

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Filosofia

Denis Paulo Goldfarb

Imagens de natureza, imagens de ciência e
***Bildtheorien*: o papel da noção de *modelo* em**
Boltzmann

São Paulo
2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Filosofia

Denis Paulo Goldfarb

Imagens de natureza, imagens de ciência e
***Bildtheorien*: o papel da noção de *modelo* em**
Boltzmann

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia do Departamento de Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Orientador: Profº Drº Valter Alnis Bezerra.

São Paulo
2018

Folha de Aprovação

GOLDFARB, Denis Paulo. **Imagens de natureza, imagens de ciência e *Bildtheorien*: o papel da noção de *modelo* em Boltzmann.** São Paulo, 2018, 250 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Banca examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Dedico este tabalho a
Bernardo, meu pai
Minha esposa, Renata
Meus filhos, Ariel e Tales
...Amor imenso a todos.*

Agradecimentos

Agradeço ao Profº Drº Valter Alnis Bezerra pela orientação e pelo conhecimento que me proporcionou ao longo destes anos de formação pós-acadêmica em Filosofia da Ciência, e pelos carinho, erudição, brio e integridade com os quais conduziu-me por estes caminhos do saber: impulso para querermos sempre aprender mais.

Agradeço à Profª Drª Sonia Maria Dion pela orientação, pautada pela lisura e pelo esmero, ao longo de minha formação acadêmica em Filosofia, bem como pelo conhecimento concedido: este presente trabalho frutificou desta relação estimulante.

Agradeço ao Profº Drº Osvaldo Frota Pessoa Junior pelo carismático e anfitrioso apoio prestado e acolhimento à esta comunidade uspiana, bem como pelo conhecimento oferecido.

Agradeço a todo o pessoal da Secretaria do Departamento de Filosofia da USP pela ajuda sempre prestada, sobretudo no apoio e orientação aos assuntos burocráticos e técnicos.

Agradeço aos meus amigos de longa jornada. Por sorte, a vida me presenteou com muitos e inumeráveis bons amigos. Desta forma, não conseguiria citar todos aqui. Sei que os amigos verdadeiros saberão que falo deles, aqueles que me acompanham desde a infância, desde a adolescência, aqueles que foram agregando-se a este grupo ao longo de minhas formações acadêmicas e ao longo dos caminhos que se entrecruzam e amalgamam estas amizades: são todos parte essencial de minha formação como ser humano!

Um agradecimento metafísico-simbólico à τύχη por ter reunido ao longo de minha vida tantas pessoas queridas.

“Independentemente do que somos nos detalhes, nós, seres humanos, continuamos a ser componentes da natureza, um fragmento no grande afresco do cosmos, uma pequena peça entre tantas outras. ”

Carlo Rovelli (2018, p. 115)



“O saber não é o Absoluto, mas é ele próprio, como saber, absoluto. ”

Johann Gottlieb Fichte (1801, p. 264)

RESUMO

GOLDFARB, Denis Paulo. **Imagens de natureza, imagens de ciência e *Bildtheorien*: o papel da noção de *modelo* em Boltzmann.** São Paulo, 2018, 250 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

O presente trabalho pretende discutir o papel da noção de *modelo* dentro da *Bildtheorie*, ou concepção-*Bild*, de Boltzmann por meio de uma reconstrução parcial das visões sobre a Natureza e sobre a Ciência deste cientista-filósofo austríaco, em termos de *imagem científica de natureza* e *imagem filosófica de ciência*. Queremos destacar as contribuições epistemológicas de Boltzmann para a Física e para a Filosofia da Ciência a partir de sua concepção de mundo (*Weltanschauung*), baseadas em uma visão mecânico-estatística de natureza e em suas posturas filosóficas pautadas pelo pluralismo, pelo representacionalismo e pelo naturalismo (bem como sua defesa ao atomismo, ao método hipotético-dedutivo, a bem da criatividade científica). Consideramos estes os elementos fundamentais para a compreensão do papel da noção de *modelo* dentro da ecologia cognitiva global boltzmanniana, papel que se nos parece fundamental para a manutenção da coerência desta estrutura global.

Palavras-chave: Boltzmann, *Bildtheorie*, modelo, epistemologia, atomismo.

ABSTRACT

GOLDFARB, Denis Paulo. **Images of nature, images of science, and *Bildtheorien*: the role of the notion of *model* in Boltzmann**. São Paulo, 2018, 250 p. Thesis (Master Degree) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

The present work intends to discuss the role of the notion of the model within Boltzmann's *Bildtheorie*, or conception-*Bild*, by means of a partial reconstruction of the visions on the Nature and on the Science of this Austrian scientist-philosopher, in terms of scientific image of nature and philosophical image of science. We want to emphasize Boltzmann's epistemological contributions to Physics and to the Philosophy of Science from his world's conception (*Weltanschauung*), based on a mechanical-statistical view of nature and its philosophical positions guided by pluralism, representationalism and naturalism (as well as his defense of atomism, the hypothetical-deductive method, for the sake of scientific creativity). We consider these the fundamental elements for the understanding the role of the notion of the *model* within Boltzmann's global cognitive ecology, role that seems fundamental to the maintenance of the coherence of his global structure.

.

Key words: Boltzmann, model, *Bildtheorie*, epistemology, atomism.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE BOLTZMANN.....	16
3. DA IMAGEM DE NATUREZA E DA IMAGEM DE CIÊNCIA- PROLEGÔMENO.....	26
4. DA IMAGEM CIENTÍFICA DE NATUREZA EM BOLTZMANN.....	30
4.1. Do mecanicismo: breves distinções.....	31
4.2. Suposições diretivas da TCG.....	33
4.3. Suposições diretivas da TD.....	38
4.4. Objeções de Loschmidt e de Zermelo.....	44
4.5. Réplicas às objeções: rumo à uma visão Mecânico-Estatística.....	48
5. <i>INTERMISSIONE</i>	55
5.1. Do atomismo à predileção pelo discreto.....	56
5.2. Do evolucionismo e do naturalismo.....	84
5.3. Uma breve revisão do realismo em Boltzmann.....	89
6. DA IMAGEM FILOSÓFICA DE CIÊNCIA EM BOLTZMANN.....	98
6.1. Da defesa do atomismo.....	110
6.2. Sobre a tarefa da teoria científica e da falibilidade.....	119
6.3. Sobre a axiologia cognitiva da IFC boltzmanniana.....	128
6.4. Sobre a característica antidogmática da epistemologia de Boltzmann.....	131
6.5. Da Metafísica e da Filosofia.....	134
6.6. Das hipóteses aos critérios de escolha teórica.....	141
6.7. Do progresso em Boltzmann.....	151
7. O <i>MODELO</i> E SEUS DIVERSOS CONTEXTOS EM BOLTZMANN.....	159
7.1. Breve revisão filosófica do modelo em Ciência.....	169
7.2. Os tipos de modelo em Boltzmann.....	182
7.3. O papel da noção de modelo em Boltzmann.....	202
8. CONCLUSÕES.....	224
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	235
APÊNDICE – Linha de Universo: Contextualizando o Atomismo de Boltzmann.....	246
ANEXO 1 – Compilação da produção textual publicada por Boltzmann.....	247
ANEXO 2 – Um poema descrevendo a distribuição de Maxwell-Boltzmann.....	248
ANEXO 3 – Um poema de Boltzmann.....	249



Figura 1: Boltzmann ponderando sobre os princípios da Filosofia da Natureza, em charge de K. Prizbram (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 171)

1. INTRODUÇÃO

O ideal regulador desta investigação é discutirmos o papel da noção de *modelo*, em termos de *ferramenta epistêmica*, dentro da ecologia cognitiva global do cientista e filósofo da ciência Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906).

Para tanto, dividiremos esta estrutura, que chamamos de ecologia cognitiva global de Boltzmann, a bem de uma análise fina de suas componentes, em duas grandes subestruturas, a saber, sua *imagem científica de natureza* e sua *imagem filosófica de ciência*. Ao reconstruirmos as principais componentes de ambas as imagens em Boltzmann, entendemos, poderemos mostrar como o *conceito de modelo* de sua concepção-*Bild* torna-se um importante alicerce de seu sistema de pensamento científico.

Tal alicerce, por sua vez, impulsionou Boltzmann a atuar com sucesso nas seguintes frentes: a pedagógica, a científica e a metacientífica. Interessa-nos, sobremaneira, esta última – a metacientífica. Entendemos, pois, ser a partir do debate metacientífico que destacaremos as posições filosóficas da axiologia de Boltzmann, a fim de reconstruirmos sua epistemologia, que, por conseguinte, sustenta a importância cognitiva do emprego dos modelos na prática científica.

Não menos importante, obviamente, é entendermos quais os pressupostos ontológicos e os imperativos hipotéticos metodológicos com os quais Boltzmann esteve compromissado a partir de seu programa de pesquisa em Teoria Cinética dos Gases, pois, cremos, exista uma interdependência entre as componentes destes dois grandes subgrupos de imagens de natureza e científica.

Da reunião dos ingredientes de sua imagem científica de natureza e imagem filosófica de ciência que, por sua vez, conformam sua concepção-*Bild*, Boltzmann pôde trazer para a Física (e para a Ciência em geral), suas grandes contribuições. Citamos alguns exemplos dessas contribuições filosóficas em favor de um alargamento de um horizonte cognitivo científico: (a) o questionamento das contraindicações da atitude empirista em seu tempo que prescrevia seus critérios (e.g., a matematização descritiva da Física, o evitamento à referências inobserváveis nas hipóteses científicas, o evitamento às explicações causais) de demarcação da fluída fronteira entre o científico e o senso

comum e a metafísica, (b) a defesa de um pluralismo científico teórico e metodológico em termos heurísticos, a bem da criatividade científica e da metodologia hipotético-dedutiva (e, por conseguinte, de seu atomismo analógico formal, em termos de discretização de grandezas físicas); (c) inserir os ingredientes *irreversibilidade* e *indeterminismo* na descrição física dos fenômenos naturais via uma explicação probabilista da entropia ao unificar a Teoria Cinética dos Gases com a Termodinâmica; (d) a co-fundação da Mecânica Estatística.

Com o intento de analisarmos o papel do conceito de modelo dentro do pragmatismo da *Bildtheorie* de Boltzmann, conduziremos o leitor pelo seguinte percurso. Em um primeiro movimento (capítulo 2), apresentaremos uma breve biografia científico-acadêmica de Boltzmann. Veremos como Boltzmann teve uma carreira intensa e agitada – ‘como as moléculas de um gás’ – pela qual ele, além de uma profícua produção acadêmica, enveredou-se pelo confronto com seus pares acerca das revisões das bases da Física. Entendemos que os conflitos vivenciados por Boltzmann foram um importante estímulo para ele expor, desenvolver e sustentar suas posições científicas e filosóficas, as quais abarcam a importância cognitiva do papel do *modelo* em Boltzmann.

Num segundo movimento (capítulo 3), faremos uma breve descrição dos conceitos interdependentes de *imagem de natureza* e de *imagem de ciência* a partir de Paulo Abrantes a fim de situarmos o leitor ao contexto metodológico do presente trabalho para o propósito desta análise do papel da noção de *modelo* em Boltzmann.

