa apenas ensinar Física, mas *sobre* Física e *sobre* o fazer do físico.

Ainda que uma das explicações seja apresentada muito brevemente para nosso estudante e logo em seguida nos atenhamos exclusivamente à outra, é fundamental não sonegar a informação de que a ciência está aberta a questionamentos, sob o risco de, não fazendo isso, estarmos doutrinando nosso estudante a crer numa ciência dogmática, infalível e, portanto, nada científica. Digamos, por exemplo, que estamos ministrando um curso de Relatividade restrita: provavelmente usaremos o caso dos mésons como exemplo de evidência da dilatação do tempo, e certamente vamos explorar a dilatação do tempo em algumas aulas (e quase certamente não daremos a mesma atenção à hipótese de uma meia-vida intrinsecamente alterada), mas isso não nos exime de mencionar a existência de hipóteses alternativas.

Para ser mais claro, não precisamos (nem podemos) ser contundentes apresentando apenas uma visão teórica dos fenômenos. Um bom educador, penso eu, não perde nada (ao contrário, apenas ganha!) se, num curso de Relatividade, analisar criticamente o exemplo dos mésons e então destacar para os estudantes algo como: "Vejam, existem outras formas de interpretar essas medidas e nem todos os físicos estão de acordo com a Relatividade, sendo que existem partidários de outras teorias e isso é muito importante existir na ciência, não havendo nada de ruim nessa postura, muito pelo contrário! Mas, como este é um curso de Relatividade, vamos continuar, a partir daqui, olhando pelo viés dessa teoria, para a estudarmos e conhecermos com um pouco de detalhes, já que esse é nosso objetivo; afinal, mesmo para vocês eventual e futuramente tornarem-se críticos da Relatividade, é importante que antes a conheçam bem. Vamos seguir dentro dessa perspectiva teórica e, a partir de agora, neste curso, vamos admitir, por hipótese, a veracidade dessa teoria…".

Algo assim, se trabalhado com detalhes, pode tomar generosos minutos de uma aula. Claro que pode ser uma observação breve, mas é didaticamente ineficaz que uma informação de tal importância seja somente mencionada de relance, num tempo tão curto que um estudante distraído ou outro que tenha tirado uns minutos para ir ao banheiro acabem perdendo essa discussão, ou que seja tão breve a menção que pouco impacto exerça nas mentes dos estudantes e acabe não sendo marcante em suas formações.

De fato, é uma informação relativamente simples, mas precisa ser digerida e contemplada, de preferência em mais de uma aula, mesmo que tomando poucos minutos em cada uma delas; porque é melhor amadurecer essa ideia trazendo-a várias vezes em pequenas doses, diluindo-a sobre todo um semestre, por exemplo, que fazendo-a aparecer uma única vez ao longo desse tempo. Esse é, aliás, o principal motivo que vejo para esse tipo de discussão epistemológica não ficar legado apenas a disciplinas isoladas (as quais devem existir) de um curso de licenciatura ou bacharelado em Ciências naturais ou afins. Já que constituem uma verdadeira postura ideológica sobre o ser cientista, o fazer ciência e o ensinar ciência, devem pelo menos acenar em cada assunto "conteudista" que nossos estudantes venham a conhecer.

Mas sei que a questão do tempo sempre aparece quando falamos sobre isso em cursos de formação de professores, então preciso mencionar que, mesmo contabilizando o tempo de todas as vezes em que o viés epistemológico (existirem teorias alternativas, diferentes formas de serem interpretados os experimentos etc.) será discutido com os estudantes em uma disciplina semestral de Relatividade (para continuar no nosso exemplo), não creio que isso configure um desperdício de tempo ou de conteúdo, mesmo porque o objetivo de qualquer disciplina curricular é muito mais que apreensão de conteúdo "à seco".

Aliás, eu até ousaria dizer que, por ser prejudicial formar, no futuro cientista ou professor, uma ideia de ciência como dogmática e inquestionável, e pelo fato de que conteúdo cada vez mais facilmente se pode encontrar disponível para quem é um verdadeiro autodidata, então é mais desperdício de tempo "passar todo o conteúdo" de uma disciplina de Física sem trabalhar as nuances epistemológicas e históricas do tema que "perder tempo do conteúdo" para desenvolver essas discussões.

Se, ainda assim, um colega sentir-se pressionado pelos conteúdos impostos em ementas e programas de curso, eu sugiro que olhe com detalhes as introduções desses documentos. Com enorme frequência, elas discursam sobre a dimensão epistemológica (ainda que com outros nomes) da formação do nosso futuro egresso. Também a legislação, a Constituição, os Parâmetros Curriculares Nacionais e tantos outros documentos norteadores da formação acadêmica dão especial atenção à formação epistemológica dos educandos.

Ora, se é assim, não estamos de fato tão presos às orientações curriculares enquanto listagem de conteúdos conservadores e inflexíveis: temos, nesses mesmos instrumentos legais, os argumentos para justificar toda a humanização do nosso trabalho, a contextualização histórica, a crítica filosófica e a contestação racional dos temas que tratamos em salas de aula. Mesmo esses instrumentos legais não trazem uma listagem de todos os tipos e subtipos de exercícios, problemas e questões vestibularescas que pecisamos trabalhar em sala de aula, de modo que muito da "ditadura" do currículo é um mito perpetuado entre gerações de professores em vez de ser, de fato, algo a que os docentes estão presos.

E, no que ainda se mantém conservador e ultrapassado nos currículos e documentos educacionais, não vejamos, enquanto educadores, uma prisão, mas um convite à nossa participação política ativa. Nosso trabalho não está só em salas ministrando aulas e em casa corrigindo provas, mas também em comissões de organização curricular, em reuniões de planejamento, em núcleos estruturantes e colegiados de cursos. Em muitos lugares é preciso fazer valer a gestão democrática da Educação, e cumpre a nós, educadores, estarmos à frente de muitas deliberações. Em palavras mais sucintas: se existem ainda alguns currículos e documentos obsoletos, nós podemos participar das comissões que revisam e alteram esses documentos; afinal, toda regra pode ser reformulada.

III.11.d. Generalizões e estética: falácia, prática científica, razão, natureza e alma humanas (uma breve digressão sobre temas não tão desconexos)

Ciências, como a Física, valorizam bastante as regras ou leis gerais, porque elas permitem um número ilimitado de aplicações em casos particulares. Por exemplo, se pudermos confiar na lei da conservação da energia, sabemos que, em cada caso particular de sistema isolado, a energia estará conservada, o que nos permite até mesmo predizer e controlar alguns fenômenos. Outros exemplos de aplicações particulares de regras mais gerais, agora fora das ciências naturais, poderiam ser as seguintes inferências:

- *Todos os seres humanos têm o direito à liberdade de crença.*

- *Logo, Fulano de Tal, em particular, tem direito à liberdade de crença.*

E:

- *Todos os elementos do conjunto {a, e, i, o, u} são vogais.*
- *Logo, "a" é uma vogal.*

Note que, quando vamos do caso geral para o particular, a validade da implicação não garante o caminho inverso. Ou seja, é uma falácia pensarmos o seguinte, por exemplo:

- *A letra "a" é vogal.*
- *Logo, as letras "a", "e", "i", "o" e "u" são vogais*.

A conclusão até é verdadeira, mas a inferência não é válida, mesmo porque essa mesma linha de raciocínio permitiria chegarmos a conclusões falsas, como no exemplo:

- *A letra "a" é vogal.*
- *Logo, todas as letras são vogais*.

Estamos diante de uma falácia muito semelhante (quase que um subtipo) à da afirmação do consequente: a falácia de "ir do particular para o geral" (mais conhecida como "generalização"), que consiste em pegarmos um ou mais exemplos e inferirmos que alguma propriedade desse exemplo vale para todos os elementos da classe a que ele pertence.

Em relações humanas cotidianas, frequentemente a falácia da generalização é fonte de preconceitos. É algo como:

- *Passei uns dias nos EUA e todas as pessoas com quem conversei achavam que a língua oficial do Brasil é o Espanhol.*
- *Daí concluí que estadunidenses não sabem nada sobre o Brasil.*

Ora, no exemplo fica claro que houve uma generalização falaciosa. No máximo, por amostragem, poderia se concluir que muitos estadunidenses pensam que a língua oficial do Brasil é o Espanhol, mas não que todos pensam isso e, menos ainda, que ninguém nos EUA sabe nada sobre o Brasil.

Em análises amostrais e estatísticas, é comum concluirmos a partir de certas induções, mas há um importante cuidado que se toma para evitar incorrer em falácia: perceber que há alguma incerteza na conclusão. É o que vemos, por exemplo, quando a mídia veicula pesquisas de intenção de votos: normalmente há o cuidado de informar a margem de erro e usar expressões que atenuam a generalização, tornando-a "provável" em lugar de "certa".

De todo modo, o fato é que generalizações nem sempre são inimigas da racionalidade (exceto, talvez, quando são apresentadas como absolutamente certas). De fato, indução, extrapolação, interpolação e outras formas de generalizações são comuns na prática científica, mesmo na prática teórica. Com efeito, muitos modelos teóricos são apresentados como "generalizações" de modelos ou teorias anteriores. Assim, por exemplo, que a equação de Schrödinger é um caso particular da equação de Dirac, mas esta última é historicamente posterior àquela.

O interessante, em casos de generalizações teóricas, é que elas costumam ser deduzidas com base na teoria restrita, enquanto que vimos, há pouco, que não é rigoroso, do ponto de vista das regras de inferência clássicas, ir do específico para o geral. No entanto, toda generalização de um modelo teórico pode conter uma hipótese geral sobre como a natureza funciona e sobre como há certa harmonia entre equações que descrevem os fenômenos. De fato, tais harmonias são expressas como um certo valor estético que relaciona as coisas.

Assim que um teórico da Física, por exemplo, tem meios de conjecturar, por argumentos em boa dose estéticos (que são baseados na simplicidade ou no reduzido número dos princípios de uma teoria, nas simetrias que ela traduz ou nas semelhanças com outras teorias etc.), como uma equação bem conhecida de um modelo específico tomaria forma em uma situação mais geral. E, o mais impressionante: esses "argumentos estéticos" muito frequentemente nos levam a teorias que obtêm grande sucesso empírico. Isso expressa, ao fim e ao cabo, algo que não teríamos muitas formas alternativas de verbalizar senão dizendo que "A Natureza é bela".

Esse tipo de contemplação da beleza natural (e há muita beleza em equações, por exemplo!) não é proibido a um racionalista. Pelo contrário! A razão presta-se sempre a algum objetivo maior, e talvez nada seja melhor que pensar no empenho da Ciência e de toda a racionalidade em busca de um fim último nobilíssimo: a felicidade humana. Não somente a praticidade da vida ou a sobreviência, que muito podem dever à tecnologia e à Ciência, mas a felicidade mesmo.

Se hoje não vemos utilidade prática alguma em pesquisar a origem do Universo, nem por isso prestigiar as pesquisas dessa área deixa de ser proveitoso à felicidade humana, por exemplo, por elevar o espírito ao ponto de olhar, na escala de todo o Universo, para a pequenez de nossos corpos e gritar mais alto que a explosão do *Big Bang* que nós somos grandes! Maiores que o universo, porque pensamos o universo enquanto ele (possivelmente) não nos pensa.

Esse parêntese poético pode parecer desproposital neste ponto da discussão, mas não creio que o seja, visto que é justamente a felicidade que o ser humano encontra ao deparar-se com o belo que lhe eleva a felicidade e, como eu sugiro, esta é um perfeito objetivo final para todo e cada um dos empreendimentos da Humanidade, inclusive a Ciência, a Lógica e, em escala muito menor, esta Tese.

Nada na Felicidade é irracional, porque dá um propósito e um sentido à própria Razão, já que esta é incapaz de dar sentido ao que quer que seja, sobretudo a si própria. É patente, penso, que uma pessoa, ao tornar-se mais racional, a ampliar sua cultura e ao conhecer, digamos, as descobertas das Ciências, não está com isso tornando-se fria ou insensível. Pelo contrário: os sentimentos em nada afastam a razão e nem o oposto.

Enquanto aqui defendo a utilidade do raciocínio analítico e sistemático, espero que esteja muito claro ao leitor que não espero reduzir o que de mais precioso há em nós: nossa própria humanidade… nossos sentimentos. Ao contrário: a razão presta-se como um tributo incensado sobre o altar da nossa humanidade, daquilo o que nos faz tão especiais no universo e até superiores às grandiosas estrelas e aglomerados de galáxias.

E nem se suponha que a finitude do corpo exclua a infinitude da alma humana, porque tão magnífica é que sempre esteve clara aos olhos dos poetas e filósofos desde a Antiguidade. Não por menos vemos literaturas milenares mencionando o infinito presente no interior do homem e da mulher e a nossa condição semi-divina, como se vê, por exemplo, nas Escrituras judaico-cristãs: "...Vós sois deuses..." (em Salmo 82, v. 6) e "Tudo Deus fez formoso a seu tempo e colocou no interior do homem a Eternidade..." (de Eclesiastes, cap. 3, v. 11).

IV. Ensaios aplicados

IV.1. Introdução em tom pessoal

Neste capítulo farei algumas discussões, digamos, aplicando a linha até aqui defendida. Tomarei com maior frequência as liberdades de seguir opinando e escrevendo em primeira pessoa e de incorporar experiências de sala de aula.

Espero que o leitor esteja totalmente à vontade para discordar do que eu venha a dizer aqui. Aliás, é importante que se tenha o senso crítico sempre ligado e funcionando bem. Com efeito, mesmo eu me darei o direito de discordar de mim, isto é, de mudar de opinião sempre. Portanto, o que hoje eu escrevo aqui poderá ser uma posição que reverei no futuro. Somos vivos, dinâmicos, mutáveis.

IV.2. Senso crítico e debate

Vamos trabalhar com uma ideia intuitiva de senso crítico, como sendo a atitude aberta a sempre questionar informações dadas e ter disposição sincera para mudar de opinião.

Nota-se, em primeiro lugar, que essa criticidade não é atitude unicamente racional, mas precisa incluir uma disposição emocional. De fato, a “honestidade intelectual”, que se espera de um racionalista que mereça tal denominação, e que deveríamos esperar de todo estudante egresso de nossas escolas, não é apenas uma atitude lógico-racional, mas primeiramente moral, como toda honestidade.

Ora, se uma pessoa já se dispõe a um debate de ideias sem sequer cogitar a possibilidade de que esteja defendendo uma opinião que precisa ser corrigida, tal pessoa, imersa em dogmatismo, de quase nada aproveitará ouvir os argumentos de seu oponente.

Além disso, em um debate, frequentemente confundimos a discussão de ideias com discussão de pessoas, de maneira que é um exercício de difícil disciplina manter em mente que não sou eu quem é questionado, e sim a ideia que busco defender. Portanto, não sou eu quem corre o risco de perder em um debate, e sim a posição que eu nele defendi.

Na verdade, poderíamos dizer que ambos os debatedores sairão ganhando em um debate idealmente racional, uma vez que mesmo aquele que defendia ideias falaciosas poderá aprender (por exemplo, ao mudar de ideia). E, com muita frequência, nenhuma das partes estará totalmente errada nem totalmente certa (seja lá o que isso signifique), de maneiras que um debate não deixa de ser um processo dialético.

Como exercício racional no ensino de Física, por exemplo, um docente que pretenda aplicar alguns dos conhecimentos de elementos lógicos que aqui apontamos na Educação (tanto da Básica quanto da Superior) pode encontrar uma metodologia bastante interessante em debates, que poderá convidar seus estudantes a travarem em sala de aula.