No capítulo 4, procuramos reconstruir a imagem científica de natureza de Boltzmann em termos mecânico-estatísticos. Para tanto, confrontaremos os pressupostos ontológicos e os imperativos hipotéticos metodológicos dos dois grandes programas de pesquisa com os quais Boltzmann se envolveu profundamente, a saber: a Teoria Cinética dos Gases, programa ao qual Boltzmann esteve afiliado, e a Termodinâmica, sobretudo a vertente fenomenológica desta última. Notaremos que será das tensões entre estes dois grandes programas de pesquisa que Boltzmann fundamenta a sua imagem científica de natureza, que também será fundamental para a subsequente análise do papel da noção de *modelo* na concepção-*Bild* de Boltzmann.

Num quarto movimento, apresentaremos alguns elementos que consideramos intersectos das imagens científica de natureza com a filosófica de ciência em Boltzmann,

pois, como dissemos acima, entendemos que ambas as imagens sejam interdependentes. Procuramos discutir, no capítulo 5, sobre o atomismo analógico formal defendido por Boltzmann e a sua postura naturalista epistemológica para evidenciarmos estes elementos intersectos. Da discussão sobre o atomismo em Boltzmann, mostraremos que, de uma visão atomística de natureza, a abordagem boltzmanniana evolui para uma visão atomística instrumentalizada, a partir da qual Boltzmann labora seus argumentos em termos metodológicos e em termos epistemológicos. Apesar de alguns pontos polêmicos dessa argumentação, que não necessariamente traz consistência para sustentação de sua preferência metodológica por uma discretização das grandezas físicas via um atomismo enquanto *analogia aritmética*, será dessa discussão que poderemos configurar uma primeira roupagem ao conceito de modelo em Boltzmann. Do naturalismo, procuraremos fundamentar a postura representacionista de Boltzmann que será igualmente importante para compreendermos o papel do conceito de modelo em sua *Bildtheorie*. Por fim, ainda neste capítulo 5, a partir deste balanço entre uma posição realista e uma posição instrumentalista, concernente, sobretudo, às transformações de sua visão atomística, mostramos como não é trivial tentar classificar o pensamento boltzmanniano dentro de categorias filosóficas, especialmente no que diz respeito ao realismo.

Num quinto movimento, aprofundar-nos-emos nas concepções metacientíficas de Boltzmann ao analisarmos sua imagem filosófica de ciência no capítulo 6. A partir de uma reconstrução parcial das principais características de sua imagem filosófica de ciência, a saber, seu pluralismo, seu antidogmatismo, além dos já referidos naturalismo e representacionismo, e dos principais valores cognitivos de sua axiologia, procuraremos configurar a estrutura da epistemologia de Boltzmann. Neste capítulo, retomaremos a defesa de Boltzmann ao atomismo. Falaremos sobre as suas concepções acerca do papel das teorias científicas frente às discordâncias com seus pares, sobre suas posições acerca da Filosofia e da Metafísica, sobre os critérios de seleção teóricos embasados em sua axiologia e sobre suas ideias de progresso do conhecimento. Será da conjunção destes elementos e dos analisados nos capítulos anteriores que poderemos partir para um exame da importância dos modelos na concepção de Boltzmann.

No capítulo 7, sexto e último movimento antes de chegarmos à conclusão deste trabalho, portanto, apresentaremos ao leitor uma multicontextualização do conceito de

modelo em Ciências. Começaremos por uma contextualização histórica do papel do *modelo* nos idos do século XIX e, em seguida, faremos uma breve revisão filosófica do papel dos modelos como empregados pelos cientistas a partir de uma abordagem pragmática. Isto posto, analisaremos o texto escrito por Boltzmann acerca do verbete *Modelo* para a *Encyclopaedia Britannica*, em 1902, no qual Boltzmann procura sintetizar as acepções e empregos dos modelos e evidenciar o indispensável emprego destes para o fazer científico. Por fim, discutiremos, propriamente, o papel do conceito de modelo dentro da ecologia global de Boltzmann em uma perspectiva cognitiva, em termos de ferramenta epistêmica, desde o poder explicativo dos modelos até a sua acepção epistemológica que aproxima o sujeito cognitivo aos seus limites, ou seja, até os constritores do saber humano. Com isso procuraremos mostrar que, a despeito de algumas inconsistências do argumento da preferência de Boltzmann pela defesa da sua abordagem atomística, o papel do conceito de modelo garante uma forte coerência interna ao pensamento de Boltzmann, interligando as principais componentes de sua imagem científica de natureza e sua imagem filosófica de ciência.





Figura 2: Boltzmann aos 24 anos, quando foi laureado, em 1868, com o título *venia legendi*, que lhe dava o direito a ser professor titular (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 7)

2. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE BOLZTMANN

“Vejo as coisas subjetivamente coloridas através de meus óculos.”
Boltzmann (1899a, p. 100)

“A física estatística de hoje, incluindo a estatística quântica, é inconcebível sem o trabalho de Boltzmann.”
Paul K. Feyerabend (1972, p. 336)

“Um homem que foi superior a todos nós em inteligência e na clareza de sua ciência.”
Ostwald se referindo a Boltzmann (apud Feyerabend, 1972, p. 334)

O austríaco Ludwig Edward Boltzmann é um dos cientistas-filósofos mais importantes da segunda metade do século XIX. De acordo com Feyerabend, “Física e Filosofia estão inseparavelmente ligados no trabalho de Boltzmann” (1972, p. 334) e, segundo Videira,

sem sombra de dúvida, Boltzmann merece ser integrado ao grupo de cientistas alemães conhecidos pela rubrica de cientistas-filósofos. Outros exemplos conhecidos são o próprio Einstein, Heinrich Hertz, Hermann von Helmholtz, Werner Heisenberg e Wolfgang Pauli, para citar apenas alguns nomes (2004, p. 7).

Na Física, Boltzmann, além de lutar pelo reconhecimento científico e institucional da Física Teórica, desenvolveu trabalhos em diversas disciplinas desta grande área do conhecimento humano, a saber, em: eletricidade, mecânica, ótica, acústica e, principalmente, termodinâmica e teoria cinética. Junto a James Clerk Maxwell (1831-1879) e a Josiah Willard Gibbs (1839-1903), Boltzmann, em relação a sua produção acadêmica¹, é considerado o mais profícuo dentre os fundadores da Mecânica Estatística². A partir de seu trabalho em Teoria Cinética dos Gases, Boltzmann legou à ciência a sua maior contribuição: “a introdução do conceito de probabilidade como ingrediente

¹ A diversidade de assuntos tratados por Boltzmann pode ser visualizada por intermédio de um levantamento estatístico, apresentado por Dahmen (2006), de suas publicações. Vide Anexo.

² Segundo Flamm (1983, p. 264), “na verdade, o nome da mecânica estatística foi cunhado pelo físico americano J. W. Gibbs. Gibbs trabalhou independentemente de Boltzmann neste campo [...]”. Outra diferença: “Boltzmann foi o primeiro a dar a uma lei fundamental da Física [a termodinâmica] uma interpretação estatística”, ou seja, de acordo com a acepção atomística de Boltzmann, pode-se dizer que “para sistemas físicos de grandes dimensões, ainda é possível fazer previsões estatísticas para o estado físico do sistema, enquanto que é impossível seguir o movimento individual de cada molécula em detalhe”.

fundamental para a descrição da natureza” (DAHMEN, 2006, p. 283)³. Ilya Prigogine credita a Boltzmann mudanças profundas na Física, que refletem-se até os dias de hoje com maior intensidade, e que foram, aos poucos, provocando uma contraposição ao determinismo clássico newtoniano (Cf. PRIGOGINE, 1996, p. 10).

Como filósofo, encaminhou-se para o debate epistemológico. Segundo Videira (2006, p. 273), “o seu estilo consistia em sustentar os seus pontos de vista sobre os fundamentos da ciência contra críticas que lhe opunham cientistas e filósofos”, críticas essas que Boltzmann atribuía a uma compreensão errada de seus pares acerca do que fosse uma teoria científica. Boltzmann desenvolve um rico diálogo com sua época, pois muitos cientistas contemporâneos também atuaram de maneira semelhante, como, por exemplo: Pierre Duhem (1861-1916), Henri Poincaré (1854-1912), Ernest Mach (1838-1916), Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), Wilhelm Ostwald (1853-1932), Georg Helm (1851-1923), Gustav Kirchhoff (1824-1887) e Hermann von Helmholtz (1821-1894). Como tais importantes cientistas, Boltzmann enveredou pelo debate filosófico sem abandonar a produção científica. Era epistemólogo em suas palestras, aulas e nos debates com seus pares. Boltzmann não era sistemático e boa parte dos seus escritos filosóficos encontram-se incorporados a seus trabalhos científicos. Afirmava que não poderia ser um físico teórico autêntico caso não se interessasse em investigar o conceito de teoria (Cf. VIDEIRA, 1994, p. 461). Entretanto, Boltzmann, não procurou elaborar uma filosofia sistemática da Física, tampouco uma Filosofia da Ciência em geral (VIDEIRA, 2006, p. 273). “Ele concebeu a Física como parte de um confronto sobre visões de mundo sem jamais sucumbir a qualquer dogmatismo” (Renn, 2008, p. 23) e seu principal alvo era o debate crítico na arena científico-filosófica.

³ Ainda, segundo Dahmen (2006, p. 291), certos resultados dos trabalhos de Boltzmann em Teoria Cinética dos Gases (a discretização de grandezas relacionadas com a matéria, com o espaço e com o tempo) podem ser interpretados “como uma presciência do caráter quântico da natureza”, ou seja, o formalismo matemático do modelo teórico boltzmanniano preconizava que os cálculos diferenciais e integrais baseados no discreto seriam representações simbólicas de uma realidade descontínua. Suas ideias também são precursoras de outros ramos da Ciência, a saber: da física de não equilíbrio, das matemáticas do caos e da instabilidade aos estudos de fenômenos associados à auto-organização e às estruturas dissipativas (Cf. PRIGOGINE, 1996, p.11). Há especulações acerca de seus trabalhos em mecânica serem também precursores da teoria da relatividade de Einstein (Cf. DAHMEN, 2006, p. 290; FLAMM, 2008). De acordo com o próprio Einstein, seu trabalho acerca do movimento browniano teve Boltzmann como inspirador. Einstein pretendeu provar a realidade e o tamanho de certos átomos utilizando o postulado de Boltzmann acerca das flutuações moleculares, derivado da Mecânica Estatística. Ademais, a Filosofia da Ciência defendida por Einstein em seus últimos anos coincide com as ideias de Boltzmann (Cf. FLAMM, 1983, p. 267).

Ademais, Boltzmann foi um excelente docente. Como assevera Cercignani, “ele nasceu professor e suas aulas eram claras como cristal, com graça, cheias de simulações em sua narrativa” (1998, p. 37). Ao longo de sua carreira acadêmica, ministrou aulas de Matemática, Física Experimental, Física Teórica e *Naturphilosophie*. Foi professor em diversas universidades, como, por exemplo, em Viena, em Graz, em Munique e em Leipzig.

Entenderemos mais claramente o encadeamento entre o fazer científico de Boltzmann e sua relação com a *Naturphilosophie* ao apresentarmos um resumo do seu trajeto pelas diversas universidades nas quais ele lecionou.

De 1866 até 1869, logo após seu doutoramento, Boltzmann atuou como professor assistente em Viena. Nesse período, Boltzmann, começa a trabalhar com Teoria Cinética dos Gases (TCG) e descobre a energia de distribuição para os gases (1866). Em 1868, com apenas 24 anos de idade, se lhe é concedido o título de *venia legendi*, que lhe dava o direito a ser professor titular.

Em seguida, de 1869 até 1873, assumiu a cátedra de Físico-Matemática (*viz.* Física Teórica) na universidade de Graz. Em 1871 Boltzmann “formulou a hipótese ergódica, que engendrou uma base para a moderna versão da Física Estatística” (RAJASEKAR & ATHAVAN, 2006, p. 3). Em 1872, ele desenvolve a sua famosa equação de transporte – descrevendo a distribuição esperada de partículas no espaço de fases – além de publicar, em um de seus mais importantes artigos (*Novas pesquisas sobre o equilíbrio térmico das moléculas de gás*), o *teorema-H*, a partir do qual Boltzmann introduz a teoria das probabilidades no contexto da TCG, fornecendo a primeira expressão probabilística para a Segunda Lei da Termodinâmica aplicada aos gases ideais; estabelecendo uma conexão entre a Termodinâmica e a Mecânica e, por conseguinte, “foi capaz de derivar uma prova da irreversibilidade dos fenômenos macroscópicos” (CERCIGNANI, 1998, p. 7) a partir de fenômenos microscópicos.

Por conta do rigor do formalismo matemático apresentado por Boltzmann em seu artigo de 1872, que contribuiu excepcionalmente para a solução de diversos problemas relacionados com a mecânica analítica e com o cálculo probabilístico, atende, em 1873, ao convite da universidade Viena, onde fica, até 1876, encarregando-se da cátedra de Matemática. Em meio a este período, Boltzmann passa a sofrer objeções por parte de seu

amigo, o físico austríaco Johan Joseph Loschmidt (1821-1895), que não aceitava a ideia de que a irreversibilidade pudesse ser aplicada às leis físicas mecanicistas.⁴

Em 1876, Boltzmann retorna à Graz, assumindo a cadeira de Física Experimental, até 1890. Em 1877 publica o seu artigo, intitulado *Sobre a relação da Segunda Lei da teoria mecânica do calor e o cálculo de probabilidade concernente aos teoremas sobre o equilíbrio do calor*, no qual, ao responder às objeções anteriores de Loschmidt,

Boltzmann encontra assim um modo de estabelecer uma diferença entre os estados do sistema [relacionando-os com a entropia] a partir da probabilidade, de tal maneira que podemos obter um sentido privilegiado dos acontecimentos a partir das interações mecânicas reversíveis [...], em que consegue estabelecer formalmente a probabilidade dos estados do sistema (AURANI, 2015, p. 83).

Desta forma, Boltzmann pôde derivar a Segunda Lei da Termodinâmica a partir dos princípios da Mecânica, somados à noção de probabilidade, a despeito das resistências dos cientistas mais céticos em aceitarem o fato de que os (hipotéticos) átomos determinariam os comportamentos e as propriedades das substâncias macroscópicas. Aliás, Boltzmann demonstrou como a entropia deveria aumentar de uma forma geral quando aplicada a sistemas físicos isolados e como tal comportamento irreversível seguir-se-ia da simetria temporal das leis mecânicas.

Além deste trabalho seminal publicado em 1877, Boltzmann também publica o artigo *Fundamentos probabilísticos da teoria do calor*, em que aprofunda-se na interpretação matemática do conceito de entropia enquanto uma medida bem definida da “desordem” dos átomos – ideia, por sua vez, iniciada naquele artigo de 1872 –, que viria,

⁴ Loschmidt propõe, contra Boltzmann, a objeção conhecida como o *paradoxo da reversibilidade*, em que os possíveis estados de um sistema físico fechado não teriam uma direção privilegiada no tempo. Para Loschmidt, que era um atomista e um mecanicista clássico, todos os acontecimentos em um sistema físico deveriam ocorrer ao inverso quando as velocidades de todas as componentes desse sistema são igualmente invertidas, o que impossibilitaria alguém de deduzir a taxa de crescimento da entropia a partir de leis reversíveis da Mecânica (Cf. AURANI, 2015, p. 82). Vinte anos após a objeção de Loschmidt, Boltzmann enfrenta nova objeção à sua visão-mecânico-estatística, desta vez elaborada por Ernst Zermelo (1871-1953), para tentar refutar que condições de irreversibilidade dos sistemas físicos derivassem das leis da mecânica clássica, baseado no *teorema da recorrência* de Poincaré, qual seja:

“Num sistema de massas pontuais, sob a ação de forças que só dependem da posição no espaço, todo estado de movimento (caracterizado pelas posições e pelas velocidades) deve retornar ao seu estado inicial, com uma certa frequência, senão exatamente, pelo menos com um grau arbitrário de aproximação, desde que as coordenadas de posição e as velocidades não possam ir ao infinito” (Cf. AURANI, 2015, p. 92).

Essas duas objeções serão discutidas mais detidamente na seção 4.4 do capítulo seguinte, pois elas foram cruciais para reforçar a visão mecânico-estatística de natureza em Boltzmann.

posteriormente, a ser chamada por Einstein de o *Princípio de Boltzmann* (Cf. CERCIGNANI, 1998, p. 18).

Após uma carreira acadêmica profícua, além da morte de seu filho primogênito em 1889, Boltzmann passou a acumular desavenças com seus pares em Graz. Em 1890, isto posto, Boltzmann transfere-se para Munique e assume a cadeira de Física Teórica naquela universidade em um momento em que já alçava a reputação de um dos melhores físicos teóricos de seu tempo. Em Munique, Boltzmann finalmente passa a lecionar na área que lhe era mais cara, a da Física Teórica propriamente dita, além de Matemática, e, neste período, passa a desenvolver modelos mecânicos cinemáticos para ilustrar conceitos teóricos, como, por exemplo, a teoria eletromagnética de Maxwell (conferir capítulo 7). Neste período em Graz, em 1892, Boltzmann passa a queixar-se de sua saúde.

(Os problemas de saúde que acometeram Boltzmann vão desde aqueles de ordem emocional aos de ordem fisiológica. Segundo Blackmore (1995, p. 4): “suas emoções nunca foram completamente estáveis, mas, a partir de meados de 1890, os picos e desfiladeiros [emocionais] seriam sempre extremos”. Ademais, Boltzmann desenvolveu uma progressiva doença em seus olhos que lhe incapacitava visualmente. Segundo Flamm (1973, p. 12-13):

A saúde de Boltzmann sofrera com as constantes disputas com seus oponentes científicos. Seus olhos deterioraram-se à um extremo que ele tinha problemas para ler. Ele empregara uma mulher para ler artigos científicos a ele e sua esposa escrevia seus manuscritos. Além disso, ele sofria de fortes ataques de asma durante a noite e, presumivelmente, de angina *pectoris*. De mais a mais, ele era acometido de violentas dores de cabeça devido ao excesso de trabalho.

O período em Munique durou até 1894, ano em que Boltzmann recebe o título de *PhD honoris causa* da Universidade de Oxford, aliás, ano em que mais uma vez retorna à Viena quando é efetivado, com regalias, como professor desta universidade e substitui aquele que fora seu orientador de doutorado, Josef Stefan (1835-1893), como professor de Física Teórica.

Em 1895, Mach assume a cadeira de Filosofia e História da Ciência em Viena, advogando uma postura “violentamente hostil para com a imagem atômica de natureza” (FLAMM, p. 26) e passa a rivalizar pungentemente com os objetos e objetivos cognitivos,

sejam ontológicos, epistemológicos e metodológicos de Boltzmann, marcando anos de conflitos intelectuais.⁵

Neste mesmo ano ocorreu mais um dos encontros anuais da Sociedade dos Cientistas e Médicos Germânicos (*Naturforscherversammlung*)⁶ na cidade setentrional alemã de Lübeck. Um fato marcante desse encontro em Lübeck foi o famoso debate irrompido entre os energetistas, ora representados por Ostwald e Helm, e os atomistas, representados por Boltzmann, Max Karl Ernst Ludwig Planck⁷ (1858-1947), Felix Klein (1849-1925), Walther Nerst (1864-1941) e Arthur von Oettingen (1836-1920), debate em que energetistas e atomistas reuniram seus argumentos para defenderem suas respectivas imagens de natureza e de ciência, numa contenda que visava definir qual tradição de pesquisa, afinal, seria a mais racional e progressiva e que merecesse permanecer no zênite do firmamento da Ciência. De acordo com Lindley (2001, p. 126):

Em Lübeck [...], Boltzmann e Klein tiveram de defender a própria essência da teoria cinética contra oponentes que simplesmente não acreditavam na existência dos átomos, que viam o trabalho de Boltzmann como uma elaborada especulação matemática fundada em puras suposições e que, outrossim, não permitiriam a Boltzmann o privilégio de pensar que suas teorias constituiriam um respeitável meio de investigação científica. Ostwald e Helm estavam lá não para debaterem os méritos da teoria cinética mas para juntos negá-la.

Boltzmann conseguiu não só superar as críticas dos energetistas, naquele momento em Lübeck, mas também contribuiu para reforçar a condição para a unificação entre a Teoria Cinética e a Termodinâmica, um desejo que já se fazia presente desde suas primeiras publicações científicas, em 1866.

Entre 1900 e 1902, depois de muito sentir-se acuado em meio aos conflitos em Viena, Boltzmann transfere-se para a Universidade de Leipzig, ocupando a cátedra da

⁵ Justamente a partir desses conflitos intelectuais, ora violentos, se fora permitida a ocorrência de um sem número de debates epistemológicos essenciais para os posteriores desenvolvimentos, pela própria comunidade científica como pela Filosofia da Ciência, acerca do entendimento *da dinâmica do funcionamento* do fazer científico e *do arranjo dos objetos/valores/objetivos cognitivos* (que, por conseguinte, ingerem-se sobre as *imagens filosóficas de ciência* e *imagens científicas de natureza* dos cientistas e dos filósofos) dentro do fazer científico, propriamente dito.

⁶ Esse tradicional encontro, que sucedia desde 1822, com o intuito de divulgar o conhecimento científico arrolado, reunia pesquisadores germanófonos das ciências naturais das mais variadas áreas (e.g., da Física à Medicina).

⁷ Planck inicialmente trabalhou com a tradição Termodinâmica e foi um dos críticos de Boltzmann. Descreve Elkana (1974, p. 276-277) que ele despendeu 15 anos de sua carreira tentando reduzir toda a Física às duas leis da Termodinâmica, mas percebeu que a abordagem probabilista do atomismo boltzmanniano se tornou aceitável e racional frente à dificuldade que a Termodinâmica se lhe apresentava para a resolução do problema (do corpo negro) relacionado com os processos de absorção e emissão de radiação.

Física Teórica. Por fim, acaba retornando à Viena para assumir a cadeira que fora de Ernest Mach como catedrático de Filosofia da Natureza (Cf. VIDEIRA, 1994, p. 461), pois este último aposentou-se por problemas de saúde.

Em meio a estas mudanças, os conflitos intelectuais prosseguiram e piorava a condição de saúde (psicossomática) de Boltzmann. Vide um trecho de um poema premonitório deixado por Boltzmann poucos anos antes de sua morte: “*Com tormento que eu prefiro não lembrar / Minha alma finalmente escapou do meu corpo mortal. / Ascendendo através do espaço! Que flutuar feliz / Para aquele que sofreu tal angústia e dor*” (BOLTZMANN, 1992, p. 972-973). Boltzmann veio a falecer em 1906, quando suicidou-se em Duino, num vilarejo próximo a Trieste às margens do Mar Adriático.