Digamos que se apresenta a discussão sobre a teoria atômica. Um educador tem pelo menos 3 opções de abordagem,:

1.ª) Apresenta a tese de que átomos existem e que podemos entendê-los segundo um certo modelo (seja o de Rutherford-Bohr, por exemplo) - essa provavelmente seria uma abordagem tradicional e, felizmente, incomum na maioria dos livros didáticos que tenho visto;

2.ª) Expõe um histórico linear (cumulativo) dos modelos atômicos, apresentando algo da controvérsia atomística que se levantou no passado (se existiriam ou não os átomos) e culminando nos modelos mais recentes (mas sem deixar de usar outras representações mais simples, como a que os manuais didáticos chamam de “átomo de Dalton”, que pictograficamente identifica o átomo com pontos ou “bolinhas”, e que é suficiente e útil em muitas situações), colocando alguma representação do átomo quântico como a mais correta: com orbitais que não mais designam posições ou trajetórias dos elétrons, mas nuvens de probabilidade, isto é: não se diz mais “o elétron está aqui” e se aponta para uma posição ou para o trajeto que ele descreveria em torno do núcleo, mas sim se diz “essas são as regiões em que o elétron tem certa probabilidade de ser detectado" - essa é uma abordagem que me parece comum em livros didáticos e com a qual eu mesmo, quando estudava no Ensino Médio, fui apresentado à física atômica, embora, infelizmente, jamais tenha assistido a uma aula de Física sobre esse assunto na escola básica (o que vi foi apresentado em aulas de Química, que foram tão maravilhosamente marcantes que mesmo hoje as guardo com carinho na memória);

3.ª) O conteúdo é quase o mesmo da 2.ª, mas o docente propõe que os estudantes encenem um debate - digamos - sobre a existência dos átomos: um grupo defenderá que existem e o outro defenderá que não, e exercitarão as habilidades de argumentação, contestação, questionamentos, fundamentação etc. (Eu mesmo já tive essa experiência algumas vezes com meus estudantes, assim como colegas já o fizeram e quase invariavelmente os relatos que temos foram de que os estudantes acabaram concluindo em favor da teoria que não é a aceita atualmente, por conta de algumas regras que são previamente estabelecidas, por exemplo, argumentar sobre a Terra girar ou não usando apenas fatos cujo conhecimento estava disponível no século XVII). E se o debate tiver um formato com tempo cronometrado, mediador etc. parecido, por exemplo, com os debates entre candidatos que vemos na TV em épocas de eleição, com tempo para pergunta, para resposta, para réplica e para tréplica, isso pode servir para trabalhar com os estudantes algumas habilidades de convívio social, como a paciência (para ouvir o colega sem interrompê-lo), o respeito (ao tempo da fala do outro), o próprio ouvir (digamos que, se um estudante faz uma pergunta e o outro desvia de respondê-la, o professor poderia mostrar que isso aconteceu e pedir que o estudante que devia responder retome a palavra e de fato responda à pergunta; ou que, por exemplo, se um estudante contra-argumenta e o outro ignora esse contra-argumento, o educador pode apontar isso) e habilidades como a de se expressar claramente para que o outro possa compreender.

De fato, num caso como o da 3.ª abordagem, o professor não precisa se preocupar com os "erros" que os estudantes possam cometer. Ao contrário, é preciso ver no "erro" um passo importante do processo de aprender. Se um estudante se expressa mal e depois percebe isso, provavelmente terá aprendido algo importante.

Esse tipo de percepção fica muito facilitada quando podemos refletir nossa fala na fala do outro - isto é, quando podemos ver quais foram as consequências de nosso discurso ao provocar um discurso (como resposta ao nosso) no colega. É nessa hora que podemos verificar se falamos de forma clara ou confusa, se podemos melhorar algo, se nosso argumento foi convincente etc.

O mais importante não é os estudantes chegarem à conclusão que a Ciência diz ser a “correta” (no caso, concluir que átomos existem), mas o foco é o desenvolvimento das faculdades de raciocínio e verbalização, além de toda uma série de capacidades que não deixam de ser morais (como o respeito e a paciência durante a fala do outro).

O leitor talvez esteja agora confuso, se perguntando “Mas esse texto todo não pretendia defender a Lógica e a racionalidade como instrumentos no Ensino? Então como ele pode defender que o educador trabalhe a habilidade de debater, em seus estudantes, sem se preocupar com a conclusão do debate?”.

Eu responderia o seguinte: nós costumamos ver a Lógica clássica e a Racionalidade como instrumentos totalmente voltados à busca pela verdade. Em parte devemos estar certos quando pensamos nisso, mas também em parte estamos estereotipando a Lógica e a Racionalidade. Como foi apresentado anteriormente, a Lógica é uma coisa e as Teorias da Verdade (outro ramo da Filosofia) são outra coisa. A Lógica não depende de uma particular teoria da verdade. Isso deve significar que podemos ser racionalistas e defensores do uso de *L* e, ao mesmo tempo, sermos, por exemplo, antirrealistas (defensores de que não cabe falar em uma “verdade absoluta”).

E, de fato, nem precisamos aderir a algum antirrealismo para deixar de lado a preocupação se nosso estudante vai chegar à conclusão de que o átomo existe ou não. Podemos estar convictos de que o átomo existe e, em um primeiro momento, não darmos muita importância para que nosso estudante chegue a essa conclusão. Basta ter em mente que o objetivo da Educação é antes o de desenvolver algumas competências em nosso estudante e, para isso, o conteúdo é meio e não fim em si mesmo. E se pensarmos que isso vai contra a Lógica clássica, então precisaremos rever esse preconceito contra L, que é perfeitamente aliável a uma Pedagogia construtivista ou progressista. Com efeito, nada implica que *L* leve inexoravelmente à defesa de uma pedagogia conteudista.

Voltando ao exemplo do átomo, eu mesmo tive essa experiência no primeiro ano em que lecionei, logo após terminar minha Licenciatura. Em aulas para o Ensino Médio, fizemos um debate sobre a existência ou não do átomo. Meus estudantes quase terminaram o debate convencidos de que átomos não existiam e, para dizer a verdade, fiquei mais feliz com esse resultado do que teria ficado com o outro. Isso porque foi nítido, em suas expressões e vozes, que isso os desconcertou, que isso os deixou espantados e com semblantes bastante interrogativos. Dali em diante, eu expus a eles mais evidências da existência dos átomos, mas creio que oferecer-lhes esse queijo (em prol da resposta) foi muito mais frutífero depois de tê-los deixado com a fome (a pergunta inculcada), para fazer referência a dois muito saborosos textos (com o perdão do trocadilho referente ao queijo) do nosso saudosíssimo Rubem ALVES (2004):

> Receita pra se comer queijo…
>
> A Adélia Prado me ensina pedagogia. Diz ela: “Não quero faca nem queijo; quero é fome”. O comer não começa com o queijo. O comer começa na fome de comer queijo. Se não tenho fome é inútil ter queijo. Mas se tenho fome de queijo e não tenho queijo, eu dou um jeito de arranjar um queijo…
>
> (*Op. cit.*, p. 19)

> Imagine agora que eu, mudando-me para um apartamento no Rio de Janeiro, tivesse a idéia de ensinar ao menino meu vizinho a arte de fabricar maquinetas de roubar pitangas. Ele me olharia com desinteresse e pensaria que eu estava louco. No prédio não havia pitangas para serem roubadas. A cabeça não pensa aquilo que o coração não pede. Anote isso: conhecimentos não nascidos do desejo são como uma maravilhosa cozinha na casa de um homem que sofre de anorexia. Homem sem fome: o fogão nunca será aceso; o banquete nunca será servido. Dizia Miguel de Unamuno: “Saber por saber: isso é inumano...”. A tarefa do professor é a mesma da cozinheira: antes de dar faca e queijo ao estudante, provocar a fome… Se ele tiver fome, mesmo que não haja queijo ele acabará por fazer uma maquineta de roubar queijos. Toda tese acadêmica deveria ser isso: uma maquineta de roubar o objeto que se deseja…
>
> (*Op. cit.*, p. 23)

Se nosso educando participa de um debate, é bem possível que essa experiência mantenha-se vívida em sua memória por muitos anos. Mais do que memorizar o fato de que o núcleo contém prótons positivos e nêutrons sem carga elétrica, rodeados por uma eletrosfera negativa, nosso estudante conseguir ordenar ideias, organizar uma linha de raciocínio, defender e confrontar pontos de vista, e tudo o mais que está envolvido na interação inclusive social que representa um debate, muito provavelmente poderá ser usado em momentos de sua vida: desde a tomada de decisões particulares à participação na vida política.

Evidente que isso não se conquista com uma aula dada na forma de debate, mas esse exemplo pretende apenas ilustrar uma abordagem que pode se fazer presente em muitas aulas de diferentes maneiras. Basta, para iniciar, que o docente questione se o conteúdo precisa ser um fim em si mesmo ou constitui antes um meio para algo mais a ser atingido: algo como a formação moral, epistêmica, social e humana do sujeito que tão reducionistamente chamamos de "estudante".

IV.3. Educação racional como instrumento de combate a preconceitos

Tendo em vista o que seria um debate saudável, cabe diagnosticar uma das patologias que entendo colocar em sério risco essa saúde racional. Trata-se do uso seletivo do senso crítico, ou, dito em linguagem mais popular, o velho atributo de "dois pesos e duas medidas", infelizmente presente, como vírus latente, talvez em todos os organismos pensantes.

Parece-me que esse sintoma nos aflige tão frequentemente quanto uma tosse: nem sempre é devida a um problema pulmonar ou a um resfriado, mas podemos ter um acesso por diferentes motivos, como engasgar, fumaça etc.

De modo mais concreto, tomemos os exemplos dos inúmeros preconceitos que por vezes combatemos sem nos apercebermos que, de fato, nós mesmos os possuímos em algum grau. Também é de se ter atenção para o fato de que é infelizmente comum ver uma pessoa promover um preconceito para combater outro.

Podemos pensar em *L* como reveladora de alguns preconceitos. E, se entendermos que o combate a todas as formas de discriminação é um dos objetivos de Educar, fica patente que, se *L* nos pode ajudar nisso, não convém ignorá-la. Vejamos, como exemplo, a seguinte fábula, que se passa em um mundo hipotético no qual existem marcianos e então uma pessoa afirma

Os marcianos são preconceituosos.

Ora, essa frase pode ser interpretada como uma generalização e, se for assim, ela mesma é uma manifestação de preconceito. Ainda que a intenção da pessoa que emitiu tal sentença seja a de combater os preconceitos que os marcianos eventualmente teriam contra outros povos, ela não deixa de cometer o mesmo erro que condena: ser preconceituosa. E talvez, ao contrário, o fato de ela ter a intenção de combater um preconceito não alivia sua culpa ao afirmar tão categoricamente algo assim, mas sim torna essa atitude ainda mais inaceitável, por ser também contraditória sua atitude e, portanto, falaciosa.

Tais falácias podem ser facilmente descobertas se tivermos um uso de teorias bastante simples de Lógica. Muitas vezes uma análise quase que apenas sintática (isto é, restrita à forma mais que ao conteúdo) das frases possibilita identificar um discurso como preconceituoso, como mostra o exemplo estrutural a seguir:

1. Acusar um grupo de ato criminoso sem provas é preconceituoso.
2. Dizer “Houve um crime, provavelmente foi alguém do grupo X que o cometeu” pode até ser estatisticamente defensável, mas é moralmente perigoso e, por incitar ódio ou preconceito, é inaceitável.

Na verdade, mesmo que tivéssemos uma estatística plena pela qual 100% dos crimes da história foram cometidos por membros de um grupo X, teríamos duas coisas a observar:

1.ª) O fato de todos os crimes até hoje terem sido cometidos por membros do grupo X não garante que o próximo crime será cometido por membro do mesmo grupo (Desconsiderar isso é cair na falácia de tomar o raciocínio indutivo como infalível);

2.ª) Mesmo que se pudesse dizer que [Houve um crime] implica [Foi um membro de X que o cometeu], a implicação em um sentido não permite concluir a implicação no sentido oposto (Desconsiderar isso é cair na falácia da afirmação do consequente, que erroneamente parte de $A \rightarrow B$ para concluir $B \rightarrow A$).

A única exceção que nos permitiria fazer generalizações de autorias criminais sem cair em falácias é aquela em que diremos “Todos os crimes são cometidos por criminosos” ou “Todos os criminosos cometeram crimes”. Essas duas afirmações são tautologias, verdadeiras por definição (onde definiu-se que um criminoso é alguém que cometeu um crime). Justamente por serem verdades necessárias (não podem ser falsas em hipótese alguma), essas sentenças são desprovidas de qualquer utilidade. E, com efeito, são inaplicáveis na prática, uma vez que nunca podemos ter certeza se determinada pessoa cometeu ou não um crime, já que toda “prova” criminal é, na verdade, mera evidência (“prova” no sentido criminalístico não é sinônimo de “prova” no sentido lógico/matemático do termo).

O leitor pode se perguntar: mas um investigador não pode usar estatísticas sobre o perfil dos criminosos para tentar encontrar o autor de um crime? Ora, é certo que sim, mas há de se distinguir até que ponto podemos usar estatísticas sem induzir preconceitos.

Para entender essa tênue divisão é útil ter em mente um dos fenômenos psicológicos ou neurológicos (que suponho ser infelizmente muito utilizado no mundo do *marketing*), conhecido como “amnésia da fonte” (cf. WANG & AAMODT, 2008):

> O cérebro não grava a informação como um computador. Os fatos são gravados no hipocampo (...) Com o tempo os fatos são paulatinamente transferidos para o córtex e com isso eles são separados do processo por meio do qual eles foram aprendidos.

> Esse fenômeno é conhecido como “amnésia da fonte”, e pode fazer as pessoas esquecerem se uma informação é verdadeira ou falsa. Mesmo quando uma mentira é apresentada com o seu contraditório, é comum que as pessoas lembrem dela como sendo verdade.
>
> (...)
>
> À medida que a fonte é esquecida, a informação e suas implicações vão ganhando força.
>
> (...)
>
> Tendemos a lembrar e a crer naquilo que está de acordo com nossa visão de mundo e a rejeitar aquilo que entra em contradição com ela.

(*Op. cit.*, tradução livre)

Assim, por exemplo, se uma manchete noticiar “’O político Fulano de Tal é corrupto’, afirma Beltrano”, a imprensa não é, a rigor, culpada de ter divulgado uma mentira, uma vez que ela não afirmou categoricamente que o referido político é corrupto, mas simplesmente que determinada pessoa o disse (e o que a testemunha disse pode ou não ser verdade). No entanto, é fato conhecido que a maior parcela da população que ler ou ouvir essa manchete, terá “impresso” em sua mente, com muito mais força, a semi-informação “Fulano é corrupto” que a informação completa “Beltrano disse que Fulano é corrupto”.

Dessa forma, embora a frase veiculada pela mídia, em nosso exemplo, não seja rigorosamente errada (caso o Beltrano realmente tenha dito aquilo a respeito do Fulano), o efeito que ela causa pode justificar o provérbio segundo o qual “É possível dizer uma mentira falando apenas verdades”.

O leitor pode estar pensando que esse exemplo, da frase veiculada na imprensa, serve para derrubar a tese central que pretendo defender, segundo a qual a racionalidade é libertadora, uma vez que tal exemplo claramente aponta um caso em que uma frase é verdadeira mas causa o efeito de difundir uma opinião falsa.

O fato é justamente o oposto, a meu ver: o fenômeno da amnésia da fonte, embora possa ter uma base psicológica difícil de driblar, pode ser combatido justamente com uma educação que permita a consolidação do senso crítico em nossos estudantes.