Figura 3: *A view of Duino with new and old castle.* Gravura representando uma paisagem de Duino. (fonte: SELB, August. *Memorie di un viaggio pittorico nel littorale austriaco.* Trieste: A.A. Tischbein, 1842.)

Como procuramos mostrar ao apresentar resumidamente acima os principais períodos e realizações da carreira de Boltzmann, notamos que o cientista-filósofo austríaco teve uma vida agitada como as supostas partículas de gás com as quais ele

lidava, não obstante, tal fato fora-lhe uma vantagem. “Como moléculas, ele nunca se fixou muito tempo em nenhum lugar” (RAJASEKAR & ATHAVAN, 2006, p. 2), posto que as suas constantes trocas de emprego e de cidades lhe renderam um bom conhecimento do mundo científico da época (Cf. O’CONNOR & ROBERTSON, 1998). As várias mudanças enriqueceram Boltzmann intelectualmente e culturalmente. Este fato, aliás, contribuiu para ele tornar-se um divulgador das ciências e um promulgador de ideias para o público em geral, tendo lançado em 1905 seu livro intitulado *Populäre Schriften*, em que apresenta em forma de conferências (proferidas entre 1873 e 1905 e reunidas nesta edição), sem rigores formais da Física, suas concepções acerca do fazer científico.

Numa época de transição do século XIX para o século XX, de mais a mais, procurou formar a opinião pública em relação às ciências a fim de divulgar inovações tecnológicas⁸. Foi um grande admirador de Maxwell: ajudou a popularizar no continente europeu – mérito que divide com Hertz – os trabalhos acerca do eletromagnetismo, escrevendo livros, ministrando palestras e desenvolvendo experimentos que ajudaram a corroborar a teoria de Maxwell. Foi Boltzmann o tradutor do trabalho de Maxwell para a língua alemã (Cf. BLACKMORE, 1995, p. 21).

Na qualidade de grande polemista e debatedor, tomou parte em favor da teoria evolucionista de Charles Darwin (1809-1882), teoria que deveras inquietou os valores socioculturais e científicos do final do século XIX. Por sua vez, causou grande impacto no pensamento metacientífico boltzmanniano. Boltzmann, destarte, incorporou tais ideias em sua teoria do conhecimento. Podemos dizer que o evolucionismo tornou-se um dos pilares de sua epistemologia (como poderemos conferir nos próximos capítulos).

Boltzmann foi um pensador original cujas ideias, de acordo com as palavras de seu neto, Dieter Flamm, estavam “à frente de seu tempo” (FLAMM, 1983, p. 273), e ainda permanecem modernas, motivo que contribuiu para que ele sofresse críticas e fosse incompreendido pelos seus pares⁹. A originalidade e a atualidade de muitas das ideias

⁸ Uma das principais inovações tecnológicas que causavam admiração em Boltzmann era a emergente aviação. Boltzmann acompanhou de perto os experimentos do engenheiro Otto Lilienthal (1848-1896), um dos pioneiros da aviação, escrevendo sobre o tema (Cf. BOLTZMANN, 1894). Estudou experimentalmente, ademais, outras novas tecnologias, como o telefone e a possibilidade do telégrafo sem fio (Cf. DAHMEN, 2006, p. 291).

⁹ Segundo Dahmen (2006, p. 288-289), “a incompreensão para com o trabalho de Boltzmann deve-se à perspectiva revolucionária de suas ideias. Boltzmann era um pensador altamente original e apenas recentemente seu trabalho passou a ser melhor apreciado”.

metacientíficas e filosóficas de Boltzmann podem ser salientadas quando elaborarmos o pano de fundo constitutivo de suas respectivas *imagem científica de natureza* e *imagem filosófica de ciência*. Trataremos, desta maneira, no próximo capítulo, de reconstruir tais imagens para que possamos vir a compreender, mais adiante, quais os papéis dos modelos dentro da ecologia cognitiva global boltzmanniana.





Figura 4: Boltzmann aos 31 anos, quando era professor em Viena (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 11)

3. DA IMAGEM DE NATUREZA E DA IMAGEM DE CIÊNCIA - PROLEGÔMENO

*“A ciência é um diálogo entre o homem e a natureza.”
Ilya Prigogine (2009, p. 98)*

Podemos considerar que o fazer científico – multidimensional que é – inscreve-se na intersecção de diferentes registros de pensamento, sendo, desta forma, balizado por inúmeros tipos de fatores condicionantes. É proveitoso e esclarecedor considerar tais elementos constritores do fazer científico como constituindo dois grandes tipos de estruturas, quais sejam, as *imagens científicas de natureza* e as *imagens filosóficas de ciência*. Tais imagens existem atreladas mutuamente, ou seja, a partir de uma certa visão sobre o funcionamento da natureza, os cientistas estruturam seus valores cognitivos que, por sua vez, norteiam a forma como elaboram seus imperativos hipotéticos metodológicos e os rumos da pesquisa científica. De mais a mais, ambas as supracitadas imagens dependem de um pano de fundo cultural mais amplo. Via de regra, estas imagens existem associadas a determinadas visões de mundo de uma época – *Zeitgeist* – que, por seu turno, relacionam-se com condições socioculturais, como posições políticas e religiosas, e não apenas com assuntos internos à própria ciência.

No presente estudo do pensamento metacientífico boltzmanniano, adaptaremos as noções de imagens de natureza e de ciência, tais como empregadas por Paulo Abrantes.

Imagens de natureza são idealizações¹⁰ acerca das entidades (bem como das suas propriedades e da forma como elas relacionam-se) que compõem a natureza. Isto posto,

¹⁰ A definição de idealização, segundo a Teoria da Ciência Idealizacional de Poznań (ITS, na sigla em inglês, *The Poznań Idealizational Theory of the Science*), liderada por Leszek Nowak, Jerzy Kmita e Jerzy Topolski, na cidade polonesa de Poznań, que é a sede do Instituto de Filosofia da Universidade Adam Mickiewicz, pode ser resumida como se segue. Pelo fato de a realidade ser estruturada hierarquicamente entre níveis de tipos naturais que se inter-relacionam (essencialismo), a pesquisa científica procura capturar a parte mais essencial da estrutura do real que condiz com o interesse de uma dada tradição. O ato de idealização, portanto, é o procedimento em que modelos são construídos a partir desse recorte do real e, a partir desses modelos, declarações acerca de inobserváveis são idealizadas. De acordo com a ITS, as idealizações não são niveladas ao conceito de abstração: idealizações são distorções do real a partir das observações quando um agente (um cientista, um grupo de cientistas) foca-se no recorte primário que faz do real e se limita a fazer proposições contrafactuais sobre estruturas secundárias a esse recorte. As distorções, por sua vez, podem ser minimizadas conforme paulatinamente se refina (processo de

podemos considerar que sejam “[...] ontologias assistemáticas que orientam a atividade científica criadora”, que tanto resultam das próprias teorias científicas elaboradas ao longo da história, mas, sobretudo, decorrem da relação destas com a experiência e as crenças do senso comum e “da linguagem ordinária” (ABRANTES, 1998, p. 13). Logo, são dependentes de um contexto muito amplo e intrincado de inúmeras e longevas relações, pois, de forma independente de ascensões e ocasos de teorias científicas, as imagens de natureza podem perdurar, num ritmo muito diverso daquelas, e serem compartilhadas por diversas teorias tanto historicamente dispersas quanto concomitantes. As concepções acerca da natureza, em resumo, são tanto representações estratificadas, que passam pelo filtro consciente do entendimento humano e que guardam algum grau de correspondência (similitude) com os objetos do mundo que se nos cerca, quanto sistemas categoriais como amplos arcabouços do processo de organização e classificação do conhecimento de certo grupo de entidades.

Por seu turno, as imagens de ciência dizem respeito às concepções que elaboramos acerca da atividade científica (p.e., quais as condições de possibilidade, finalidades, métodos e limites da prática científica, quais os critérios de cientificidade, quais as concepções de conhecimento, etc.), dentre as quais incluímos as metodologias empregadas e as axiologias (conjuntos de valores cognitivos favorecidos) praticadas pelos cientistas e que, ademais, servem de critério para a aceitabilidade de teorias e para a seleção de imagens de natureza que são admitidas como pressupostos ontológicos das próprias teorias (p.e., a aceitação ou não do uso de entidades inobserváveis em teorias) (ABRANTES, p. 16-17). Portanto, a identificação dos elementos de cada imagem, seja de natureza, seja de ciência - além das condições de ligação entre tais imagens -, permite-nos reconstruir a identidade própria de uma linha de pensamento científico, desde a de um cientista em particular até a abordagem de uma comunidade científica.

Para os propósitos de nossa análise, particularizamos o registro de imagem de ciência como filosófico e o de imagem de natureza como científico, diferentemente de Paulo Abrantes, sem, contudo, perder de vista a significação original dos termos. Como definidos acima, estamos, no presente trabalho, utilizando os termos *imagem filosófica*

concretização) o modelo acrescentando novos elementos de estruturas secundárias. Ademais, o problema da idealização está conectado com a noção de similitude legiforme e de contrafactualidade, ou seja, as leis científicas são distinguíveis pela sua capacidade de suportar contrafactuais diferentemente das generalizações acidentais (Cf. NIINILUOTO, 1986, p. 275; NORKUS, 2012, p. 297-298).

de ciência e imagem científica de natureza, pois queremos representar, respectivamente, que uma IFC sugere um olhar metacientífico sobre o fazer científico e que uma ICN revela o que há por trás de um olhar científico sobre a natureza.

Boltzmann foi, como assinalamos no capítulo anterior, dentre muitos cientistas-filósofos contemporâneos seus, um pensador preocupado em discutir questões ontológicas, metodológicas e epistemológicas decorrentes tanto de seu próprio trabalho científico como daqueles desenvolvidos pelos seus pares. A partir daí Boltzmann esteve envolvido em debates científicos e filosóficos por vezes acirrados e que vieram a definir os rumos da Física Contemporânea. Com isso, de mais a mais, ele pôde igualmente oferecer contribuições importantes para a Filosofia da Ciência.

Nos capítulos seguintes pretendemos apresentar as principais componentes das ICN (cap. 4) e IFC (cap. 6) relacionadas ao pensamento do cientista-filósofo Ludwig Boltzmann. A partir da distinção destas imagens é que poderemos reconstruir a estrutura do núcleo duro de sua epistemologia e, por conseguinte, compreendermos como Boltzmann desenvolve sua idiossincrática visão metacientífica e a articula com seu trabalho em Física.





Figura 5: Boltzmann aos 40 anos, quando era professor em Graz (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 19)

4. DA IMAGEM CIENTÍFICA DE NATUREZA EM BOLTZMANN

*“A poesia do invisível, a poesia das infinitas imprevisibilidades,
assim como a poesia do nada,
nascem de um poeta que não nutre qualquer dúvida quanto ao caráter físico do mundo.”
Italo Calvino, ao se referir ao atomista Lucrecio (2002, p. 21.)*

*“Reconhecer as limitações do pensamento [...] não tem nada a ver com a ideia de que existe um limite
para o conhecimento”
Nadine De Courtenay (2002, p. 113-114)*

Em meio às teses científicas desenvolvidas por Boltzmann, podemos identificar quais as imagens específicas que são edificadas a partir de suas afirmações substantivas acerca do mundo. Um dos principais elementos de sua ICN que saltam aos olhos a partir do trabalho de Boltzmann em Física é aquele mecânico-estatístico.