É esse, talvez, o motivo central pelo qual este ensaio não está sendo produzido em um programa de doutorado em Filosofia, e sim em um programa de pesquisa em Ensino. O que pretendemos mostrar é principalmente o papel **educacional** da racionalidade, e não apenas sua capacidade na busca da verdade dentro dos muros das Universidades.

Pensando nesse fenômeno da amnésia da fonte, em contato com o exemplo do estudo de modelos atômicos, temos agora mais um argumento para enfatizar o debate de argumentos: a tendência mais natural talvez seja de nosso estudante lembrar do modelo em si, mas ter pouca ou nenhuma lembrança das evidências em favor desses modelos. Ora, em busca de formar o pensamento crítico e científico no nosso estudante, é importante que ele tenha claros os seguintes pontos, além dos detalhes da descrição do átomo:

- Que os modelos são conhecidos de modo indireto;
- As formas de se dar a conhecer o átomo (por exemplo, colidindo-o com alvos e analisando o produto das colisões, daí processando uma reconstituição de como o átomo teria de ser para que, ao ser colidido, libere as partículas que observamos também indiretamente; ou por meio das linhas de emissão ou de absorção de luz que os átomos podem apresentar quando excitados e de como devem ser os orbitais para que os átomos apresentem as raias que observamos);
- Que os sinais das cargas dos prótons e dos nêutrons não são verdades dadas pela natureza, mas constituem simples convenção humana, de maneira que bem poderíamos construir a mesma Física se tivéssemos definido os elétrons como positivos e os prótons como negativos, e da mesma forma os sinais das cargas são meras representações matemáticas que simplificam escrever equações que tanto descrevem a atração quanto a repulsão;
- Que a ciência constitui um diálogo inteligente com o mundo, como defendia Bachelard, de maneira que ela envolve tanto o que vem do mundo (o que ele nos fala) quanto aquilo que falamos dele (o que nós

convencionamos na linguagem que usamos, a qual, em última análise, é arbitrária).

Se esses pontos receberem a mesma atenção que os modelos atômicos em si, numa aula de Física, talvez estejamos dando um passo no sentido de educar contra a amnésia da fonte, se pensarmos que esses processos de construção do conhecimento, pelos quais viemos a entender o átomo como hoje o entendemos, não são meios para se chegar ao conteúdo (o modelo atômico) como um fim, e sim fins em si mesmos (na medida em que o pensar cientificamente é não uma forma de fazer o estudante chegar a um conhecimento o qual ele deve armazenar, mas que essa forma de pensar é, em si mesma, algo que deve ser cultivado no estudante e encarado como uma das finalidades da Educação).

O que estou querendo dizer, sendo mais explícito, é que é mais importante meu estudante saber que o conhecimento dos átomos possui uma parcela apreciável de convenções arbitrárias, e é, no fim e ao cabo, bastante indireto, que saber desenhar o modelo atômico em si ou saber balancear equações químicas. É mais relevante, para sua formação, ele desenvolver os processos de interpretação do mundo (de modo um tanto análogo ao que tenta fazer o cientista quando examina a natureza) que memorizar uma particular teoria de como o mundo funciona. Em última instância, é mais importante ele estar preparado para construir e reconstruir sua visão de mundo que armazenar uma particular cosmovisão que lhe foi apresentada, nalgum momento, pela Escola.

IV.4. Um desafio: duvidar do que é óbvio

Não se podem conceber as transformações sociais, que diferentes grupos hoje pretendem, sem passar por um processo educacional e, portanto, por uma radical melhora em algo que poderíamos chamar de “qualidade” da Educação.

Não é o intuito aqui discutir como definir ou medir essa “qualidade”, mas quero fazer notar que a Educação por si só não é capaz de mudar o mundo, mas precisamos recorrer a ela como necessária (porém não suficiente) para empreender mudanças.

Quase tudo o que contemporaneamente se propõe como um “mundo melhor” passa obrigatoriamente por esse ponto: alguma conscientização, que redunda em uma necessária formação do ser humano. Se queremos soluções para as questões ambientais, certamente precisamos nos preocupar em formar toda uma próxima geração capaz de atinar para as nuances dessas questões. Se queremos empreender a defesa dos direitos humanos, sem dúvida precisamos combater preconceitos, o que inegavelmente passa pelo processo educacional. Até mesmo em sonhos mais ousados, como o de povoar a Lua ou Marte, não podemos imaginar um quadro sem foco educacional.

O desafio proposto aqui, então, reside em desenvolver no alunado a competência do questionamento não-seletivo, ou seja, a abertura a questionar igualmente o que parece errado e o que parece óbvio. Porque é fácil e talvez trivial questionar o que parece errado. Mas o verdadeiro desafio educacional, nesse sentido, e que corresponde a boa parte dos saltos que a humanidade já deu em sua evolução cultural e científica, está em questionar o que parece óbvio.

E a Física está repleta de exemplos de ideias aparentemente óbvias que se mostram falsas, de maneira que pode bem desempenhar o papel de mostrar que o óbvio nem sempre é certo para nossos estudantes. Sem dúvida esses exemplos podem ser explorados em sala de aula e não é por menos que a Física deve manter-se em nossos currículos escolares: a ciência que questionou a própria natureza (aparentemente óbvia) do espaço e do tempo, da matéria e dos movimentos, essa ciência que nos permite lançar o ser humano além das barreiras gravitacionais do mundo terráqueo não é pobre em exemplos de quão grandiosos são os tesouros que podemos encontrar ao abrir os baús da aparente obviedade. Ou, para usar um termo do sociólogo da ciência Bruno Latour, o que podemos encontrar ao abrir caixas pretas.

Mesmo com equipamentos simples e cotidianos estamos bem servidos de exemplos de experimentos que podemos usar em sala de aula para quebrar a expectativa do senso comum. Uma pequena montagem com canudo de refrigerante e garrafa PET pode construir um sistema em que a fumaça de um pedaço de papel em chamas cai em lugar de subir, contrariando toda a experiência cotidiana.

Uma das experiências mais marcantes que tive em meu primeiro ano de docência foi com uma estudante que duvidou de mim quando eu disse que o agasalho não aquecia o corpo, mas sim o isolava termicamente do ambiente. No mesmo dia, ao final da aula, ela foi para casa e, antes de ir para o trabalho, levou uma garrafa de refrigerante, recém-tirada da geladeira, e a embrulhou em agasalho. No final da tarde, foi verificar e, mesmo sendo um dia quente, o refrigerante estava deliciosamente gelado!

A forma como ela me narraria esse ocorrido, uns dias depois, foi marcante. No rosto dela, o sorriso de quem acabava de descobrir um novo mundo nunca me saiu da mente. Era algo tão simples, tão corriqueiro, mas tão surpreendente! E com isso ela havia questionado a autoridade do professor (Ótimo!) e, mais ainda, questionado sua própria *doxa* ou opinião sobre o mundo.

Se isso me marcou ao ponto de não esquecer, é bem possível que a ela tenha sido também marcante. Como poderíamos, então, subestimar o poder de ensinar a questionar que reside em uma inocente (?!) aula de Física?

Mais recentemente, com estudantes de Licenciatura em Física e com estudantes de um curso superior de Tecnologia, fiz alguns experimentos envolvendo rodas de bicicleta, presas a eixos por meio dos quais podíamos facilmente segurá-las e mantê-las em rotação, a fim de trabalhar efeitos da conservação do vetor momento angular. As reações deles foram vibrantes diante de fenômenos completamente inesperados para o senso intuitivo. Ao segurar o eixo com uma roda girante, se tentamos mudar a direção do eixo (e do momento angular), sentimos como se a roda "resistisse" a essa mudança. Além disso, ao pendurarmos um eixo por uma corda e colocarmos a roda girando com esse eixo na horizontal, este tende a manter-se no plano horizontal, o que alguns estudantes classificaram como um efeito passível de se explorar em truques de mágica.

Mas o interessante é que em nenhuma dessas aulas foi necessário usar qualquer equipamento muito sofisticado, senão meras coisas cotidianas, como rodas de bicicleta e garrafas. E certamente isso mostra que mesmo no nosso dia-a-dia vivenciamos, talvez sem perceber, situações que, se olhadas de um ponto de vista meticuloso, poderiam apresentar fenômenos bastante inesperados. Com ilustrações desse tipo, podemos familiarizar nosso estudante com o questionamento e a contestação do que parece óbvio.

Mas não é possível que aprendamos a questionar pela metade, a questionar só um hemisfério do mundo. Muitos de nós se supõem questionadores, verdadeiros críticos, mas todos corremos o risco (arrisco a dizer que todos frequentemente cometemos esse erro) de não questionar a outra metade do mundo; ou seja: de não questionar nosso próprio questionamento!

Questionamos dogmas, mas nos esquecemos de que, ao questionar, criamos novos dogmas e estes também precisam ser questionados. Se combatemos preconceitos, precisamos tomar redobrados cuidados para não criarmos novos preconceitos em substituição aos antigos.

Uma lúcida e surpreendente anotação a esse respeito (digo "surpreendente" porque vai na contramão de uma tendência da Academia atual) pode ser vista em CASTRO, 2007.

Logo em suas primeiras páginas (75-76), o autor pondera que o diálogo entre ciência e religião padece de radicalismos de ambos os lados. Após discorrer sobre a dificuldade do lado dos religiosos, ele acusa de igual fundamentalismo os cientistas, "que não podem desprezar um livro tão profundo e de tão vastas consequências para a humanidade como a Bíblia" (*Op. Cit.*, p. 76).

Se, por um lado, vemos fundamentalismos extremos da parte de religiosos serem mostrados na mídia, por outro bem deveríamos questionar se a mídia realmente mostra o ocorrido de forma imparcial (e parece claro que não). Caberia, aqui, que eu mencionasse duas conclusões a que se pode chegar, no tocante ao diálogo entre ciência e religião, após nos familiarizarmos com as obras de Paul Feyerabend:

- Que a Ciência deveria manter-se aberta a tal diálogo e muito teria a aprender com a Religião. Feyerabend chega a exemplificar que não podemos estar seguros de que um cientista não virá a receber importante inspiração para desenvolver uma teoria sobre a origem do Universo ao ler um mito de criação dos Vikings. Eu acrescentaria o exemplo de que, considerando toda a influência que a Bíblia judaico-cristã teve e tem na história da civilização Ocidental, é de se reconhecer o valor histórico ou literário de estudá-la;

- Que se fizermos da nossa Ciência um conjunto de dogmas e afirmações supostas verdadeiras, fazemos da Ciência uma espécie de religião; e uma péssima religião, vale dizer, porque “dogmática”, “inquestionável” e “autoritária” ou algo semelhante a isso. E eu acrescentaria: sem qualquer conforto espiritual para as angústias humanas, como aquela da certeza da morte. Sim, ao menos as religiões que são dogmáticas e autoritárias podem fornecer algum conforto diante de situações difíceis, coisa que me parece deixar a Ciência mal posicionada se a tomássemos por religião e a comparássemos com as “outras”.

Em nosso tempo, vemos pesquisas da área de Ensino que buscam meios de diálogo entre Ciência e Religião. Isso é sem dúvida um tema importante, mas concordamos com CASTRO (*Ibid.*) que não poderá encontrar fertilidade em um terreno de ideias pré-concebidas, pelo que talvez se faça necessário que tanto o religioso criacionista conheça a teoria da Evolução darwiniana antes de a classificar como falsa quanto que, igualmente, o evolucionista tenha estudado as Escrituras religiosas antes de as alocar em alguma classificação (por exemplo, como mitologia superficial, algo que não resiste a uma leitura sobre os arquétipos da psicologia junguiana, por exemplo). Sem tais aberturas a compreender o discurso do Outro, é impossível falar na possibilidade de diálogo.

Eis, por fim, não apenas aquilo o que Paulo Freire reiteradamente ensinava – que aquele que acha que sabe deixa de saber, posto que não mais questiona – mas a grandiosidade do mais famoso aforisma socrático: “Só sei que nada sei” é a primeira postura a ser adotada sinceramente por um debatedor que se pretende intelectualmente honesto. Como Sócrates continuaria essa afirmação: “... E saber disso me coloca em vantagem sobre quem pensa que sabe alguma coisa”. Todo nosso conhecimento, como hoje muitos defendem, é sempre provisório, sempre contestável, sempre passível de reformulação.

IV.5. Educação, equilíbrio e amor

Atribui-se a Paulo Freire ter dito “Quando a Educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser opressor”. Com efeito, essa máxima não podemos perder de vista quando falamos em promover a criticidade como combate a algumas das misérias humanas, dentre elas os infelizmente variados preconceitos.

Temos aqui, em minha interpretação, um motivo para discordar frontalmente da “Teoria da Curvatura da Vara” (cf., p. ex., BEZERRA & ARAÚJO, 2011) aplicada aos preconceitos. Essa teoria, atribuída a Lênin, sugere que, em busca de consertar um exagero, seja promovido o exagero oposto, a fim de equilibrar o quadro, do mesmo modo como, para se endireitar uma vara torcida para um lado, não basta colocá-la no meio, sendo necessário curvá-la para o lado oposto. Entendo-a como problemática por sugerir combater um erro com outro, o que não deixaria de ser uma grave falha moral (Um exemplo de aplicação esdrúxula da curvatura da vara seria “Somos contra a pena de morte; então vamos matar todos que são a favor”).

Digamos que a Educação se proponha a fomentar um discurso de combate aos preconceitos. Temos aí uma conclusão provável: o educador deve lidar com os partidários do discurso preconceituoso. Mas como fazê-lo?

Bem, talvez seja mais fácil meditar em como não fazê-lo: não parece um caminho educacional viável, nem do ponto de vista ideológico nem do ponto de vista puramente prático, ironizar ou ridicularizar as pessoas por trás do discurso preconceituoso.

Do mesmo modo como não se admite que um educador ofenda a capacidade cognitiva de um educando, digamos, numa aula de Física, se o educando tem dificuldade para entender uma equação, não se pode permitir que - quando o assunto é a formação moral do cidadão - seja violentada a dignidade daquele que pretendemos convencer.

Quando Freire nos ensina que o educador é, na verdade, um educador-educando e que o educando é um educando-educador, ele resume sua filosofia educacional na perspectiva que chamamos de dialógica: o conhecimento é construído em uma negociação humana, não é um conteúdo que a mente do professor verte para a mente do estudante. É algo que ambos constróem juntos.

Ora, então por que nos esqueceríamos disso quando o objetivo de nossa ação educativa é a campanha por um mundo mais justo e sem opressões? Em outras palavras, quero dizer que não está de acordo com nossos ideais e nem é eficiente esmagar o partidário de um preconceito quando se espera reeducá-lo.

Do mesmo modo como sabemos que o sistema penitenciário é o pior modo de educar um cidadão que precisa receber a atenção educativa, deveríamos estar dispostos a aceitar que ironizar ou ridicularizar o partidário de um preconceito é talvez a pior forma de tentar convencê-lo a mudar de ideia.

De modo mais concreto, o que pretendo dizer é que devemos sim usar a ferramenta da racionalidade/lógica como mediadora de uma atitude autocrítica que possibilite ao sujeito rever seus (pre)conceitos, mas não podemos nos esquecer de usar outra ferramenta, que chamamos de “irmã” da Lógica, e que nosso saudoso Freire não deixou de enfatizar, ao dizer que a base da Pedagogia é o amor (cf. PRADO & TESCAROLO, 2007).

Com isso buscamos argumentar que não é possível educar sem amar, segundo a perspectiva freireana. Não podemos esperar ensinar sem estarmos abertos a aprender ou se não estivermos abertos a dialogar. Mas não se pode dialogar sem respeitar o interlocutor. E esse respeito, de certa forma, é amor.