Para entendermos como se dá a construção dessa imagem mecânico-estatística, seria ideal elaborarmos uma linha de raciocínio encadeando os principais elementos da ICN de Boltzmann, quais sejam, o mecanicismo, o materialismo, o probabilismo e o atomismo. Muitos destes elementos podem ser arrolados ao analisarmos os pressupostos dos programas de pesquisa com os quais Boltzmann esteve envolvido, como a Teoria Cinética dos Gases (TCG) e a Mecânica Estatística (ME). De mais a mais, trataremos de analisar as tensões entre a TCG e a Termodinâmica (TD) que, por sua vez, favoreceram o amadurecimento da visão mecânico-estatística de natureza de Boltzmann. Estas tensões, via objeções provenientes tanto do programa em TCG como da TD (e de programas de pesquisa variantes da TD, como o Energetismo), pois, foram cruciais para que Boltzmann consolidasse suas posições científica e filosófica.

Começemos, pois, com uma breve revisão do mecanicismo para que possamos pavimentar a via pela qual Boltzmann rumou em direção à sua visão mecânico-estatística de natureza.

4.1. Do mecanicismo: breves distinções

“O hábito de pensar mecanicamente é de suprema utilidade em todas as circunstâncias da vida prática e tem um efeito de formação e de instrução para a totalidade da vida intelectual.”
Boltzmann (1900, p. 128)

Podemos dizer que uma imagem de natureza de raízes mecanicistas constitui a base de sua linha de pesquisa em TCG e norteia seu pensamento epistemológico e filosófico. Embora elementos desta imagem de raízes mecanicistas remontem à antiguidade¹¹, ela tem uma relevância especial para a ciência moderna a partir do século XVII, que estimulou inúmeros programas de pesquisa nos séculos XVIII e XIX, dentre os quais o programa de pesquisa da TCG, propriamente supracitado.

Segundo Dijksterhuis (1986, p. 499), a mecânica clássica “é a doutrina do movimento dos corpos materiais”, i.e., aquela doutrina filosófica cujo pressuposto ontológico cardinal identifica a realidade fundamental do universo com o movimento de uma substância material¹², aliás, é a doutrina-base de variantes do mecanicismo.

¹¹ Dijksterhuis (Cf. 1986, p. 4-5) adapta uma periodização histórica tripartida para as ciências físicas: a antiguidade, o clássico e o moderno. O primeiro período, aquele chamado antigo, inicia-se com Tales de Mileto, por volta de 600 a.C. e vai até 1687, com a publicação dos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton (1643-1727), marco do período clássico. Por sua vez, o período chamado moderno inicia-se em 1900 com o desenvolvimento da teoria quântica a partir de Planck. O período antigo está associado às abordagens aristotélicas e de Arquimedes; o período clássico relaciona-se com o nome de Newton, como já citamos, e o período moderno vincula-se às teorias relativísticas e quântica. A diferença cardinal que marca a divisa entre o mecanicismo da antiguidade para o mecanicismo chamado clássico – e que, ademais, também é característica marcante da Física Moderna – diz respeito ao tratamento matemático acerca dos movimentos dos corpos materiais. O método matemático, a partir desse período, torna-se a linguagem fundamental para descrever os fenômenos mecânicos; desta forma a

“Mecânica Clássica é matemática, não só na medida em que faz uso de termos e métodos matemáticos para expressar de forma abreviada a argumentação que poderia, se necessário, também ser expressa na linguagem cotidiana; mas também é muito mais restritiva no sentido de que seus conceitos fundamentais são matemáticos, e que a própria mecânica é uma matemática” (DIJKSTERHUIS, 1986, p. 499).

Por outro lado, Westfall considera que, a partir do nascimento da Ciência Moderna, dois grandes *thémata* coexistiram em tensão, quais sejam, a visão platônica-pitagórica de que a natureza seguiria certa ordem matemática subjacente e que o objetivo da Ciência seria de descobrir uma exata descrição desta ordem, e o mecanicismo, que procurava explicar o mundo por meio de analogias mecânicas (Cf. WESTFALL, 1997, p. 1-2). Essa tensão identificada por Westfall, no contexto do presente trabalho, pode ser ilustrada por meio do conflito entre a abordagem da fenomenologia matemática da TD e o mecanicismo da TCG, uma tensão entre o descritivismo da primeira frente ao caráter explicativo da última.

¹² De mais a mais, vale registrar as teses negativas (que dizem sobre o que não ocorreria no mundo) que compõem o conjunto de suposições diretas do mecanicismo clássico, quais sejam:

Obviamente, a partir desta concepção, concluímos que as imagens de natureza de raízes mecanicistas implicam uma visão de mundo calcada no materialismo, embora possamos distinguir variantes parcialmente superpostas de mecanicismos. De acordo com Bezerra (2006, p. 179-180), as variantes do mecanicismo clássico são, resumidamente, classificadas conforme a seguinte taxonomia:

- (a) O **mecanicismo metodológico**, em que as *causas eficientes* e os *mecanismos internos* dos fenômenos materiais são investigados a fim de se formular explicações mecânicas para os mesmos;

- (b) O mecanicismo que diz respeito ao **estatuto da Mecânica enquanto ciência**, que pode ser subdividida em:
 - (b.1.) Um **mecanicismo estrutural ou teórico**, em que procurar-se-ia seguir formalmente o modelo da mecânica clássica como norte para a elaboração de estruturas teóricas;

 - (b.2.) Mais um **mecanicismo do tipo metodológico**, em que procurar-se-ia reduzir as demais disciplinas do conhecimento ao programa mecanicista, que tornar-se-ia, por conseguinte, uma ciência fundamental;

 - e

- (c) O **mecanicismo metafísico**, enquanto uma imagem de natureza que consideraria o universo como uma máquina em sua versão mais forte, ou, no

“(i) a rejeição de quaisquer propriedades ativas da matéria (isto é, a matéria é essencialmente passiva); (ii) a rejeição das diferentes naturezas ou essências específicas: o mundo físico teria, em vez disso, uma só natureza homogênea; (iii) a rejeição da ação a distância: toda ação se dá por contato; (iv) a rejeição das causas finais, com a redução de toda causalidade às causas eficientes; (v) a rejeição de agentes incorpóreos capazes de mover os corpos materiais (esta tese, como se sabe, gera problemas se se desejar incluir a mente ou o espírito e explicar as suas interações com um corpo). Vale lembrar que a primeira acepção de mecanicismo pode assumir uma forma plenista (rejeitando o vazio) ou uma forma atomista (admitindo o vazio)” (Bezerra, 2006, p. 179).

máximo, de acordo com uma versão mais fraca, os sistemas naturais se assemelhariam a máquinas. Este tipo de mecanicismo pode ser considerado como o mais abrangente, pois pode existir superposto aos demais mecanicismos supracitados.

Isto posto, analisaremos, a seguir, as suposições diretivas do programa de pesquisa em TCG e depois, como contrapartida, analisaremos as suposições diretivas da TD para entendermos como as tensões geradas pela postura científica e metacientífica particulares de Boltzmann, via objeções, favoreceram o amadurecimento de sua visão mecânico-estatística.

4.2. Suposições diretivas da TCG

“Se esta teoria fosse válida para todos os fenômenos, deveríamos estar ainda longe do que o famulus de Fausto esperava alcançar, viz. para saber tudo.”
Boltzmann, sobre a TCG (1895, p. 201)

Estando claro que uma imagem de natureza de raízes mecanicistas constitui a base da linha de pesquisa em TCG, tratemos agora de arrolar os pressupostos ontológicos e os metodológicos das suposições diretivas deste programa de pesquisa em questão.

Dentro da matriz do programa de pesquisa em TCG, a substância material identificada com a realidade fundamental do universo é representada pela visão atomista, ancorada, por sua vez, naquela imagem de raízes mecanicistas.

(Um parágrafo importante deve ser aberto antes de analisarmos os pressupostos ontológicos do programa da TCG. Salientamos que, embora Boltzmann tenha participado deste programa, ou tradição de pesquisa, uma análise subsequente das posições de Boltzmann nos revelará que a sofisticação e não-trivialidade de sua abordagem torna a tarefa de classificação de suas ideias algo mais complexo de se efetivar, pois a visão

boltzmanniana é rica em sutilezas e idiossincrasias, que nos permite dizer que não é lícito estabelecermos uma correlação direta com os pressupostos do mecanicismo clássico - bem como acerca de seus variantes - dentro do programa da TCG, com o pensamento do cientista-filósofo austríaco, ou seja, conforme nos adentrarmos na discussão deste trabalho, tensões surgirão em diversos níveis; tensões, por sua vez, que esclarecerão sobremaneira como as IFC e ICN de Boltzmann edificaram-se.)

Os atomistas da TCG, reiterando, ancoravam-se em uma imagem de natureza de raízes mecanicistas, baseados no pressuposto que apregoava ser corpuscular a composição da estrutura básica da matéria e, por conseguinte, que os fenômenos físicos seriam uma decorrência da combinação dessa essência microscópica, ou seja, que todos os fenômenos naturais observáveis advinham da interação (i.e., movimento e colisão) de entidades inobserváveis e descontínuas, como o fenômeno do calor, domínio este de aplicação pretendida tanto da TCG quanto da Termodinâmica.

A TCG, no século XIX¹³, representou o ressurgimento da teoria cinética do calor – “uma antiga ideia de que o calor está diretamente relacionado com a energia cinética do movimento atômico” (BRUSH, 2003, p. 427). A TCG lida com uma dimensão microscópica a fim de explicar certos fenômenos no nível macroscópico, como aqueles relacionados com o comportamento dos gases. Os gases (bem como as demais substâncias materiais) são entendidos como formados por átomos ou moléculas. Estes, p.e., quando dentro de um recipiente fechado, estão em movimento constante e caótico e, por conseguinte, sofrendo choques contínuos entre si e com as paredes do recipiente. Esses choques são regidos por leis da mecânica clássica de partículas (MCP) – assim, podemos considerar a TCG como uma especialização¹⁴ da MCP. Todavia – e esta diferença é

¹³ Embora existam desenvolvimentos prototeóricos da TCG já no século XVIII, podemos datar que a TCG surge como teoria científica (passa a ser aceita, mas não sem ressalvas, pela comunidade científica como disciplina independente) em 1850, com Rudolph Clausius (1822-1888) e tem seu ápice em 1908 com os experimentos de Jean Perrin (1870-1942) acerca do movimento browniano. As bases da Teoria Cinética atomista já haviam sido lançadas pelo simultaneamente filósofo, físico, fisiologista, médico, botânico e matemático suíço Daniel Bernoulli (1700-1782), em 1738, quando este estabeleceu a relação entre a pressão de um gás e a energia da vibração de seus átomos constituintes. De mais a mais, duas outras propostas versando sobre a Teoria Cinética dos gases surgiram em 1820, com John Herapath (1790-1868), e em 1845, com John James Waterston (1811-1883), ambas rejeitadas pela *The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge* (Cf. Porto, 2013, p. 9).

¹⁴ A noção metateórica de *especialização* foi formulada em termos precisos pela concepção estruturalista em Filosofia da Ciência. Em suma, dentro de um conjunto denominado *rede teórica* temos uma série *elementos teóricos* que mantêm certas relações entre si; por conseguinte, uma *relação de especialização* pode ser identificada quando analisamos os níveis de especificidade que se ramificam a partir de elementos

essencial –, ao lidarmos com uma enorme quantidade de átomos ou moléculas, apenas podemos fazer previsões estatísticas acerca destes choques. Esse seria um pano de fundo – ou um modelo prototípico – bastante simplificado acerca da forma como a TCG lida com o seu principal domínio de aplicação pretendida, qual seja, dos gases ideais¹⁵.

Após termos exibido esse rápido panorama da TCG, apresentaremos mais detidamente as principais suposições diretivas ontológicas deste programa de pesquisa para entendermos as bases da ICN de Boltzmann.

Em relação ao paradigma ontológico cardinal da TCG, podemos dizer que a teoria baseia-se, sobretudo, na seguinte tese, qual seja: “o comportamento e natureza das substâncias é o [resultado de um] agregado de um enorme número de indivíduos elementares muito pequenos e em constante movimento sujeitados às leis da mecânica” (CLARK, 1976, p. 45), se comportando como se fossem “bolas de bilhar” microscópicas. Podemos considerar esse pressuposto como o arcabouço metafísico da TCG. Assim:

A teoria atribui o comportamento dos gases aos movimentos e colisões elásticas de um grande número de moléculas. Os movimentos foram considerados como distribuídos aleatoriamente no gás, enquanto o movimento de cada molécula foi regido pelas leis da mecânica, durante e entre as colisões. Foi necessário assumir que as moléculas agiram mutuamente apenas durante a colisão, que seu volume é pequeno comparado com o volume total do gás e que o tempo gasto na colisão é pequeno comparado ao tempo que decorre entre colisões. Ao mesmo tempo que as moléculas precisavam ser assumidas como sendo pequenas, elas precisavam ser suficientemente grandes para que elas não se movessem ininterruptamente através do gás (cf. CHALMERS, 2010).

A partir dessa tese ontológica básica, apresentamos, a seguir, as demais teses ontológicas da TCG (cf. CLARK, 1976, p. 58; NUSSENZVEIG, 2005, p. 241-242), quais sejam:

- **ONT(a)** o espaço que uma molécula ocupa é de várias ordens de grandeza menor que todo o espaço do volume ocupado por um gás;
- **ONT(b)** as moléculas de um gás estão em movimento constante e, conforme movimentam-se, ficam sujeitadas a choque constantes, todavia

mais gerais (como a MCP) em direção a elementos mais específicos ou restritivos (como a TCG) em relação aos seus domínios de aplicação (Cf. MOULINES & DÍEZ, 1999, p. 361).

¹⁵ Vale lembrar que os limites do domínio de aplicação pretendida da TCG não se restringiram às substâncias de baixa densidade, mas pôde ser expandido para o estado líquido, por meio do estudo das transições de fases, bem como para os sólidos, com o desenvolvimento do estudo dos calores específicos.

a duração de um impacto é imensamente menor em relação ao intervalo de tempo entre colisões;

- **ONT(c)** entre uma colisão e outra, as moléculas comportam-se como partículas livres seguindo uma trajetória retilínea e uniforme;
- **ONT(d)** embora pressuponha-se uma força intermolecular, existe uma influência desprezível dessa força no espaço entre as moléculas e essa força só atuaria repulsivamente durante os choques;
- **ONT(e)** sejam os entes fundamentais, ora partículas elásticas, ora vórtices de força, devem ter um tamanho finito.

Por sua vez, os imperativos hipotéticos metodológicos definidos em função dos valores da tradição de pesquisa em TCG podem ser caracterizados como se segue:

- **IH(a)** devem-se fazer suposições específicas acerca dos constituintes básicos da matéria seguindo-se as leis da MCP;
- **IH(b)** o movimento atômico é considerado coletivamente, portanto não descrito em detalhe individual, o que limita a análise fenomênica do comportamento dos gases ao cálculo das distribuições da propriedade de movimento entre as moléculas existentes, i.e., a uma abordagem estatística, não obstante a pressuposição da MCP indique que cada trajetória individual de cada partícula que compõe a matéria seja bem definida e determinística;
- **IH(c)** o cientista deve evitar ao máximo simplificações formais¹⁶ para obter os resultados teóricos mais adequados, dada a complexidade do

¹⁶ Se nos parece que a aplicação do valor cognitivo da simplicidade, tão caro para a Ciência, aqui se torna algo contraindicado. Normalmente o formalismo da Física Matemática, por intermédio das idealizações, promove recortes arbitrários do real, eliminando, ou, ao menos, deixando de lado, inúmeras variáveis que se relacionariam com um dado fenômeno estudado, a fim de simplificarem-se os cálculos. Levar em conta o máximo número de variáveis relevantes, por sua vez, tornaria os cálculos uma tarefa hercúlea, cada vez mais complexa. Destarte, a recomendação metodológica IH(c) do programa da TCG diz que, se lidamos com sistemas físicos de alta complexidade, deveríamos evitar a eliminação, tanto quanto possível, das

comportamento de um gás “real” quando lida-se com o movimento coletivo de um número enorme de moléculas; e

- **IH(d)** as suposições específicas devem ser elaboradas em função da investigação das propriedades internas dos gases, enquanto outras propriedades, como o equilíbrio e condições macroscópicas hidrodinâmicas, seriam deriváveis de casos limite (CLARK, 1976, p. 45).

Por outro lado, as demais abordagens – de viés empirista – inseridas na tradição de pesquisa denominada Termodinâmica fenomenológica, como, p.e., os energetistas (que podem ser incluídos em uma tradição de imagem dinamista¹⁷ de natureza ainda

grandezas físicas variáveis relacionadas com os fenômenos que se quer dar conta, tornando os sistemas estudados o menos arbitrariamente distorcidos a fim de atingirmos uma aproximação mais fiel dos domínios de aplicações pretendidas por nossas teorias - embora podemos constatar que várias idealizações são feitas em ONT(a) até ONT(e).

Um exemplo do incremento do número de variáveis pode ser dado quando comparamos as equações dos gases ideais, qual seja, a equação de estado de Clapeyron da lei de Boyle e Gay-Lussac $PV = nRT$, com a equação dos gases reais, qual seja, a equação de Van der Waals $[P+a(n/V)^2](V-nb) = nRT$, em que notamos na última equação o surgimento de variáveis que não existem na primeira, quais sejam, o parâmetro a [Jm^3/mol^2], que representa as forças intermoleculares de atração enquanto o parâmetro b [$10^{-5}m^3/mol$], as de repulsão, de acordo com uma constante estabelecida para cada tipo de gás para cada parâmetro – vide tabela abaixo. (Os demais parâmetros que aparecem em ambas as equações significam: P – pressão do gás; V – volume do gás; n – número de moles [$1\text{ mol} = 6.022 \times 10^{23}$]; R – constante dos gases ideais [$8.314 J.K^{-1}.mol^{-1}$] e T – temperatura do gás.)

Gás		a (Jm^3/mol^2)	b ($10^{-5}m^3/mol$)
Hélio	He	0.0035	2,37
Neônio	Ne	0.0214	1,71
Criptônio	Kr	0.2351	3,98
Xenônio	Xe	0.4246	5,10
Ar		0,1358	3,22
Hidrogênio	H ₂	0,0248	2,66
Oxigênio	O ₂	0,1378	3,18
Nitrogênio	N ₂	0,1409	3,91
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,3640	4,27
Água	H ₂ O	0,5507	3,04
Cloro	Cl ₂	0,6580	5,62
Metano	CH ₄	0,2280	4,28

Fonte: <http://coral.ufsm.br/gef/Calor/calor11.pdf>

¹⁷ Uma *imagem dinamista de natureza*, descrevendo da forma mais sucinta, é aquela que advoga que todos os fenômenos na natureza são manifestações da *força* (como, p.e., a força gravitacional, dentre outras), incluindo a matéria, que seria passiva (Cf. Abrantes, 1998, p. 73), ou seja, a principal característica da matéria seria a inércia e, desta maneira, esta última não poderia ser a causa de *princípios ativos* (viz. as forças). Todavia, explicar o significado de força detalhadamente é uma tarefa que não cabe numa simples nota. O termo *força* é algo polissêmico quando analisamos seu emprego desde a antiguidade, da *dynamis* aristotélica até denotar as noções atuais de energia e trabalho, passando pela *vis viva* leibniziana, “a exposição crítica do conceito de força constitui um capítulo significativo da história das ideias, pois reflete a mudança constante da atitude intelectual ao longo das eras” (JAMMER, 2011, p. 34). No contexto do século XIX, período em que a *vis viva* se relacionava, sobretudo, com os conceitos de *energia* e *trabalho*, boa parte da comunidade científica, daquele momento histórico em que Boltzmann desenvolveu seus programas científicos e filosóficos, encontrava-se deveras influenciada por uma abordagem empirista e

maior e mais longa), que defendiam, *grosso modo*, a suficiência de uma descrição dos fenômenos naturais por intermédio de forças que podem ser mensuradas e que, por conseguinte, não seria preciso recorrer a entidades inobserváveis (ou arbitrárias). Para os energetistas, a energia representaria a essência de todos os fenômenos naturais, i.e., os energetistas, marcadamente, asseveravam que os fenômenos observáveis nada mais seriam que manifestações (transformações) de uma forma basilar de energia indistinta, o que constitui uma afirmação ontológica forte.

Como contraponto, destarte, apresentaremos, em seguida, as principais suposições diretivas da tradição de pesquisa em TD.

4.3. Suposições diretivas da TD

*“Pois a Ciência não significa repouso contemplativo na posse do saber adquirido.
Ao contrário, é obra jamais concluída e em progresso perpétuo.”
Max Planck (2012, p. 57)*

O pressuposto fundamental da TD, segundo Clark (1976, p. 63) é o seguinte: “que existiria uma relação definida entre uma quantidade de calor e o trabalho que de qualquer modo poderia ser produzido por aquele”. A partir desse pressuposto, a meta da pesquisa em TD seria a de determinar esta relação e disso deduzir as leis do calor. Ocorreu, basicamente, em TD, a seguinte sucessão de conjuntos de diretrizes heurísticas: (A) a teoria de Carnot, (B) a teoria mecânica do calor e (C) uma fenomenologia termodinâmica plena.

(A) **A teoria de Carnot (original de 1824)** consiste em duas proposições ontológicas e três indicações metodológicas. As proposições ontológicas afirmam que (a) o trabalho é produzido pelo descenso do calor (imaginado

exercia forte oposição às hipóteses baseadas em entidades que, supostamente, fugiriam do âmbito da verificação empírica, assim como o atomismo. De mais a mais, o ocaso da visão estritamente mecanicista da natureza era um fato premente. A visão dinamista de natureza assumia um papel cada vez mais importante. Logo, os ingredientes propícios para a rejeição de inobserváveis encontravam-se reunidos, caucionando a reivindicação dos empiristas e favorecendo o clima para as tensões eclodirem.

como substância, o calórico) de um nível mais alto para outro mais baixo de temperatura e (b) que nenhum calor é destruído durante a execução de um trabalho, portanto, o calor é conservado e o trabalho é produzido pelo transporte do calórico. As indicações metodológicas recomendam: (a) que se investigue, sempre, processos cíclicos; (b) que todas as transformações consideradas devam ser reversíveis; e (c) que, a partir da relação constitutiva das duas indicações anteriores, sejam descobertas leis empíricas.