IV.6. Exemplos no ensino de Ciências

Pensando a Educação e, mais especificamente, o Ensino de Ciências, especialmente da Física, apresento a análise de alguns elementos de *L* em livros didáticos tomados como amostra aleatória. O intuito dessas análises é levantar como alguns argumentos lógicos são usados em livros didáticos, a fim de apresentar ao leitor (possivelmente um professor de Física) como a estrutura lógica de algumas argumentações é delicada e que algumas falhas nessa estrutura podem dificultar a compreensão dos textos e mesmo ir contra o uso formal do ferramental lógico-matemático. Vamos a alguns poucos exemplos.

IV.6.a. "Não dividirás por zero…"

No livro de Relatividade de Nelson MAIA (2009), na página 12, a primeira equação apresentada é a seguinte:

$$c\, t_1 = \mathrm{L} + u\, t_1 \leftrightarrow t_1 = \mathrm{L} / (c - u)$$

IV.1. Relação entre o tempo t_1 que a luz, à velocidade c, leva para atingir um espelho à distância L em um interferômetro de Michelson-Morley com velocidade u em relação ao éter, conforme aparece em MAIA, 2009, p. 12

Notemos que, em (D.1), há uma equação à esquerda e outra à direita de um símbolo de equivalência "↔" que está indevidamente colocado lá, uma vez que a "volta" vale (poderia ser escrito que a equação da direita implica a da esquerda), mas - a rigor - não vale a "ida" (não é correto dizer que a equação da esquerda implica a da direita). Isso porque não se está trabalhando, ainda, sob um sistema que proíbe u=c, de maneira que, a rigor, a equação da direita não tem qualquer sentido para o caso em que o equipamento se movimenta à velocidade da luz, uma vez que seu denominador seria nulo (o que é terminantemente proibido pela Matemática), enquanto que a da esquerda não encontra a mesma restrição.

Essa análise pode soar muito preciosista aos olhos de um físico, mas talvez não aos de um matemático, que tem o hábito de atentar para essas nuances das notações. Contudo, a preocupação com esses detalhes não existiria entre os matemáticos se não houvesse algum motivo para ela. Com efeito, a Matemática, usada dentro de seu rigor, é capaz de levar um físico a conclusões que ele dificilmente (ou jamais) alcançaria sem tal ajuda. Um pequeno deslize no início de uma longa série de cálculos poderia levar um físico a uma conclusão equivocada e, dependendo da complexidade do problema, ele sequer conseguiria perceber o erro a tempo.

Esquecer que a equação da esquerda não tem uma restrição (devida a uma condição de existência) daquela da direita por conta do denominador que não pode ser nulo é um pequeno equívoco que poderia levar a conclusões absurdas, como se pode ver na seguinte anedota (muito usada por professores de Matemática para convencer seus estudantes de que as “regras” não existem sem motivo):

4. Seja $a = b$;
5. Subtraindo a de ambos os membros temos: $a-a = b-a;$
6. Lembrando que $a-a=0$, teremos $0 = b-a$;
7. Dividindo ambos os membros por $b-a$ teremos $0/(b-a) = (b-a)/(b-a)$;
8. 0 dividido por qualquer número é 0, donde: $0 = (b-a)/(b-a)$;
9. Qualquer número dividido por si mesmo é 1, donde, finalmente, temos:

$$0 = 1$$

IV.2. Conclusão falsa que se obtém ao eliminar a proibição de dividir por zero

Como tratamos em capítulo anterior, em L se demonstra que uma afirmação falsa implica toda e qualquer afirmação. Então, podemos partir da (D.2), que, lembremos, é uma afirmação falsa obtida de outra afirmação falsa (tacitamente utilizada, a de que podemos dividir por zero), e obter qualquer igualdade que quisermos. Por exemplo, podemos obter o fato, verdadeiro, de que $0=0$, bastando multiplicar ambos os membros da (D.2) por 0.

Podemos, por exemplo, provar a afirmação falsa de que *1* é igual a *2*, bastando somar *1* a ambos os membros da IV.2. Em geral, podemos provar que todos os números são iguais! Vejamos: sejam x e y dois números quaisquer. Multiplicando ambos os membros da (D.2) por x, teremos $0=x$. Multiplicando ambos os lados da (D.2) por y, ficamos com $0=y$. Ora, se tanto x quanto y são iguais a zero, então conclui-se que $x=y$, como queríamos demonstrar!

Tal afirmação traria abaixo toda a Matemática e, com ela, toda a Física, porque tornou todos os números indistinguíveis entre si, de maneira que nenhum cálculo teria mais qualquer sentido. E tudo isso deriva da simples ideia, tacitamente aplicada, de que se pode dividir por zero.

Portanto, vemos que uma afirmação falsa, por mais inofensiva que pareça, poderia em poucas linhas de demonstrações derrubar toda a nossa Matemática e, com ela, tudo o que dela depende. Não é, portanto, sem motivo ou por preciosismo exagerado, que um matemático ficaria descontente com a (D.1), uma vez que ela carrega, implicitamente, uma verdadeira “bomba” capaz de ruir o delicado equilíbrio dos fundamentos da matemática, a saber, o fato aparentemente pouco relevante de que se poderia dividir por zero. Dessa forma, tal proibição é necessária para a Matemática.

Eis o primeiro ponto que queríamos destacar: os rigores formais não são meros preciosismos exagerados, mas sim estão carregados de motivos para terem sido assim definidos.

O segundo ponto a destacar fica evidente na dedução da (D.2), onde espero ter mostrado que um descuido quase imperceptível poderia nos levar a uma conclusão falsa. De fato, a conclusão $0=1$ salta aos olhos, mas isso porque escolhemos um exemplo que facilmente fosse notado falso. O que precisamos ter em mente é que em muitas situações poderíamos nos deparar com erros que não seriam tão facilmente identificados e, por conta desses erros, algumas consequências práticas desastrosas poderiam surgir.

IV.6.b. O formalismo pode ser útil e mesmo necessário

Não quero, com a análise apresentada há pouco, instigar uma “neurose” ou “ansiedade” pelo cuidado para não errar, em nossos estudantes. Ao contrário: trata-se de pensarmos, enquanto docentes, na responsabilidade de tratar alguns formalismos (sem exagero, contudo), a fim de prepararmos nossos estudantes para seguir linhas de argumentação seguras.

O que quero dizer é que um professor de Física, por exemplo, pode perfeitamente gastar tempo, em suas aulas, fazendo demonstrações mais meticulosas sem se preocupar que, com isso, esteja desperdiçando preciosos minutos da aula. De fato, às vezes um bom exemplo de rigor matemático bem apresentado a um estudante pode instigá-lo a tomar sempre um certo cuidado que, doutra forma, poderia levá-lo a erros.

Lembro-me de um caso que se passou comigo mesmo, quando estava em meu primeiro ano de graduação. Eu havia visto, pela primeira vez, na disciplina de “Física I”, a descrição das forças conservativas por meio do formalismo de energia potencial, que parte da definição de que a força de um campo conservativo é o oposto (no sinal) do gradiente da energia potencial.

Durante uma tarde inteira, lembro-me de ter feito e refeito a derivada da equação que dava o potencial gravitacional e, em todas as vezes, eu concluia - baseado na ideia de que os corpos tendem a reduzir sua energia potencial - que os corpos deviam cair para cima! Aquilo era um pequeno detalhe teórico, mas estava me importunando a ponto de não mais conseguir pensar sequer em dormir sem antes ter solucionado essa questão.

Então, num lúcido momento, fui rever a definição de força, no volume 1 da obra de Física básica do professor Moysés Nussensveig (lembro-me da cena até hoje!) e percebi que, o tempo todo, estava me esquecendo do sinal de menos na definição. Naquele momento senti um prazer difícil de descrever: afinal, eu estava calculando o sentido contrário ao que ocorria, por conta de um pequeno engano de memória - de fato as coisas caíam para baixo, como eu sempre soube, e a teoria não cometia o erro de afirmar o oposto disso.

O formalismo não é sempre inimigo do estudante, portanto, e não é inesperado que, recentemente, um amigo que cursa Matemática disse-me que conheceu alguns colegas que se transferiram do curso de Física para o seu e que lhe haviam confessado que não conseguiam acompanhar o raciocínio dos físicos por conta de alguns tropeços nos formalismos. Sei que isso soa estranho, mas eu mesmo atestei que um pequeno erro, de minha autoria, me levou a concluir algo errado e que muito me incomodou. Também me lembro da enorme dificuldade que tive, durante uma iniciação científica que fiz na época da graduação, para entender os fundamentos do cálculo tensorial, isso porque não encontrava nenhum livro que descrevia a teoria a partir de uma linha clara onde se percebia “isto é postulado” e “isto é teorema”.

IV.6.c. As experiências das rodas

Por conta desse pensamento, hoje tenho o hábito de chamar sempre a atenção dos meus estudantes, em aulas, se algo que estou dizendo é uma definição e, se for teorema, então que pode ser demonstrado (e, sempre que possível, busco demonstrar com certo rigor os teoremas), além de destacar o que são princípios obtidos pela indução de dados da observação. Para isso, tenho sempre usado (a ponto de ter familiarizado alguns estudantes com ela) a notação do sinal de igual precedido de dois pontos, que significa “igual por definição”.

Se bem que o excesso de zelo pelas definições, que chega ao ponto de dizer “Todos os termos precisam ser definidos”, seja uma falácia (a “falácia das definições”), porque de fato alguns conceitos os temos por referência a algo da experiência, por referência a exemplos ou por intuição, há termos tão novos que não podemos nos furtar de definir formalmente para nossos estudantes, ainda que não se deva ignorar a necessidade de trabalhar o significado intuitivo desses mesmos conceitos, como - por exemplo: momento angular, momento de inércia, torque *etc*.

Uma forma de trabalhar a intuição desses conceitos é aliá-los à intuição de outros que supostamente os estudantes já conhecem com certa familiaridade, como dizer que o momento de inércia tem certa analogia com a massa enquanto o momento angular guarda analogia com o linear. Já o formalismo consiste, por exemplo, em definir o torque como o produto vetorial entre uma posição relativa e a força. Ora, se assim definimos o torque, já não podemos mais dizer que também o definiremos como a derivada temporal do momento angular, porque teremos duas definições para o mesmo conceito. Mas, tomando uma delas como definição, é possível demonstrar a outra como teorema, e assim teremos uma linha clara de raciocínio, com começo, meio e fim: o torque é definido como o produto vetorial entre posição e força e, portanto, dadas as Leis de Newton, demonstra-se que o torque, assim definido, será igual à taxa de variação do momento angular.

A mim parece que, se o educador não se preocupa em colocar uma das concepções como definição e a outra como consequência (corolário ou teorema), a alternativa é apresentar ambas como "princípios", o que - de certo modo - é dogmatizar mais do que o necessário, dependendo de quem são nossos estudantes. Explico: se nosso estudante está se graduando em Física, é interessante evitar os dogmas aceitos *a priori*, reduzindo-os ao mínimo necessário, e buscar desenvolver o restante das informações como consequências dos princípios.

Isso não apenas tem o papel de elucidar "de onde vieram" as equações como ilustra uma forma de fazer ciência teórica: por meio de passos que se iniciam em hipóteses (ou postulados ou axiomas) e seguem até teses (provadas como teoremas). E, naturalmente, isso não significa que devemos nos esquecer do aspecto experimental e nos dedicar unicamente às teorias em aulas, mas - no que toca à dimensão teórica, parece-me importante apresentar ao futuro físico e educador um raciocínio dedutivo coerente, sempre que possível, e não apenas uma equação a ser memorizada e em seguida aplicada. Daí que não se confunda formalismo com "formulismo".

Evidentemente que existirão situações em que não disporemos da opção de demonstrar tudo rigorosamente. E, se o leitor me permite, exponho isso na forma de uma experiência minha em sala de aula: no programa de uma disciplina de física experimental para um curso superior de tecnologia, eu tinha de apresentar a medida de momento de inércia e alguns experimentos de conservação. Optei por, em algumas aulas, explorar a conservação do momento angular com minha turma. Contudo, como a realidade dessa turma era a de que essa seria a única disciplina experimental que teriam, de Física, no curso todo e dado que eles não possuíam conhecimento nem do cálculo diferencial, nem de vetores e nem da Física teórica, o que me restou foi apresentar o momento angular de modo semi-quantitativo (para o caso de uma partícula, o módulo; usando apenas a “regra da mão direita” para a direção e o sentido do vetor), porque não havia como definir, passo a passo, o momento angular e o torque e, então, derivar o primeiro para identificar essa taxa de variação com o segundo.

Mas, com os poucos conceitos (e princípios “dogmáticos”) que pude apresentar a eles, fomos capazes de prever o comportamento de algumas rodas de bicicleta e de um estudante sentado em uma cadeira giratória segurando uma roda girante em diferentes posições e quando afastava ou aproximava as mãos do próprio corpo. Então, observamos nossas previsões expressarem relativamente bem o que se passava quando realizávamos os experimentos. Em lugar de uma demonstração teórica rigorosa, pude apenas oferecer-lhes alguma experiência prática, mas ficou claro que eles desconheciam aqueles fenômenos e reconheciam que eles fugiam do que seria esperado pelo senso comum.

Em outra aula eu tive uma longa discussão sobre o sentido de “demonstrar” na Física e sobre alguns dos problemas que nos impedem de dizer que os experimentos “comprovam” as teorias: problema da indução, problema da subdeterminação do experimento pela teoria, entre outros; de maneira que espero que os experimentos de rotação não os tenham levado a ter certeza absoluta da validade do conhecimento científico, mas que, um tanto pelo lado oposto, os tenha levado a questionar o que se espera que ocorra ou que se suponha “óbvio” pelo senso comum.

Com efeito, há vários motivos pelos quais a literatura em Ensino de Ciências tem sugerido a Lógica como ferramental para a formação da racionalidade crítica em nossos educandos, como no exemplo que segue, de um artigo antigo falando justamente da falácia de supor que a experimentação de fato "comprova" as teorias:

> A versão empirista do método científico não se sustenta, como bem notou Popper por volta de 1930. Entretanto, professores e os próprios cientistas ainda acreditam nela. Urge que se adote a nova concepção: a teoria vem antes dos fatos. Os fatos podem corroborar ou refutar a teoria, mas nunca provarão uma teoria: todo conhecimento é conjectural e está aberto à crítica. É justamente o aprofundamento do exame crítico, expondo uma teoria ao falseamento, que torna possível o progresso e a evolução do conhecimento.
>
> (SILVEIRA, 1989, p. 161)

IV.6.d. A assimetria das implicações

Voltando ao livro do professor MAIA (*Op. cit.*), no último parágrafo da p. 10 encontrei um pequeno exemplo no qual o autor toma o cuidado de não cometer uma das falácias discutidas no cap. III do presente ensaio, onde mencionei que o fato de uma teoria implicar uma previsão experimental e esta verificar-se empiricamente não pode ser usado para concluir pela validade da teoria.

MAIA (*Op. cit.*), tratando de algumas previsões da hipótese do éter luminífero, afirma que "*Muitas experiências foram executadas para comprovar essas previsões (...)"*. Embora eu pessoalmente não simpatize com o uso de termos como "comprovar" e outros em ciências que tenham algum caráter experimental, por entender que comprovações *stricto sensu* existem apenas em ciências formais, como a Matemática, entendo que o uso da palavra "previsões" é muito mais correto que o de "hipóteses" ou "teorias", por conta do fato de que, se T implica E e E se verifica, ainda não estamos autorizados a concluir que T é correta (apenas podemos afirmar diretamente algo a favor da previsão E), uma vez que tal conclusão equivaleria à falácia da "afirmação do consequente".