(B) **Teoria mecânica do calor:** havia um aparente problema insuperável com a teoria de Carnot, qual seja, a incompatibilidade do princípio de conservação com a diminuição de trabalho observada nos fenômenos naturais¹⁸. Desta forma, a Termodinâmica realiza uma transição da teoria de Carnot para a teoria mecânica de Clausius, que consiste de duas propostas: (a) que existe uma equivalência entre calor e trabalho e (b) que o calor nunca passa de um estado mais frio para outro mais quente sem que haja outro tipo de transformação conexa ocorrendo ao mesmo tempo.

(C) **A fenomenologia plena da termodinâmica** (desenvolvida independentemente por Gibbs e Planck) consiste das duas primeiras leis, quais sejam, (a) a da conservação de energia (a soma da energia envolvida em todo processo natural é constante) e (b) da entropia (em todo processo natural existe uma soma crescente da entropia em todos os sistemas físicos envolvidos no processo e os processos reversíveis são apenas casos ideais). Ao atingir esse estágio, a Termodinâmica completava-se enquanto uma tradição de pesquisa eminentemente baseada no descritivismo do formalismo matemático.

¹⁸ Acerca desta incompatibilidade, Clausius coloca o problema da seguinte forma: “se a mera transferência de calor fosse verdadeiramente equivalente ao trabalho, haveria uma perda da capacidade do trabalho na natureza, o que é dificilmente concebível”, enquanto considerássemos a teoria de Carnot correta (CLAUSIUS *apud* CLARK, 1976, p. 65). Para Clausius, não existia contradição na essência do princípio de conservação de energia de Carnot (em que *calor* se equivaleria a *trabalho*), mas sim no estatuto subsidiário de que *nenhum calor é perdido durante a produção de trabalho*, ou seja, se o princípio de conservação de energia fosse válido, sempre haveria produção de trabalho enquanto houvesse a transferência de calor por meio do descenso do calórico, o que não é o caso. Existem situações em que não há produção de trabalho enquanto ocorre alguma transferência de calor, como, por exemplo, durante a expansão de um gás perfeito quando, “no final do processo, sua energia interna é a mesma e o gás não realiza trabalho” (AURANI, 2015, p. 74).

A partir desse desenvolvimento heurístico, a tradição de pesquisa da TD cristalizou-se numa versão baseada em apenas duas leis empíricas mais gerais (da conservação e da entropia) e todo o seu formalismo seria construído sem a necessidade de aludir-se a hipóteses ontológicas e o essencial seria a análise matemática das relações entre calor e trabalho (CLARK, 1976, p. 41).

Apresentaremos, a seguir, as principais suposições diretivas que configuram a ICN do energetismo de Helm e Ostwald¹⁹, que foi aquela tradição que mais diretamente conflitou com a imagem atomística de natureza de Boltzmann e, por conseguinte, com sua ecologia cognitiva global. Consideramos importante exibir este quadro conceitual sobre o energetismo: por conta das tensões entre este e a TCG, Boltzmann desenvolveu seus principais argumentos, característicos de sua ICN (bem como da sua IFC).

Podemos considerar o energetismo como um programa específico que desenvolveu-se sob os auspícios da Termodinâmica, embora possuísse suas características idiossincráticas e tivesse a pretensão de promover-se à uma nova visão de mundo (DELTEDE, 1999, p. 62), ou, dito de outra forma, de alçar-se a um novo *paradigma*. Suas bases foram desenvolvidas por Helm e Ostwald. O pressuposto ontológico básico do energetismo se fundava no conceito de energia, ou seja, um tipo de monismo em que todos os demais fenômenos da natureza estariam reduzidos às manifestações de uma forma primordial de energia, como transformações desta. Segundo Hibben (1903, p. 321), escrevendo no início do século XX, o energetismo “poderia ser classificado como uma Filosofia sem hipóteses [...] fundada somente sobre fatos observáveis e que estes mesmos fatos formem um sistema compacto que não necessite de especulações metafísicas para qualquer uma de suas construções”. Com esse monismo energetista, embora rejeitando especulações, temos configurado um tipo de redução metafísica, em que toda e qualquer substância (o conceito de matéria daria lugar ao de energia) e todo agente causal seriam variações do conceito fundamental de energia (por exemplo, movimentos seriam diferentes manifestações da energia cinética). A função heurística do energetismo seria a de oferecer interpretações físicas às operações

¹⁹ Como nos lembrou Dion (2015), existem várias formas de Energetismo. Por exemplo, o energetismo de Duhem não tem esse viés ontológico como o energetismo de Helm e Ostwald, este último sendo aquele que diretamente conflitou com a postura científica e metacientífica de Boltzmann.

matemáticas da fenomenologia²⁰ e, por sua vez, a construção de todos os conceitos e cálculos iniciar-se-iam a partir de uma magnitude de energia presente (CLARK, 1976, p. 77). De mais a mais, a fenomenologia energética teria a função de limitar os campos da ciência à conexão das equações diferenciais com conceitos geométricos (ELKANA, 1974, p. 267). Desta forma, o princípio do energetismo, segundo Ostwald (1907, p. 506), seria o seguinte: “a lei da transformação da energia, sob a conservação numérica dos seus valores, produz uma equação para todos os casos de transformação de energia”. Com isso os energetistas adaptaram as duas primeiras leis da Termodinâmica para as bases energéticas e a primeira lei assumiria o estatuto de a mais fundamental e os resultados formais derivariam apenas de observações, como a partir de procedimentos laboratoriais, e não em termos hipotético-dedutivos (Cf. GARDNER, 1979, p. 26-27).

Assim o energetismo constituído, estaria em consonância com os valores cognitivos da TD, quais sejam: (a) possuir uma metodologia positiva (evitar hipóteses arbitrárias) (GARDNER, p. 28), (b) ser uma teoria simples e abrangente, logo econômica (de apenas duas leis, muitas outras leis empíricas podem ser deduzidas) (CLARK, 1976, p. 77). Ademais, satisfaria outros valores, propostos por Ostwald, como, por exemplo, (c) ser uma teoria unificadora, ampliadora, preditiva (fazer previsões mensuráveis), e, finalmente, (d) a verdade, como característica que se predica da teoria, não seria uma questão relevante. Segundo Ostwald, o energetismo assim configurado, estaria protegido

²⁰ Lembrando, o que aqui tratamos por fenomenologia não se relaciona com a fenomenologia de Husserl, mas sim, com as chamadas por Boltzmann de, uma fenomenologia geral e outra fenomenologia físico-matemática de Kirchhoff, ou, simplesmente, fenomenologia matemática. Diz Boltzmann:

“Kirchhoff definiu seu próprio objetivo como sendo descrever, e não explicar, o mundo do fenômeno, mas, dado que ele não explica como fazer isso, sua teoria difere um pouco da teoria de Maxwell tão logo recorre à descrição usando modelos mecânicos e analogias. Agora que os recursos da matemática pura vêm sendo ajustados particularmente à descrição exata das relações quantitativas, a escola de Kirchhoff deu grande ênfase à descrição por meio de expressões e fórmulas matemáticas, e o objetivo da teoria física passou a ser considerado, sobretudo, como sendo a construção de fórmulas por meio das quais os fenômenos nos vários ramos da física devem ser determinados com a maior aproximação da realidade. Essa visão da natureza da teoria física é conhecida como fenomenologia matemática; trata-se de uma apresentação do fenômeno por meio de analogias, embora somente por meio de analogia possa ser chamada matemática. Outra fenomenologia no sentido mais amplo do termo, defendida principalmente por E. Mach, concede menos importância à matemática [...]” (BOLTZMANN, 1902, p387).

Ressaltemos, a partir desta descrição de Boltzmann, outra questão importante, que é a tensão entre ‘escolas’, em seu tempo: de um lado, mecanicistas, que defendiam que as teorias também deveriam ter elementos explicativos (de valor pedagógico e heurístico), caso contrário apenas teríamos números vazios de significação ao entendimento; de outro, os fenomenólogos matemáticos, satisfeitos com o caráter descritivo das suas analogias aritméticas e embebidos de um espírito antimetafísico.

contra pseudoproblemas, como, para ele, era o atomismo (Cf. OSTWALD, 1907, p. 483-503).

Desta forma, o quadro conceitual exibido acerca das imagens de natureza dessas tradições de pesquisa em questão permite que identifiquemos que espécie de tensões ocorreram, desde disputas sobre pressupostos ontológicos bem como sobre imperativos hipotéticos metodológicos aplicáveis.

A crítica mais pungente advinda dos empiristas, sobretudo da parte dos energetistas liderados por Ostwald, é que a admissão de que existem certas entidades que não podemos observar diretamente – e que seriam ditas responsáveis pelas características do mundo observável, como átomos – não se prestaria para o “propósito de [um] trabalho positivo” (OSTWALD, p. 499) na Ciência e não representaria um real problema de investigação. Segundo Ostwald:

No que diz respeito ao caráter particular dos supostos movimentos [dos átomos], a hipótese mecanicista [de que o calor consiste no movimento dos átomos] não fornece nenhuma informação direta, e como estes movimentos hipotéticos tinham de possuir alguma magnitude e direção, muitas dúvidas que não tinham nenhum significado empírico surgiram, i.e., pseudoproblemas (*Scheinprobleme*), para usar um termo feliz de Mach [...] (OSTWALD, p. 497).

Desta forma, Ostwald considerava estas hipóteses como pseudoproblemas

Pois uma vez que elas [as hipóteses] se referem a coisas cientificamente inacessíveis, elas não podem ser provadas nem refutadas, um interminável prós e contras é o resultado costumeiro; além disso, porque entre os problemas também existem pseudoproblemas que de modo algum referem-se a coisas demonstráveis, esses problemas são insolúveis e são arrastados através da Ciência como perguntas sem respostas que não podem ser eliminadas até que sejam reconhecidos como pseudoproblemas (OSTWALD, p. 499-500).

O átomo, destarte, seria um eco das propostas metafísicas que perpassava os tempos desde a antiguidade e, portanto, deveria ser suplantado. (Conferir essa discussão na seção 6.1. do capítulo 6.)

Essas tensões entre tradições de pesquisa exerceram uma importante influência sobre Boltzmann. Elas contribuíram para que o cientista-filósofo elaborasse sua ecologia cognitiva global. Boltzmann desenvolveu uma linha de argumentação a partir de suas ICN e IFC para proteger-se dos ataques dos empiristas em geral e, sobretudo, das críticas dos energetistas. Boltzmann construiu uma visão de mundo sofisticada para defender a legitimidade de suas linhas de pesquisa inseridas no programa da TCG. Para ele,

conquanto certos valores e métodos (que serão apresentados no capítulo 6) fossem respeitados, o uso de entidades inobserváveis no desenvolvimento das teorias científicas seria legítimo.

Dentro da ecologia cognitiva global boltzmanniana a imagem atomística de natureza passou por transformações. Podemos considerar que houve dois momentos bem distintos ao longo da trajetória científica e filosófica de Boltzmann. Num primeiro momento, em que Boltzmann inicia sua carreira, por volta de 1860, ele ainda encontrava-se aderido ao núcleo duro do programa de pesquisa em TCG, ou seja, “o núcleo duro deste programa era de que os átomos existem, que todos os fenômenos aparentemente contínuos são explicáveis sobre uma base atomística e que o atomismo e a redução mecanicista são fundamentalmente equivalentes” (ELKANA, 1974, p. 258).