IV.6.e. Grandezas, unidades e a homogeneidade das equações da Física

Todas as equações da Física devem ser homogêneas, no sentido de que, se um termo de uma soma é um vetor, o outro também deve sê-lo, não se pode somar um termo com dimensões (unidades) de uma grandeza com termos que tenham dimensão de outra grandeza, grandezas só podem ser comparadas se forem de mesma natureza e um vetor só pode ser igual a outro vetor, um escalar só pode ser igual a outro escalar, todo índice de exponenciação ou logaritmando tem de ser adimensional e assim por diante...

Sabemos, por exemplo, que não teria sentido definir uma grandeza que seja dada por *e* elevado a uma velocidade ou que seja o logaritmo de uma posição ou que seja a soma de um vetor tridimensional com uma quantidade de energia (escalar).

Esse princípio, da análise dimensional, que pode ser considerado como uma anteprima lei da Física ("anteprima" significa "antes da primeira", ou - no caso - uma lei que viria antes de todas as outras leis da Física), muitas vezes nos permite reconhecer que o resultado de um cálculo está equivocado. Digamos, por exemplo, que estamos tentando deduzir uma expressão para a energia E de um sistema que se move a uma velocidade v e que ocupa um volume inicial Vi e um volume final Vf. Após longos cálculos, chegamos à expressão $E = m\,[(Vf/Vi) - v]$. Algo é certo: essa expressão não pode ser a de uma energia, porque o termo Vf/Vi é adimensional, de modo que não podemos subtrair dele uma velocidade. E, ainda que toda a expressão dentro dos colchetes fosse adimensional, o resultado estaria multiplicado por uma massa, que não tem as unidades de energia. (Isso não seria problema se estivéssemos em um sistema teórico de unidades onde a velocidade da luz fosse definida como $c=1$ adimensional, o que frequentemente é usado; mas note o leitor que, nesses casos em que unidades teóricas adimensionais são introduzidas, a distinção entre algumas dimensões deixa de existir; quando se faz $c=1$, implicitamente se está impondo, por exemplo, que energia e massa têm as mesmas unidades, o que não deixa de ter um significado interessante dada a equivalência entre matéria e energia dada pela famosa $E=mc^2$).

Portanto, conhecer tal Lei “anteprima” é interessante para nosso alunado, por ao menos dois motivos: (1.º) porque, a partir disso, se pode discutir a natureza das grandezas físicas e suas construções históricas (por exemplo, a história poderia ter se dado de tal forma que nunca se tivesse concebido massa e energia como distintas, de forma que não teriam unidades diferentes de medida) e (2) porque há uma utilidade bem prática da análise dimensional no sentido de permitir identificar alguns erros de cálculos.

Dessa forma, não é exagerado preciosismo de minha parte identificar que a segunda equação da p. 9 de MAIA (*Op. cit.*), quando intenciona dizer que o vetor rotacional do campo magnético é nulo, segundo as equações de Maxwell, iguala esse rotacional ao número zero, o que - a rigor - deveria ser representado pelo “vetor nulo” (um vetor com módulo zero, que muitos autores representam ou por um zero com seta sobrescrita ou com um zero em negrito).

Da mesma forma, espero não ser exagerado zelo mencionar que, por exemplo, na p. 159, POLITI & REIS (1977) não explicitam as unidades dos cálculos senão na apresentação do resultado final. Na página citada, é feito um cálculo de pressão de um gás ideal, onde está a seguinte linha de raciocínio, onde *P* representa pressão e *V* representa volume:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow 6 \times 3 = P_2 \times 9 \rightarrow P_2 = 2 \text{ atmosferas}$$

Com efeito, o rigor matemático nos obrigaria a concluir que P_2 é igual a *2*, simplesmente, e não a *2 atmosferas*, porque, uma vez que a unidade *atmosferas* não aparece no antecedente, ela não teria como surgir, de nenhuma operação matemática, no consequente, a menos que supuséssemos que *1 atmosfera = 1*, isto é, que *atmosfera* é uma unidade adimensional (como é o caso de *radianos*), o que é falso.

Mas não apenas pelo rigor de notação, e sim também por tratar-se de um livro destinado a estudantes da Educação Básica, que, mesmo correndo o risco de incorrer em exagero, eu teria escrito o passo intermediário dessa dedução com as unidades explicitadas, abreviadas ou por extenso, assim:

$$6 \textit{ atmosferas } \times 3 \textit{ litros} = P_2 \times 9 \textit{ litros}$$

Imagino que isso pudesse fazer o estudante enxergar não apenas os números sendo multiplicados e divididos, mas também as unidades. Doutra forma, corremos o risco de dar a entender que as unidades de medida não são entidades matemáticas passíveis de serem operadas (multiplicadas, divididas, somadas, subtraídas *etc.*). E, com isso, nosso estudante fica condicionado ou a tratar unidades de medida como entes muito mais abstratos do que realmente são ou a depender de "formuletas" memorizadas. Vejamos mais um exemplo:

Sabemos que um quilômetro equivale a mil metros e que uma hora equivale a sessenta minutos ou a três mil e seiscentos segundos, ou seja: *1 km = 1000 m* e *1 h = 3600 s.*

Ora, se temos uma velocidade, digamos, de *72 km/h*, então estamos diante de *72 x 1000 m / (3600 s)*, o que resulta em *20 m/s*. Ocorre que a "apostilação" do ensino tem levado muitos livros de Ensino Médio a ensinar essa conversão de unidades como uma "regra" mnemônica: de *km/h* para *m/s* basta dividir por *3,6*; para converter de *m/s* para *km/h*, basta multiplicar por *3,6*.

Até certo ponto, essas regras mnemônicas são úteis, mas quase sempre por conta dos tempos curtos de resolução de questões de vestibulares. Se não tivermos os vestibulares em mente (e, mais, se os entendermos mesmo como inimigos da Educação), esse tipo de regra não é útil e, na verdade, pode ser prejudicial para nosso estudante, porque transforma toda uma construção de unidades, com suas equivalências e mesmo sua história, em uma mera peça de um jogo de memorização e agilidade em resolver problemas "formulísticos", o que, a meu ver, vai no sentido oposto do que a literatura defende (e eu concordo) que seja o papel da Educação.

Por fim, remetemos o leitor a perceber que, nesses simples e escassos exemplos, partimos do rigor das regras de inferência para identificar algumas “irregularidades” (por falta de palavra melhor) formais e, com isso, não chegamos a conclusões conservadoras sobre a Educação, mas a considerações perfeitamente compatíveis com o que se discute hoje em dia para o ensino de Ciências.

Esperamos que, com isso, nosso leitor tenha concordado que a Lógica e a Racionalidade não são inimigas de uma Educação no sentido mais “progressista” do termo, mas - ao contrário - podem ser verdadeiras aliadas.

Ao tratarmos as falácias apresentadas no cap. III e ao combatermos essas mesmas falácias no Ensino de Física, teremos dado um passo para armar os educandos com ferramentas capazes de enriquecer seu pensamento mais crítico.

Talvez explicitando o papel do rigor na resolução de simples equações, possamos dar um passo no sentido de um trabalho mais geral (pan, inter, multidisciplinar), que visaria a discutir, com os estudantes, formas de usar o mesmo formato desses raciocínios para desconstruir não apenas algumas falácias epistemológicas (o que, por si só, já valeria muito a pena), mas até para desconstruir discursos de preconceitos, por exemplo.

E, munido do aparato lógico-formal, nosso estudante tem ferramentas para desconstruir até mesmo muitas falácias do mundo político, o que é fundamental para a formação de um sujeito que poderá questionar, com facilidade, a realidade que o cerca e tomar decisões no sentido de transformá-la.

Se a Ciência permite um diálogo com o mundo, certamente a Lógica é uma das linguagens com as quais podemos efetuar melhor esse diálogo e, a partir disso, transformar o mundo. É de se supor que um dos objetivos do ensino de Física é tratar o raciocínio lógico, a fim de facilitar ao educando “*pensar lógica e criticamente e assim ser capaz de tomar decisões com base em informações e dados*” (KRASILCHIK, 2000).

V. Reflexões finais

A arte é uma forma de sentir *o universo,*
a ciência [é] uma forma de conhecer *o universo.*

(TEIXEIRA, 2007, p. 39)

V.1. Razão, emoção, fé e intuição: há espaço para todas.

Quando buscamos fazer deduções lógicas, como por exemplo a demonstração de um teorema, primeiro estabelecemos postulados ou axiomas e, a partir deles, verificamos quais são as consequências ou corolários desses princípios.

As regras de inferência, então, podem nos guiar em um caminho desde esses princípios até as consequências deles, mas - e justamente por isso que chamamos “princípios” - todo o raciocínio começa neles, e as regras não nos permitem ir para “antes deles”. Tomam ditos princípios como dados e seguem a partir daí.

De onde vêm, então, os princípios? Em geral, definimo-los com base ou em arbitrariedades (como a de representar, no plano de Argand-Gauss, os números complexos com ângulos que giram sempre em sentido anti-horário, algo que poderíamos muito bem definir no sentido oposto; tal decisão é mera arbitrariedade) ou em ideias intuitivas.

De fato, fornecedoras de princípios são a intuição e a própria emoção. Quem nos leva a definir (impor por princípio) que por dois pontos não coincidentes passa apenas uma reta é a intuição, e quem nos leva ao princípio moral de que a vida é importante, e portanto matar é geralmente errado, é algum tipo de emoção.

Para apoiar minha defesa da intuição, dificilmente encontraria um texto melhor que mais esse brilhante excerto do *Eureka*, do grande Edgar Allan Poe:

> *Agora, garanto-lhe, da maneira mais positiva – continua tardar o progresso da verdadeira Ciência, que realiza seus mais importantes avanços – como toda a História mostrará – por 'saltos',* saltos *aparentemente intuitivos.*
>
> *[...]*
>
> *Não teria, especialmente, dado certo trabalho a esses fanáticos o determinar por qual de suas duas estradas foi atingida a mais importante e a mais sublime de todas as suas verdades – a verdade, o fato da* gravitação*?*
>
> *Newton deduziu-o das leis de Kepler… Sim, Kepler* adivinhou *essas leis vitais – isto é,* imaginou-as*. Se lhe tivessem pedido que indicasse por qual estrada, se a* dedutiva *ou a* indutiva*, as havia ele atingido, sua resposta deveria ter sido: "Nada sei a respeito de* estradas*, mas* conheço *o mecanismo do Universo. Aqui está ele. Apoderei-me dele com* minh'alma*. Alcancei-o simplesmente por meio da* intuição"… *Sim! Kepler era essencialmente um* teórico…
>
> (POE, *ibid*., pp. 456-61)

Talvez não precisemos ou não consigamos aqui distinguir claramente intuição de emoção, mas isso não tem muita importância. O fato é que tanto intuição quanto emoção são imprescindíveis para o raciocínio lógico, uma vez que elas fornecem, pelo menos, os princípios a partir dos quais a Lógica nos permite caminhar.

Além da intuição e da emoção, outra entidade fornecedora de princípios bem pode ser a "fé", aquela faculdade de aceitar algo como verdadeiro sem evidências suficientes para tal.

Um bom exemplo é o argumento da trilogia de ficção científica, que fez muito sucesso há uns anos, chamada "Matrix". Se pensarmos que todo o nosso mundo pode ser uma ilusão sendo inserida em nossos cérebros por máquinas e que, portanto, este mundo que vivenciamos não é "real" (ou não corresponde, em si mesmo, a uma realidade hipostática - i. e., que subsiste por si mesma), veremos que nenhum fato aponta contradição. Ou seja: não há nada que nos garanta que não vivemos em uma Matrix (complexo de máquinas que simulam o mundo experiencial em nossos cérebros).

Contudo, vivemos nossas vidas (quase sempre) como se nossa realidade ordinariamente experimentada fosse primária, e não fruto de ilusões criadas em outra realidade. Essa atitude é, no fim e ao cabo, um ato de fé. Podemos tentar justificá-la com a postura econômica de que é a explicação mais simples para nossa experiência de mundo, mas esse raciocínio (abdutivo) nunca poderá nos fornecer uma certeza completa de que nosso mundo é, em última instância, “real”.

Quando experimentamos um fenômeno em um laboratório, não podemos ter absoluta certeza de que não estamos sonhando com aquilo ou que não estamos simplesmente sendo vítimas de uma artimanha psicótica de nossa própria psique.

É como a lenda que reza:

> (...) que o sábio taoísta Chuang Tzu, ao dormir, sonhou ser uma borboleta, mas ao acordar se perguntou: será que eu era antes Chuang Tzu sonhando ser uma borboleta ou sou agora uma borboleta adormecida, sonhando ser Chuang Tzu?
>
> (LISBOA, 2010)

Aqueles que consideramos “loucos” podem encontrar dificuldade para separar o “real” do imaginado. Mas provavelmente um indivíduo que tivesse sua vida sequestrada pela dúvida do personagem da canção do Raul estaria diante de problemas dignos de uma longa terapia. Não podemos viver assim. E, por conta disso, damos um salto de fé ao acreditar em nossas experiências sensoriais.

A fé, portanto, longe de ser inimiga da razão, é elemento constitutivo e imprescindível desta, juntamente com a emoção e a intuição, todas ladeadas pelo pensamento lógico.

Isso posto, permita-me o leitor tomar partido de uma dessas fornecedoras: lógica, intuição, emoção e fé. Quero defender que uma delas goza uma propriedade peculiar, que as outras não têm. Uma delas é referencial privilegiado, não sendo superior às demais, nem podendo existir sem suas irmãs; mas simplesmente tendo o papel de conjugar as outras, por ser a única que - penso - é capaz de definir sua própria limitação.

É a lógica. Ela consegue nos dizer “a partir daqui eu te levo, mas não antes” e “até aqui eu te trago, mas não posso ir além”. Ela diz quando é hora de “passar a bola” para as demais. Ela coordenaria, assim, o trabalho das irmãs, desempenhando um papel de liderança no grupo. E digo isso porque me parece que a lógica consegue saber e dizer, sem grandes problemas, quando é hora de pedir ajuda.

Evidente que não estou defendendo que o cidadão ideal, que a escola deveria pretender formar, é um capitão *Spock* (o personagem das séries *Star Trek*, "Jornada nas Estrelas", que vem de um planeta chamado Vulcano, onde o sistema educacional busca promover que os sujeitos eliminem as emoções e vivam de maneira totalmente guiada pela razão).

Entendo que ser um racionalista de modo algum é ser "frio" ou buscar abandonar as emoções, como fazem os personagens vulcanos de Jornada nas Estrelas. Ao contrário: ser um racionalista é buscar conciliar todas as formas de dialogar com o mundo de forma saudável e libertadora, isto é, aberta à mudança de opiniões e combate a preconceitos.

De fato, um personagem vulcano me parece contraditório. Porque, se tem a intenção de viver guiado unicamente pela razão, já aí temos um fato incoerente: o uso do verbo "viver". Ora, pela razão pura (não à toa foco de uma crítica de Kant em um título bem sugestivo: "Crítica da Razão Pura"), não se pode demonstrar que é necessário viver. Portanto, é impossível um ser pensante querer "viver guiado unicamente pela razão", uma vez que a razão, isoladamente, é incapaz de nos dar motivos para seguir vivendo. O interesse pela vida é algo emocional, instintivo, intuitivo, talvez, mas certamente não é possível ser demonstrado por meio da razão. Do ponto de vista lógico, o intuito de viver é um postulado.

Sendo mais explícito e dando um exemplo: os personagens vulcanos da franquia *Star Trek* em muitos episódios acabam se vendo diante de situações em que precisam tomar decisões difíceis e muitas vezes as tomam sob a justificativa de buscar a que mais racional ou provavelmente promoverá a vida. Por exemplo, quando um personagem vulcano precisa decidir arriscar a vida de uma pessoa para salvar a de toda a tripulação da nave, geralmente não se furta de dizer que muitas vidas valem mais que uma única. Se essa decisão é correta ou não eu não sei (os produtores frequentemente - apelando para a emotividade - levam o público a pensar que vale a pena arriscar uma situação em que todos saem vivos, mesmo quando ela tem menos chance de sucesso que outra em que um personagenm se sacrifica pela sobrevivência dos demais), mas que ela não faz nenhum sentido sem primeiro termos de partir da hipótese de que “vidas têm valor”, isso eu consigo afirmar com quase total certeza. Afinal, se vidas não têm qualquer valor, de nada importa quantas serão salvas porque qualquer número multiplicado por zero resultaria zero no final (daí que, se vidas tivessem valor zero, para os vulcanos, salvar *N* vidas teria valor *N* vezes zero, que é igual a zero, não importa quanto seja *N*).

Então quem disse para os vulcanos que a vida tem valor? Certamente não foi a Razão pura, porque ela não é capaz de dizer uma coisa assim. Isso fica por conta dos postulados que nascem da intuição, da emoção, do instinto de sobrevivência. Mas nenhuma dessas fontes deveria ser usada por alguém que se pretendesse adepto de uma lógica puríssima.

Quando pensamos na Educação como formadora integral do sujeito, não se pode esquecer que uma das dimensões que pretendemos formar é (por mais que a palavra que vou usar agora infelizmente esteja caindo em desuso e sendo associada a uma conotação pejorativa) a moral. Portanto, é evidente que queremos formar um estudante que tenha integridade moral, e talvez o primeiro requisito para essa integridade seja a valorização da vida. Como espero ter demonstrado agora há pouco, a valorização da vida não é derivada unicamente da razão, mas depende de outras dimensões que nos compõem enquanto seres humanos.

Mas mesmo a formação moral pode se beneficiar, e muito, da sofisticação da racionalidade. Munido de regras de inferência, nosso educando pode, como esperamos ter convencido o leitor, encontrar sustentação para julgar melhor entre situações, tomar decisões, participar mais construtivamente de debates políticos, elaborar uma leitura mais completa da sua realidade e, assim, transformá-la.

Tudo isso fica prejudicado se o estudante vê, nas suas próprias aulas de ciências, a aplicação de falácias ser realizada sem qualquer justificativa. É provável que ele(a) não reconheça, por exemplo, que – quando o(a) educador(a) leva a turma para verificar uma teoria por meio de uma previsão experimental – está diante de uma aplicação da falácia da afirmação do consequente (a menos que uma interpretação probabilística seja introduzida), mas tanto pior será: nossos educandos podem acabar introjetando e naturalizando a impressão de que $A \rightarrow B$ equivale a $B \rightarrow A$ (Certa vez, um amigo, professor de Matemática, ensinou-me uma analogia: assim como uma linha de ônibus faz necessariamente o mesmo caminho na ida e na volta, não se é de esperar que as implicações valham igualmente em ambos os sentidos).

E, de fato, a suposição de as implicações valerem em ambos os sentidos podem levar nosso(a)s estudantes a conclusões imorais. Por exemplo, se dizemos que um estudo apontou que a maioria das pessoas que causam violência foi vítima de violência em algum momento, seria um grave engano supor que tal fato garante que uma ex-vítima de violência hoje é um risco à sociedade. Com efeito, se *A* implica *B*, isso não nos autoriza a inferir que *B* implica *A*, e nem mesmo a nossa abordagem estatística permite extrapolar os limites dos direitos humanos a ponto, por exemplo, de julgar precipitadamente uma pessoa.

Raciocínios falhos frequentemente são usados para embasar algumas das mais terríveis conclusões. Daí que fazer um pouco das discussões sobre a natureza da ciência e sobre as nuances das inferências por ela utilizadas adentrarem nossas salas de aula é uma atitude necessária para favorecer a formação dos educandos enquanto pessoas, futuros profissionais, participantes da vida política e tudo o mais que configura sua cidadania e sua felicidade.

V.2. Racionalizar cabe apenas no “mundo dos cientistas” e nas aulas de ciências?

“A racionalidade não oferece o risco de tornar ‘fria’ a personalidade do(a)s educando(a)s ou de torná-lo(a)s desumano(a)s?” Já me deparei com perguntas semelhantes em muitos contextos, principalmente em conversas sobre política, como se a sistematização do pensamento e o uso de regras de inferência fossem algum tipo de perigo inominável quando se trata de avaliar decisões sociais, pessoais e tudo o mais que não seja estritamente acadêmico.

O que espero esboçar agora são itens que creio representar os riscos que a racionalização não oferece. Acredito que posso fazê-lo trazendo à tona algo a respeito do que é a Razão (não no sentido estrito ou técnico do termo, mas no sentido em que essa palavra e suas afins foram utilizadas neste ensaio, mais próximas do seu uso em linguagem comum), mas parece-me mais fácil e talvez mais elucidativo dizer o que ela não é. Então, creio ser suficiente concluir esta seção com uma pequena lista, certamente incompleta, de coisas que entendo serem muitas vezes associadas como sinônimas de Razão, mas que de modo algum a implicam ou são implicadas por ela. (Ou seja: entendo que há certos estereótipos e quando alguém diz alguma coisa como "sejamos racionais", as pessoas frequentemente associam a "ser racional" uma série de atributos que ou não são necessariamente racionais ou mesmo podem ser opostos à racionalidade ou à Razão em determinadas circunstâncias). Sem mais delongas, ensaio essa prometida lista a seguir:

- A Razão não é, não exige e nem é exigida pelo Reducionismo (ideia que defende que as propriedades do todo são perfeitamente compreensíveis a partir das propriedades e das interações das partes; de modo mais coloquial, o Reducionismo é a ideia de que, para resolver um problema ou entender algo grande, basta dividir em partes pequenas e entender cada uma dessas partes quase que isoladamente e, no fim, teremos entendido o corpo. Um Reducionismo mais extremo talvez pudesse ser imaginado como aquele que, por exemplo, reduziria o ser humano a um punhado de órgãos ou a um amontoado de átomos organizados de uma certa maneira). Já que os postulados básicos da Lógica (sendo esta a ciência da Racionalidade) não implicam o Reducionismo, então podemos ser racionais sem sermos reducionistas (e vice-versa!) e, portanto, não podemos confundir Razão com redução;

- Ser racional não é o mesmo que ser insensível. A Razão bem utilizada aponta para suas próprias limitações, e uma delas é a de gerar postulados. A Lógica não cria todos os postulados (o ponto de partida), mas muitas vezes se restringe a nos conduzir a partir deles (não dá o ponto de partida, mas fornece a estrada ou o veículo para percorrer a estrada). Ou, ainda, podemos lembrar que a Razão é apenas uma das dimensões humanas, de modo que ser racional não nos impede de ser emotivos, assim como o fato de uma pessoa ter boa saúde física não impede que ela tenha boa saúde mental nem vice-versa. Na verdade, é possível até defender o oposto: que uma pessoa com boa saúde física tem melhores condições de melhorar sua saúde mental (não à toa muitos psicólogos aconselham seus pacientes a fazer exercícios físicos e a ter boa alimentação) e vice-versa. Talvez pudéssemos dizer o mesmo da Razão e da Emoção: a saúde de uma pode favorecer a outra. Com efeito, eu arrisco dizer que isso ocorre, já que quando estamos sofrendo alguma crise emocional temos dificuldade de raciocinar claramente e já que, muitas vezes, a razão pode nos levar a resolver problemas que nos afetariam emocionalmente. Desse modo, cuidar de uma ajuda a cuidar da outra, ao contrário do que muitas vezes supõe o senso comum (que uma pessoa racional tende a ser menos emocional ou vice-versa);

- Razão não é atributo exclusivamente masculino. Infelizmente é ainda necessário trazer esse ponto, porque o sexismo (preconceito de gênero) ainda é presente em nossa cultura. Fala-se muito que mulheres seriam menos racionais que os homens. Não pretendo apresentar argumentos científicos contra isso (o que seria competência de etologistas, neurologistas, psicólogos e outros profissionais), mas apenas atinar para o fato de que tal pensamento pode não passar de fruto de uma cultura preconceituosa e, portanto, no mínimo é passível de ser questionado.
- Razão não é pragmatismo “frio”. Ser racional não nos obriga a ser pragmáticos, da mesma forma que não nos obriga a deixar de ser emotivos. Se, por exemplo, podemos tomar dois caminhos diferentes, andando de carro, para chegar num mesmo lugar, se temos tempo

sucifiente para escolher o caminho mais longo e se esse caminho passa por uma paisagem mais bonita que o caminho mais curto, então a Razão não nos impede de escolher o caminho mais longo, muito embora um senso pragmático talvez o fizesse. Pela Razão, podemos nos questionar, por exemplo, “por que precisamos chegar mais cedo e pegar o caminho mais feio se podemos tomar o caminho mais longo e belo e mesmo assim não nos atrasaremos?”. Notemos que, nesse caso, a Razão nos dá meios de combater o pragmatismo frio (que ignora as emoções);

- Razão não implica nem é implicada pelo dogmatismo ou pelos partidários de que existe algo que podemos chamar de “Verdade absoluta” e de que temos condições de um dia conhecê-la. Ora, essa ideia não é sinônima de Razão. Isso fica facilmente demonstrado por algo que discutimos anteriormente, citando que a Lógica não tem compromisso com qualquer particular Teoria da Verdade, isto é, podemos ter pessoas adeptas de uma mesma teoria Lógica sendo que cada uma dessas pessoas adere a uma diferente Teoria da Verdade, e nenhuma delas é incoerente nessa escolha;

- Ser racional(ista) não implica ser positivista, empirista, cientificista ou afins. Na verdade, o Positivismo é um clássico tipo de anti-realismo, mas ninguém é obrigado, para ser coerente, a ser positivista só porque é um racionalista, afinal, a própria Lógica clássica pode fornecer bons argumentos contra o positivismo e, de fato, historicamente isso acontece;

- Razão não implica naturalismo, nem inexistência de fé (agnosticismo) e nem fé na inexistência (ateísmo). Uma pessoa pode ser deísta ou teísta e, ao mesmo tempo, ser racional ou “lógica”. Entre muitos exemplos nesse sentido, parece-me que o mais relevante é o próprio Kurt Gödel, que esboçou uma das mais recentes formas do “argumento ontológico” (que buscaria provar a existência de Deus como uma verdade necessária, isto é, proveniente da própria Lógica). De fato, alguns epistemólogos chegaram a tentar mostrar justamente que a Razão não é oposta à fé, mas ou bem a complementa ou mesmo a exige. Dentre este último time, talvez o exemplo mais proeminente seja o nosso contemporâneo Alvin Platinga, que oferece argumentos para dizer que o Naturalismo (aqui entendido como a doutrina de que a Natureza é tudo o que há, em contraposição, por exemplo, à existência do “sobre”-natural) é incompatível com a Ciência. Tampouco a fé implica a não-razão, como muito bem se vê em autores ao longo da História ocidental, como Agostinho, Tomás de Aquino, Calvino e, mais recentemente, nos ensaios apologéticos de William Lane Craig e outros;

- Ser racional não implica ser “cartesiano” como não implica ser adepto de nenhum filósofo em particular, já que mais de um autor tem defendido, ao longo da história a postura racionalista;
- Ser racional não implica desconsiderar a complexidade dos fenômenos do mundo. Isto é, ser racional(ista) não é sinônimo de ser “simplista”. Muitas vezes (senão sempre) uma linha de raciocínio é seguida dentro de um modelo simplificado da realidade. Isso é facilmente percebido na Física, onde é muito comum fazermos idealizações para tratar de grandezas aproximadas: podemos pensar a Terra como uma esfera perfeita, um fio muito comprido como tendo comprimento infinito e uma massa muito pequena perto de outras como sendo nula, mas isso não significa que acreditemos que o mundo seja assim. Ao contrário: estamos perfeitamente conscientes de que operamos aproximações e somos até capazes de estimar a ordem de grandeza dos erros que elas nos levarão a cometer, dentro da Física. Portanto, as aproximações e simplificações são sim um mecanismo heurístico para aplicar a Razão, as teorias, a Matemática *etc*. ao mundo, mas não são parte inerente da Razão (esta seria um núcleo duro rodeado por cinturões heurísticos auxiliares, num modelo palidamente lakatosiano). Ou seja: realmente usamos simplificações para poder aplicar a razão, a

Lógica *etc.* ao mundo, mas isso não significa que não podemos esmiuçar nosso grau de detalhamento até o limite da precisão desejada ao tratar um problema, de maneira que a Razão não implica o "simplismo" ou a "superficialidade", já que a podemos utilizar sobre modelos do mundo "tão completos quanto se queira";

- Ser racional não implica ser exclusivamente teórico. Ao contrário, a Razão e a Lógica muitas vezes foram e são usadas para defender os aspectos empíricos do conhecimento humano. Portanto, um racional(ista) não precisa ser uma pessoa que despreza que aprendemos muito do mundo por meio da observação;

- A pessoa racional não está impossibilitada de degustar um delicioso prato, deleitar-se com uma peça musical ou teatral ou de apreciar uma pintura, tampouco está impedido de fazer piadas, "levar a vida na esportiva" ou ter bom humor - ao contrário, há mesmo muitas piadas inteligentíssimas e o Humor pode ser uma arte bastante sofisticada! Mas, mesmo piadas muito mais banais são perfeitamente possíveis de serem proferidas ou apreciadas por um racional(ista). A Razão não nos tira o bom humor, mas talvez até o amplie! (Afinal, quanto mais conhecemos, mais elementos temos para formular e entender piadas). Portanto, uma pessoa racional não precisa ser um sujeito de semblante sério, fechado ou "carrancudo", nem precisa ser uma pessoa inacessível, triste, burocrata ou cheia de formalidades - pode muito bem ser a pessoa mais bem-humorada ou a mais alegre que você conhece! (Aqui repeti uma consideração que já havia sido feita sobre anedotas no capítulo II, mas achei oportuno trazer novamente à tona).

V.3. O ensino de Ciências

Este trabalho teve, como um de seus objetivos, denunciar e sugerir um caminho lógico-probabilístico para solucionar uma aparente falácia na aplicação de inferências científicas (especialmente, quando se trata de reconhecer no sucesso preditivo ou explicativo de uma teoria uma evidência em favor desta). Outro objetivo, ao qual o primeiro apontava (seria correto dizer que este segundo foi o “objetivo do primeiro objetivo” ou “objetivo último”), é disponibilizar essa reflexão como um elemento a contribuir no ensino de ciências. De alguns modos, espero que esse objetivo último tenha sido atingido ao longo do texto, mas gostaria de fazer um brevíssimo apanhado dele agora…

Quando denunciamos a existência de uma (aparente) falácia formal no fazer científico, estamos apontando uma lacuna (justificar como a evidência experimental pode favorecer racionalmente a aceitação de uma teoria científica sem que isso represente cair numa aplicação absoluta da falácia da afirmação do consequente) que geralmente permanece pendente na prática dos cientistas e da qual provavelmente a maioria dos pesquisadores de ciências naturais sequer se apercebe. Mas não é simplesmente na prática da pesquisa científica que tal problema reside: no ensino de ciências ele é tão ou mais influente, uma vez que é na escola básica que formamos (ou deveríamos formar) os cidadãos, incluindo os cientistas, e é na educação superior que formamos os professores que um dia participarão da educação dos estudantes.

Se a Natureza da Ciência é desconhecida do cidadão, minha posição é irredutível: de muito pouco valeu esse cidadão ter aprendido aspectos técnicos da ciência. Se o cidadão médio brasileiro tivesse bom conhecimento, digamos, das Leis de Newton, das Leis da Termodinâmica, de fundamentos do eletromagnetismo, da ótica e de princípios básicos da chamada “Física Moderna”, mas desconhecesse a quase totalidade das questões em voga na epistemologia contemporânea (refiro-me aos problemas sobre a Natureza da Ciência) e à historiografia da ciência, seu conhecimento científico ainda seria quase insignificante, a meu ver, porque aquilo que sabe quase não passa de mitologia em sua mente; sabe algo de ciência mas quase nada sobre a natureza desta ou de onde vieram essas informações.

Se eu tiver uma ficha com todos os dados, disponíveis em uma ficha de Recursos Humanos, que eu quiser a respeito de uma pessoa – digamos, altura, peso, idade, cor dos olhos, currículo acadêmico, tipo sanguíneo etc. etc. –, posso dizer que a conheço? Parece que não. Nada saberei sobre sua índole, suas opiniões políticas, crenças religiosas, ideais, sonhos, sobre sua família, seus traumas de infância, seus medos, o que a deixa feliz etc. Há muito para se saber, sobre alguém, que vai além dos dados objetivos que se escrevem numa ficha. E há mais para se saber, sobre ciência, que as formuletas e leis. Assim como há índole de uma pessoa, há natureza da ciência. Por certo que muitas informações sobre a índole de alguém podem ser escritas numa ficha, mas não costumam sê-lo. Do mesmo modo, muito se pode escrever sobre epistemologia, mas ainda assim são raras as menções a essas questões em manuais de ciência.

Quando tecemos algumas soluções para problemas de ordem lógica sobre a prática científica, fomos levados a uma abordagem probabilística. Isso tem duas consequências: por um lado, justificamos, até certo ponto, a aparentemente problemática inferência de uma teoria a partir de seu sucesso observacional; por outro, mostramos que essa inferência não é absoluta. Concentremo-nos neste último ponto…

Com efeito, se uma teoria tem sucesso em suas predições, esse sucesso não pode garantir absolutamente a veracidade da teoria, sob pena de cometermos, assim julgando, a falácia da afirmação do consequente, e a solução que mostramos para essa questão não foi, de fato, mudar isso (a afirmação do consequente continua sendo uma falácia). A solução está em enfatizar que a inferência pela validação da teoria é meramente probabilística, ou seja, repetimos, não é absoluta. Foi por considerações como essa (dentre outras), que em minha dissertação (cf. DAROS-GAMA, 2011) eu afirmei categoricamente que não existe comprovação científica.

Que as conclusões da ciência não têm 100% de certeza é uma lição que precisa ser aprendida pelos nossos estudantes talvez mesmo antes de aprenderem qualquer lei ou equação científica. Sem isso, tais equações são mitológicas, são mágicas, são sagradas – e tudo isso é contrário à racionalidade que esperamos que se forme no educando. Infelizmente, a visão que impera no mundo atual é de uma ciência absoluta, que extrai verdades que já existem no mundo, esperando para serem descobertas. Tal visão dogmática em pouco difere de um dogmatismo religioso. É estranho, e mesmo contraditório, considerando tudo isso, que ouçamos tantos jovens dizerem “Eu não tenho religião, porque creio na ciência”. De fato, se o sujeito crê dogmaticamente na ciência, ela é sua religião. Não por menos que até igrejas ateístas estejam surgindo ultimamente. Até mesmo frases como “Não tenho fé, porque sou racional” são falaciosas, porque nenhuma razão se extrai de um abismo axiomático: antes, é preciso desenvolver qualquer raciocínio a partir de pressupostos, postulados, princípios, axiomas (ou tantos outros nomes que representam a mesma coisa: bases sobre as quais cremos para, a partir delas, podermos desenvolver inferências).

A dogmatização da ciência é, na verdade, algo que já está presente não apenas na escola, mas na mídia, nas propagandas e nas divulgações científicas. Tal denúncia eu já fiz, com muitos exemplos, na dissertação (*Op. cit.*), e, cinco anos depois, continuam existindo, como podemos ver neste exemplo recente, um texto de 2012, publicado em uma edição de 2016, que intenciona falar sobre o bóson de Higgs mas, antes, faz (ou tenta fazer) um apanhado sobre epistemologia:

> Os teóricos geniais, mesmo quando totalmente convencidos do acerto de suas formulações, ficam mais seguros quando elas são provadas por experiências práticas. […] Quando veio a comprovação disso [teoria da Relatividade] […], Einstein não se conteve […].
>
> “Não existem interações instantâneas na natureza”. Essa afirmação de Einstein tem a simplicidade e a força de um mandamento bíblico. Sobre ela repousa toda a física do século XX e destes primeiros anos do século XXI […]
>
> Desacreditar a descoberta do Cern é uma possibilidade. Os cientistas disseram acreditar ter encontrado a assinatura deixada pela desintegração de um Higgs. Podem estar errados? É impossível eles estarem errados sobre o fato de que descobriram algo espetacularmente novo. A única partícula prevista teoricamente que ainda não havia sido encontrada é justamente o Higgs. Se apareceu uma nova, então é ele, certo? Quase certo. […] Denis Oliveira Damazio […] explica: “Precisamos de mais alguns anos para conhecer todas as características dessa nova partícula para podermos afirmar sem nenhum risco de errar que se trata do Higgs” [...]. (VILICIC, 2016; grifos meus)

O excerto é curto, mas muito denso em uso de termos problematizáveis. A primeira classe que identifico é a dos erros quanto à natureza humana da ciência: gênios das fábulas árabes podem ser tão mitológicos quanto os gênios da história reconstruída das ciências. De fato, para competentes historiadores da ciência, “a ciência NUNCA é produzida por uma pessoa isolada; a crença no “grande gênio” é uma ilusão pueril” (MARTINS, 2005; caixa alta do autor).

Os grandes nomes da ciência são seres humanos. Possivelmente têm uma inteligência acima da média, mas nada que os categorize num patamar superior, como que iluminados, budas ou profetas de uma verdade revelada. A propagação do mito do grande gênio, longe de favorecer a ciência, pode acabar por afastar dela as novas gerações. Quantos garotos e quantas garotas, com potencial e interesse, talvez não estejamos perdendo com esse mito? Explico: suponha que uma jovem ou um jovem tenha curiosidade aguçada e bom potencial para ser um cientista no futuro, mas, ao ler matérias como a que acabamos de citar, talvez pensem “Gosto de ciência, mas não tenho a capacidade de um grande gênio, então é melhor eu procurar fazer outra coisa”? Acredito que, em tenras idades, pequenas cenas como a leitura de um texto assim podem mudar o rumo de vidas inteiras de crianças. Talvez estejamos realmente perdendo “gênios” reais (aqui entendidos simplesmente como crianças que têm interesse pela ciência) por impormos a eles uma imagem de gênios mitológicos.

A lista das contribuições que as pesquisas em Ensino de Ciências, especificamente na linha de Epistemologia e História da Ciência, podem dar às pesquisas inclui isso: desconstruir esses mitos nos futuros professores, para que possam desconstruí-los entre seus educandos, a fim de ali fazer florescer os interesses de estudantes que têm curiosidade científica, ou seja, a fim de evitar que eles acabem desistindo de algo por pensarem que não atingem um patamar mítico.

De fato, isso não acontece apenas com crianças, porque minha própria experiência (como estudante e como docente) diz que há estudantes com enorme potencial que desistem da carreira científica no Ensino Superior: alguns até terminam a graduação, mas nem cogitam seguir carreira acadêmica por, em suas palavras, terem descoberto que isso não é para eles. Desconstruir mitos é fundamental, portanto.

Bem conhecido é o texto “Perguntas de um trabalhador que lê”, de Bertold Brecht. Ali ele problematiza frases como “O faraó Quéops construiu a maior pirâmide do Egito”, porque certamente foram muitos os trabalhadores anônimos que erigiram o monumento (o faraó provavelmente não ergueu nenhum bloco). Talvez a história da ciência cometa o mesmo tipo de injustiças: colocamos sobre uns poucos nomes as contribuições de muitas pessoas. Reconhecer o papel de muitos trabalhadores das construções do Antigo Egito é fazer justiça e não há motivo para ser diferente quando substituímos as megaconstruções da Antiguidade pelos monumentos teóricos e científicos do nosso e dos outros tempos.

Falando em Antiguidade, é possível que a Grécia antiga tenha oferecido ao mundo o milagre de sua Filosofia não por ser a única civilização a desenvolver pensamentos dignos de nota, mas por tê-los registrado com detalhes e por frequentemente deixar que o conhecimento não ficasse restrito a círculos iniciáticos de sacerdotes. Pois é justamente isso que estamos desfazendo, penso eu, quando sacralizamos a ciência e mitificamos o(a)s cientistas.

Isso me leva a outro item destacado no texto: o enunciado de que nenhuma interação é instantânea pode ser muitas coisas, mas dificilmente pode ser comparado a um mandamento religioso (como “não matarás” ou “amarás o teu próximo”). Não estou certo sobre o que o autor pretendia dizer nesse trecho, mas é importante deixar claro que, ainda que os gênios existam, confundi-los com profetas proclamadores de uma verdade revelada é um exagero ainda maior.

É imprescindível, no âmbito de tudo o que estamos dizendo aqui, finalmente, reconhecer que a ciência corre sempre o risco de revisão. Dizem que as religiões nunca mudam seus dogmas, enquanto que a ciência está em constante revisão. Na verdade, suponho que vivenciamos, por vezes, o oposto. Certamente a Reforma Luterana foi um exemplo de revisão de dogmas, mas a visão de uma ciência inquestionável (irreformável), hoje, parece ganhar forças na veiculação da mídia e no senso comum. No excerto anterior, vemos um cientista declarar que, sob certas circunstâncias, o enunciado “encontramos o bóson de Higgs” será isento do risco de erro. Vemos, ainda, a suposição de que toda a Física do século XX andou em uníssono com as teorias de Einstein. Ambas as afirmações são falsas: a primeira, porque há incertezas experimentais, subdeterminação do experimento pela teoria e tantas outras atenuações das certezas científicas; a segunda, porque teorias alternativas (não-paradigmáticas) nunca deixaram de ser propostas (para citar apenas uma, deixo a Mecânica Relacional, do brasileiro André K. T. Assis).

A literatura da área de Ensino de Ciências vem criticando, há décadas, o ensino que não trabalha adequadamente o caráter humano e provisório da Ciência. Em realidade, o educador hoje tem de enfrentar o fortalecimento de um senso comum mitológico (que compreende falácias sobre a natureza do conhecimento científico) feito por meios de divulgação, livros didáticos, palestras e aulas. Em resumo:

> A concepção comumente aceite por estudantes e professores de ciências associa os conteúdos da ciência como revelações sobre a organização interna do mundo. Sully (1989) mostrou que os estudantes acreditam que as verdades científicas pré-existem ao conhecimento e que há um caminho lógico simples entre a evidência empírica e a proposição de conteúdos teóricos. [...] Embora seja natural que tal concepção exista informalmente entre os jovens, é menos natural aceitá-la como resultado de escolarização, visto que parte dos objetivos da educação científica é fornecer aos estudantes uma idéia mais apropriada da dinâmica interna da ciência. Livros didáticos e cursos de formação de professores estão assentados numa concepção de ciência que privilegia a separação entre sujeito e objeto do conhecimento. Nos textos de materiais didáticos e nas falas dos professores transparece a crença na existência de uma "realidade essencial" não percebida diretamente pelos nossos sentidos. Essa realidade ocultada pelas limitações de nossa percepção seria a fonte de verdades definitivas. O papel do cientista seria atingi-la através de um método seguro, apoiado na experimentação e na medida e no pensamento lógico.
>
> [...]
>
> A ciência se diferenciaria, então, de outras formas de conhecimento pelo uso de um método especialmente desenvolvido para a produção de verdades. Ao contrário das impressões primeiras, passageiras e superficiais, o conhecimento obtido através da ciência seria absoluto, definitivo e fundamental, pois apoiado no método experimental. A base de tal método repousaria na lógica indutiva, ou seja na possibilidade se obter verdades gerais a partir de verdades particulares.
>
> [...]
>
> Essa concepção de ciência reflete uma idealização de natureza empírico-positivista e tem influenciado profundamente o ensino produzido nas escolas, gerando uma visão deformada da natureza da atividade científica e do conhecimento por ela produzido. Ela contrasta com aspectos importantes da atividade científica efetivamente realizada e que mereceriam ser enfatizados na educação científica. Millar (1989) em seu trabalho intitulado "Doing Science: image of science in science education" destaca dois desses aspectos: a caracterização da atividade científica como uma atividade humana e o caráter eminentemente provisório das idéias científicas.
>
> (PIETROCOLA, 2005)

Em suma, as equações (C.12) e (C.22), aliadas ao formato (C.3) da afirmação do consequente, constituem um motivo (apenas um de muitos) para que fortaleçamos, por uma via lógico-matemática a ideia de que o conhecimento científico não pode ser apresentado como uma certeza ou como uma afirmação absolutamente isenta de erros, como pareceu supor o cientista mencionado no excerto do livro da revista “Veja”.

Assim, se essas equações, (C.12) e (C.22), satisfazem o principal item do primeiro objetivo deste trabalho, conforme apresentado no cap. I, também apontam uma contribuição igualmente relevante, espero, no cumprimento do segundo. São simples equações, mas que nos revelam algo sobre a interpretação probabilística das “certezas” científicas e não nos deixam (quase) nenhuma margem para uma ciência de absolutos.

Esperamos que, ao longo do percurso que chega a essas equações e com as discussões que delas derivamos, tenhamos conseguido alcançar os objetivos que colocamos no início – em suma: esboçar justificativas para o reconhecimento do sucesso explicativo/preditivo como evidência em favor de uma teoria e sinalizar utilidades de discussões dessa natureza nas aulas de ciências naturais.

Referências Bibliográficas

ALBADA, T. S.; BAHCALL, J. N.; BEGEMAN, K.; SANCISI, R. **Distribution of dark matter in the spiral galaxy NGC 3198**. *In*: Astrophysical Journal, vol. 295, 15 de agosto de 1985, pp. 305-313

ALONSO, Marcelo & FINN, Edward J. **Física**. Lisboa: Escolar Editora, 2012;

ALVES, Rubem. **O desejo de ensinar e a arte de aprender**. Campinas: Editora EDUCAR DPaschoal, 2004. Disponível em: http://www.educardpaschoal.org.br/web/upload/NossosLivros/68_livro_desejodeensinar(1).pdf. Último acesso em 10 de novembro de 2014

ASSIS, André Koch Torres. **Mecânica relacional e implementação do princípio de Mach com a força de Weber gravitacional**. Quebec: Apeiron Montreal, 2013. Disponível em: www.ifi.unicamp.br/~assis/Mecanica-Relacional-Mach-Weber.pdf. Último acesso em 21 de agosto de 2015

BEZERRA, Giovani Ferreira; ARAUJO, Doracina Aparecida de Castro. **De volta à teoria da curvatura da vara: a deficiência intelectual na escola inclusiva**. Educ. rev., Belo Horizonte, v. 27, n. 2, pp. 277-302, Agosto de 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-46982011000200013&lng=en&nrm=iso. Último acesso em 13 de maio de 2016

BÍBLIA. **Bíblia Hebraica**. Traduzida à Língua Portuguesa por David Gorodovits & Jairo Fridlin. São Paulo: Editora Sêfer, 2012 (2006)

BLACKBURN, Simon. **Dicionário Oxford de Filosofia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1997

BORTOLOSSI, Humberto José. **Cálculo Diferencial a Várias Variáveis**: Uma introdução à teoria de otimização. São Paulo: Loyola, 2002.
Visualização parcial da obra (incluindo as páginas citadas no texto) disponível em: https://books.google.com.br/books?id=Tzoue78sDNkC&printsec=frontcover.
Último acesso em 21 de agosto de 2015

BRZOZOWSKI, Jerzy A. ***Modus ponens*, *modus tollens*, e respectivas falácias formais** (Notas de Aula). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.
Disponível em http://jerzy.cfh.prof.ufsc.br/files/falacias-form.pdf. Último acesso em 01.º de abril de 2013

CARNEIRO, Maria Mágila Farias. **Para uma educação filosófica**: A Pedagogia da Pergunta de Paulo Freire e Antonio Faundez. *In*: Sobral, CE: Revista Eros, ano 1, n.º 1, outubro/dezembro de 2013, pp. 74-85.
Disponível em: http://www.uvanet.br/helius/index.php/eros/article/view/28/18.
Último acesso em 27 de outubro de 2014

CASTRO, Roberto C. G. **A bíblia e a teoria da evolução**. *In*: LAUAND, Jean. (Org.) "Filosofia e Educação", "Estudos", volume 5. São Paulo: CEMOrOc/EDF-FEUSP FACTASH, 2007

CHAUÍ, Marilena. **Convite à Filosofia**. São Paulo: Editora Ática, 2000.
Disponível em http://www.cfh.ufsc.br/~wfil/convite.pdf. Último acesso em 13 de março de 2014

COUTO, R. T. **Sobre a Dedução da Equação da Onda e da Solução Segundo a Fórmula de Kirchhoff**. *In:* TEMA Tend. Mat. Apl. Comput., 11, n.º 1, 2010, pp. 49-58. Diponível em www.sbmac.org.br/tema/seletas/docs/v11_1/Couto.pdf. Último acesso em 14 de agosto de 2015

DAROS-GAMA, Leandro. **Autoridade da Ciência e Educação**: abrindo caixas-pretas com a problematização de discursos da mídia e temas da física. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em:
http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-30092011-145842/pt-br.php
Último acesso em 19 de março de 2014

DAROS-GAMA, Leandro & ZANETIC, João. **Reflexões epistemológicas para o ensino de ciências**: questões problematizadoras. *In*: Atas do VII ENPEC – Florianópolis/SC – 2009 Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.
Disponível em: http://stoa.usp.br/daros/files/3342/18491/artigo-enpec.pdf.
Último acesso em 12 de maio de 2016

DELACAMPAGNE, Christian. **História da Filosofia no século XX**. Rio de Janeiro: Zahar, 1997

DIETZ, Richard & DOLVEN, Igor. **A puzzle about Stalnaker's hypothesis**. Sem local: Topoi, 2011.
Disponível em http://www.richarddietz.net/admin/ckfinder/userfiles/files/puzzle-2.pdf
Último acesso em 22 de março de 2014

D'OTTAVIANO, Ítala Maria Loffredo & FEITOSA, Hércules de Araújo. **Sobre a história da lógica, a lógica clássica e o surgimento das lógicas não-clássicas**. Rio Claro: UNESP, V Seminário Nacional de História da Matemática, 2003 (Texto baseado no minicurso "História da lógica e o surgimento das lógicas não-clássicas").
Disponível em tp://ftp.cle.unicamp.br/pub/arquivos/educacional/ArtGT.pdf
Último acesso em 20 de março de 2014

ENCICLOPÆDIA HERDER. Sem autor, Sem data. Barcelona: Herder Editorial.

Disponível em http://encyclopaedia.herdereditorial.com. Último acesso em 14 de março de 2014

FARIAS, Ana Maria Lima de. **Teoria das Probabilidades I** (Notas de Aula). Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, sem data (s/d).
Disponível em:
www.professores.uff.br/anafarias/images/stories/meusarquivos/teoprobI-completa.pdf. Último acesso em 06 de março de 2014

FERRATER MORA, José. **Dicionário de Filosofia**. Volume 2, Tomo IV. São Paulo: Loyola, 1994

FORATO, Thaís Cyrino de Mello, PIETROCOLA, Maurício e MARTINS, Roberto de Andrede. **Historiografia e natureza da ciência na sala de aula**. *In*: Cad. Bras. Ens. Fís., v. 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011.
Disponível em: https://goo.gl/gSgLxb. Último acesso em 11 de maio de 2016

GROARKE, Leo. **Informal Logic**. *In*: The Stanford Encyclopedia of Philosophy. *Summer Edition 2015*. Edward N. Zalta (ed.).
Disponível em: http://plato.stanford.edu/entries/logic-informal. Último acesso em 29 de agosto de 2015

HAACK, Susan. **Filosofia das lógicas**. São Paulo: Editora Unesp, 2002

HALLIDAY, David & RESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física**, v. 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2009

HORVATH, Jorge; LUGONES, Germán; ALLEN, Marcelo Porto; SCARANO Jr., Sérgio; TEIXEIRA, Ramachrisna. **Cosmologia Física**: do micro ao macro cosmos e vice-versa. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007

KAESTNER, Celso A. A. **Sistemas dedutivos**. Notas de aula. Curitiba: UTFPR, 2016. Disponível em: www.dainf.cefetpr.br/~kaestner/Logica/SistemasDedutivos.pdf. Acesso em 04 de abril de 2016

KRASILCHIK, MYRIAM. **Reformas e realidade**: o caso do ensino das ciências. São Paulo Perspec., São Paulo , v. 14, n. 1, Mar. 2000. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000100010&lng=en&nrm=iso. Último acesso em 12 de novembro de 2014

LEITE, Aury de Sá. **Tópicos de Álgebra Moderna Elementar** (Notas de Aula), cap. 5, “A crise dos fundamentos da matemática”. Guaratinguetá: sem editora, 2004.

Disponível em: http://www.feg.unesp.br/~anachiaradia/Material/Apostila%20do%20Prof%20Aury%20-%20Cap%205.pdf. Último acesso em 26 de outubro de 2014

LISBOA, Adriana. **Chuang Tzu e a borboleta em macondo**. *In*: Revista CULT. Edição 87, 2010. Disponível em: http://revistacult.uol.com.br/home/2010/03/1874. Acesso em 30 de agosto de 2015

MAGEE, Bryan. **As idéias de Popper**. Tradução de Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Coleção Mestres da Modernidade, Editora Cultrix, 1977 (1973)

MAIA, Nelson B. **Introdução à Relatividade**. São Paulo: Livraria da Física, 2009

MARTINI, Gloria; SPINELLI, Walter; REIS, Hugo Carneiro e SANT'ANNA, Blaidi. **Conexões com a Física**. São Paulo: Editora Moderna, 2013

MARTINS, Roberto de Andrade. **O desenvolvimento histórico da teoria geral da relatividade**. São Carlos: XI Semana de Física da UFSCar, 2005.
Disponível em: http://goo.gl/fhpiIa. Último acesso em 11 de maio de 2016

MENEZES, Luis Carlos de. **A Matéria**: uma aventura do espírito - fundamentos e fronteiras do conhecimento físico. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005

MORIN, Edgar. **A necessidade de um pensamento complexo**. *In*: MENDES, Candido (Org.); LARRETA, Enrique Rodriguez (Ed.). "Representação e complexidade" (Agenda do Milênio). Rio de Janeiro: Garamond Universitária, 2003, pp. 69 - 78

MORTARI, Cezar. **Introdução à Lógica**. São Paulo: Editora UNESP, 2001

MURCHO, Desidério. **Lógica e teorias da verdade**. Sem local: Revista Crítica, 2004 (ISSN 1749-8457).
Disponível em http://criticanarede.com/log_logverdade.html. Último acesso em 24 de março de 2014

__________________. **Lógica, Aristóteles e o Vazio**. Sem local: Revista Crítica, 2005.
Disponível em http://criticanarede.com/log_vazio.html. Último acesso em 20 de março de 2014

NETTO, Felipe O. S. **Os teoremas de Gödel**. *In*: Cadernos do IME - Série Matemática. Rio de Janeiro: Portal de Publicações Eletrônicas da UERJ, v. 5, n. 23,

2011. Disponível em: http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/cadmat/article/view/11864/11541. Último acesso em 12 de maio de 2015

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**, v. 2, Oscilações e Ondas; Calor. São Paulo, Edgard Blücher, 2002

OLIVEIRA Filho, K. S. & SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Livro disponível gratuitamente em www.astro.if.ufrgs.br/livro.pdf. Último acesso em 06 de agosto de 2015

PIETROCOLA, Maurício. **Linguagem e estruturação do pensamento na ciência e no ensino de ciências**. *In*: PIETROCOLA & OLIVAL FREIRE Jr. (orgs.), "Filosofia, Ciência e História: Michel Paty e o Brasil, uma homenagem aos 40 anos de colaboração". São Paulo: Discurso Editorial, 2005.
Disponível em: http://www.nupic.fe.usp.br/Publicacoes/livros/Pietrocola_LINGUAGEM_E_ESTRUTURACAO_DO_PENSAMENTO_NA_CIENCIA_E_NO_ENSINO_DE_CIENCIAS.pdf. Último acesso em 11 de maio de 2016

POE, Edgar Allan. **Eureka**. *In*: Poesia e Prosa – obras escolhidas. Rio de Janeiro: Edições de Ouro, 1966

POLITI, Elie & REIS, Hélvio J. dos. **Química** (Série Sinopse): Química geral, atomística, físico-química e química orgânica. São Paulo: Moderna, 1977

PRADO, João Carlos & TESCAROLO, Ricardo. **A pedagogia encharcada de amor de Paulo Freire na prática docente**. *In*: Anais do VII Congresso Nacional de Educação e V Encontro Nacional de Atendimento ao Escolar Hospitalar. Curitiba, 2007 (Edição Internacional). Disponível em: http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2007/anaisEvento/arquivos/CI-043-05.pdf. Último acesso em 27 de setembro de 2014

QUARTIN, Miguel Boavista. **Sobre desafios teóricos de modelos de energia e matéria escuras**. Tese de Doutorado. Rio de janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: www.if.ufrj.br/~mquartin/trabalhos/tese.mq.final.pdf. Último acesso em 06 de agosto de 2015

ROCHA, Renato Mendes. **Implicação lógica e material**: esclarecendo pequenas confusões comuns. *In*: Intuito - Revista do Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, volume 6, n.º 2, pp. 239-52. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2013. Disponível em:

http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/intuitio/article/view/15950/10453. Último acesso em 27 de agosto de 2015

RODRIGUES, Tiegue Vieira. **Contextualismo Justificacionista: uma nova resposta ao problema do regresso epistêmico**. *In* Conjectura: Filos. Educ., Caxias do Sul, v. 18, n. 3, pp. 60-78, set./dez. 2013. Disponível em: http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/conjectura/article/download/1602/1414. Último acesso em 25 de outubro de 2014

RODRÍGUEZ-PEÑA, Alejandro. **Kurt Gödel: el limite lógico de la Modernidad**. *In*: Bajo Palabra, Revista de Filosofía, Época II, n. 5. Madri: Universidad Autónoma de Madrid, 2010, pp. 381-387. Disponível em: http://www.redjif.org/bp/index.php?option=com_k2&view=item&task=download&id=251_250aa6d66b726abede5371c07d7d92dc&Itemid=178. Último acesso em 12 de maio de 2015

ROQUE, Antônio. **Física II - Ondas, fluidos e termodinâmica**. (Notas de aula), Ribeirão Preto: Laboratório de Sistemas Neurais, 2012. Disponível em: http://sisne.org/Disciplinas/Grad/Fisica2FisMed/aula16.pdf. Último acesso em 21 de agosto de 2015

SCARANO Jr., Sérgio. **Estudo de curvas de rotação de galáxias espirais: O papel dos Warps e utilização da Espectroscopia IFU**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003

SCHÖPKE, Regina. **Dicionário Filosófico**: conceitos fundamentais. São Paulo: Martins Fontes, 2010

SCHORN, Remi. **Dogmatismo, regresso infinito e psicologismo no Racionalismo Crítico**. *In*: Saberes, Natal – RN, v. 2, n.5, ago. 2010. Disponível em: http://www.cchla.ufrn.br/saberes/Numero5/Artigos%20em%20Filosofia-Filosofia/Remi%20Schorn_DOGMATISMO_REGRESSO%20INFINITO%20E%20PSICOLOGISMO_135-151.pdf. Último acesso em 25 de outubro de 2014

SERWAY, Raymond A. & JEWETT Jr. John W. **Princípios de Física**, v. 2: Oscilações, Ondas e Termodinâmica. São Paulo: Cengage Learning, 2014

SILVA, Adriano Marques da. **Lógica Condicional**. Dissertação de Mestrado. Natal - RN: UFRN, 2009.
Disponível em ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/AdrianoMS_DISSERT.pdf. Último acesso em 06 de março de 2014

SILVA, Matheus. **Conditionals**, de Michael Woods. (Resenha de livro da Oxford University Press, 2003, 2.º ed., 164 pp.). Sem local: Revista Crítica, 2012. (ISSN 1749-8457).
Disponível em http://criticanarede.com/woods.html. Último acesso em 17 de abril de 2013

SILVEIRA, Fernando Lang da. **A filosofia de Karl Popper e suas implicações no ensino da Ciência**. *In*: Florianópolis: Caderno Catarinense de Ensino de Física, 6 (2), 148-162, agosto de 1989. Disponível em:
http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/84999/000014819.pdf?sequence=1
Último acesso em 12 de novembro de 2014

TAYLOR, John R. **Mecânica Clássica**. Porto Alegre: Bookman Editora (Grupo A), 2005

TEIXEIRA, Anísio & ROCHA E SILVA, Maurício. **Diálogo sobre a lógica do conhecimento**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2007

TIPLER, Paul A. & MOSCA, Gene. **Physics for scientists and engineers**. New York: W. H. Freeman and Company, 2008

VELTEN, H. E. S. **MOND: uma alternativa à mecânica newtoniana**. *In:* Rev. Bras. Ensino Fís. São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3314.1-3314.5, Setembro de 2008. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172008000300014. Último acesso em 06 de agosto de 2015

VIGEN, Tyler. **Spurious Correlations**. Página disponível em http://www.tylervigen.com. Último acesso em 20 de junho de 2014

VILICIC, Filipe. **Encaixou-se perfeitamente**. *In*: Eurípedes Alcântara (org.), "VEJA - Dez anos em dez temas". São Paulo: Editora Abril, 2016 (2012)

WAGNER, Carl G. **Modus tollens probabilized**. The British journal for the philosophy of science, v. 55, n. 4, p. 747-753, 2004.
Disponível em http://www.math.utk.edu/~wagner/papers/modus.pdf. Último acesso em 01º de abril de 2013

WANG, Sam & AAMODT, Sandra. **Your brain lies to you**. *In*: *The New York Times*, seção *Opinion*, de 29 de junho de 2008. Disponível em:
http://www.nytimes.com/2008/06/29/opinion/29iht-edwang.1.14069662.html?_r=0.
Último acesso em 10 de novembro de 2014

YOUNG, Hugh D. & FREEDMAN, Roger A. **Física II**: Termodinâmica e Ondas. São Paulo: Addison Wesley, 2008

ZANETIC, João. **Física também é cultura**. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1989

ZATTI, Vicente. **Autonomia e Educação em Immanuel Kant e Paulo Freire**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. Disponível em: http://www.pucrs.br/edipucrs/online/autonomia/autonomia.pdf. Último acesso em 27 de outubro de 2014