Todavia, a visão de Boltzmann começa a sofrer mudanças, e a se distanciar do núcleo duro do programa da TCG, a partir de seus trabalhos em que passa a considerar a irreversibilidade como um fator relevante nos processos mecânicos, a partir de 1872, passando pela resposta à objeção de Loschmidt, em 1876, e culminando em 1896, quando Boltzmann finalmente formaliza a sua visão mecânico-estatística de mundo em resposta à objeção de Zermelo, objeções que trataremos de delinear mais adiante (falaremos mais sobre a transformação da visão atomística de Boltzmann na seção 5.1). Uma de suas primeiras tarefas, desta forma, foi a de procurar dar uma interpretação mecanicista e atomística para a Segunda Lei da Termodinâmica, i.e., ele buscava relacionar a Segunda Lei ao movimento dos átomos com o intuito de descrevê-lo. Conforme assevera Laranjeiras:

É no contexto do confronto entre esses dois programas que se situa um dos grandes problemas recorrentes enfrentados pela Física Teórica no século XIX, e que vai ser tomado por **Boltzmann** como um **problema central** e **ponto de partida em seu trabalho**, a saber: **a possibilidade de se formular um modelo molecular consistente, dentro da estrutura clássica Newtoniana, a partir da qual se pudesse calcular as propriedades observáveis da matéria, o que significava dar uma explicação das leis da termodinâmica em termos do comportamento de sistemas envolvendo uma enorme quantidade de moléculas.** (2002, p. 2-3, negritos do autor)

Sua heurística²¹ estava voltada para a solução de problemas, como supracitado e, desta forma, Boltzmann promove uma nova abordagem da 2ª Lei da Termodinâmica,

²¹ Ou seja, um conjunto de métodos empregados, tacitamente ou não, dentro do chamado *contexto da descoberta*, que podem ser intuitivos bem como laboriosos, criativos bem como dependentes de métodos

atribuindo à entropia um caráter estatístico, procurando, por meio da noção de probabilidade, adaptar a visão mecanicista à condição de irreversibilidade do estatuto universal desta lei (ELKANA, 1974, p. 262-263). A partir deste *turning point* seminal, em que Boltzmann promove uma unificação das tradições de pesquisa da TCG e da TD, Boltzmann consolida sua imagem mecânico-estatística de natureza.

Com base nessa interpretação, podemos vincular, posto que não trivialmente, sua imagem atomística de natureza com a imagem probabilística de sua ICN. Ao explicar a Segunda Lei em termos cinéticos, Boltzmann criou um paradoxo, qual seja: se as leis da MCP são reversíveis no tempo, como adequar a ideia de irreversibilidade que emerge desta formulação cinética da Segunda Lei²²? Um exemplo simples para descrever o problema é o seguinte: na experiência empírica ordinária, cotidiana, nós não observamos os pedaços de um copo estilhaçado se recompondo com o tempo, embora, se tal fato ocorresse, não violaria as leis da MCP. Destarte, a reversibilidade não seria algo impossível, apenas altamente improvável; a probabilidade de vermos os cacos recomporem-se seria ínfima. A analogia serve bem para explicar o aumento da taxa de entropia durante transformações termodinâmicas de qualquer sistema ao longo do tempo que nos remete ao conceito de irreversibilidade e o paradoxo resolve-se quando consideramos a Segunda Lei como probabilística. (Cf. DAHMEN, 2006, p. 283).

4.4. Objeções de Loschmidt e de Zermelo

“Não está nada claro, aliás, que a Segunda Lei da Termodinâmica se aplique ao universo como um todo, porque é uma lei experimental, e não temos experiências com o universo como um todo.”
Carl Sagan (2008, p. 178)

pré-existentes, na tentativa de simplificar a busca de questões que conduzam ao desenvolvimento de uma pesquisa e a solução de problemas.

²² A MCP clássica pressupunha a condição de reversibilidade dos processos físicos a partir de suas leis e esse fato foi um dos problemas a serem superados pela TCG de Boltzmann, pois, a partir do momento que ele passa a postular uma condição antagônica da reversibilidade, com a introdução de elementos estatísticos e do conceito de flecha do tempo associada aos fenômenos do dia-a-dia, que não demonstravam essa capacidade de reversão no tempo, Boltzmann encontrou resistências tanto dos seus colegas de tradição de pesquisa quanto daqueles cientistas que trabalhavam com a Termodinâmica Fenomenológica. Logo, essa foi uma das aparentes inconsistências, em relação à MCP, que a TCG de Boltzmann teve de superar e que lançou as bases para o desenvolvimento da Mecânica Estatística. Para maiores detalhes acerca da relação da Segunda Lei da Termodinâmica com a postulação de um conceito emergente como o da flecha do tempo, ou sobre a predileção por uma direção temporal para a entropia, sugerimos consultar Schollowöck (2015).

A partir de objeções pontuais, urdidas por seus pares e dirigidas à interpretação probabilística de Boltzmann da Segunda Lei da Termodinâmica, as bases para o desenvolvimento da Mecânica Estatística estavam lançadas, bem como ajudaram a sedimentar a imagem mecânico-estatística de natureza boltzmanniana. Ambas as objeções baseavam-se no caráter paradoxal de se relacionar as leis reversíveis da mecânica com a irreversibilidade da flecha do tempo da entropia termodinâmica. Eram elas:

- (1) **A objeção de Loschmidt, ou o paradoxo da reversibilidade (*Umkehrwand*)**: em 1876, Loschmidt objeta a possibilidade de Boltzmann oferecer uma prova puramente mecânica da Segunda Lei da Termodinâmica. Sua objeção pode ser resumida da seguinte maneira:

Segundo Loschmidt era impossível deduzir a irreversibilidade a partir das leis reversíveis da mecânica, pois se imaginarmos um sistema que de um estado inicial I em $t = 0$ evolui para um estado final mais desordenado F em $t = \tau$, haverá um aumento da entropia. [Aqui temos um processo]. Contudo, se imaginarmos um estado inicial $-F$ em $t = 0$ onde todas as partículas têm as mesmas posições que tinham em $t = \tau$ do caso anterior, mas com todas as velocidades invertidas, então após um tempo $t = \tau$ elas chegarão ao estado $-I$ com as velocidades ainda invertidas. O movimento obtido é o mesmo que o [do processo] anterior, mas em sentido retrógrado. Este [outro] processo parte de um estado mais desordenado (maior entropia) para um estado mais ordenado (menor entropia) e, portanto, a entropia diminui com o tempo (DAHMEN, 2006, p. 286).

Uma outra maneira de exemplificar a objeção de Loschmidt é a seguinte:

Se existe um caminho físico de eventos que conecta uma configuração A das moléculas no tempo A com uma outra configuração B das moléculas no tempo B , então o caminho inverso a partir da configuração B no tempo A até a configuração A no tempo B é igualmente válido devido a simetria da reversão temporal das leis fundamentais da Física (Cf. SCOLLWÖCK, 2015, p. 191).

Ou seja, o argumento dizia que, se a partir de um estado inicial mais ordenado um sistema evolui para um estado de maior desordem, existe um aumento da entropia. Todavia, de acordo com as leis reversíveis da mecânica, quando este sistema retorna ao seu estado inicial, por meio da inversão das posições e velocidades das componentes desse sistema, então a entropia diminui. (Vide figura abaixo.)

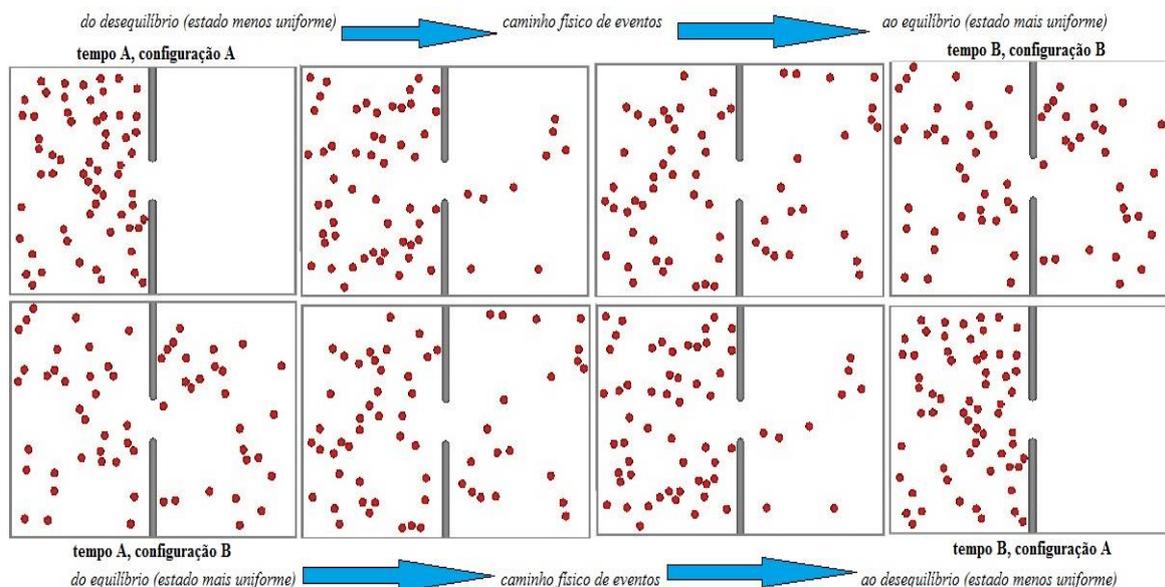


Figura 6: esquema indicando o paradoxo da reversibilidade

Portanto, temos aqui dois processos, um primeiro que vai de um estado em desequilíbrio para um estado em equilíbrio, em que a entropia cresce, e outro, que do equilíbrio, retorna para um estado menos uniforme, associado a um decréscimo da entropia “[...] porque sempre se pode construir um tal processo de entropia diminuindo a partir de cada processo de entropia crescente, Loschmidt argumentou que a segunda lei deve depender das condições iniciais especiais no mundo e não das leis que regem movimentos moleculares” (KLEIN, 1973a, p. 72). Destarte, uma interpretação mecânico-estatística da 2ª Lei da Termodinâmica não seria lícita para Loschmidt, pois ele estava ainda preso à sua visão atomística realista calcada no mecanicismo clássico reversível do núcleo duro do programa da TCG, como assinala Elkana (1974, p. 260 e p. 262).

- (2) **A objeção de Zermelo, ou o argumento da recorrência (*Wiederkehrinwand*):** A objeção de Zermelo (1896), por sua vez, foi baseada no teorema da recorrência de Poincaré, qual seja:

Este teorema afirma que, em qualquer sistema de partículas que atuam umas sobre as outras por forças arbitrárias que dependem apenas de suas posições no espaço, qualquer configuração (especificado pelas coordenadas e velocidades das partículas) deverá repetir-se dentro de limites arbitrariamente especificados, e se repetirá infinitamente muitas vezes. O teorema exige apenas que as coordenadas e velocidades sejam limitadas, e isso vale para quase todas as configurações iniciais (KLEIN, 1973a, p. 90).

Baseado no teorema de Poincaré, Zermelo dizia que todas as moléculas em um sistema mecânico sob a ação de forças conservativas, teriam que, invariavelmente, após um longo tempo, retornar a um espaço de fase tão próximo daquele em que se encontrava num tempo inicial, como predizia o teorema de Poincaré. Um esquema apresentado na figura abaixo nos ajudará a ilustrar o teorema:

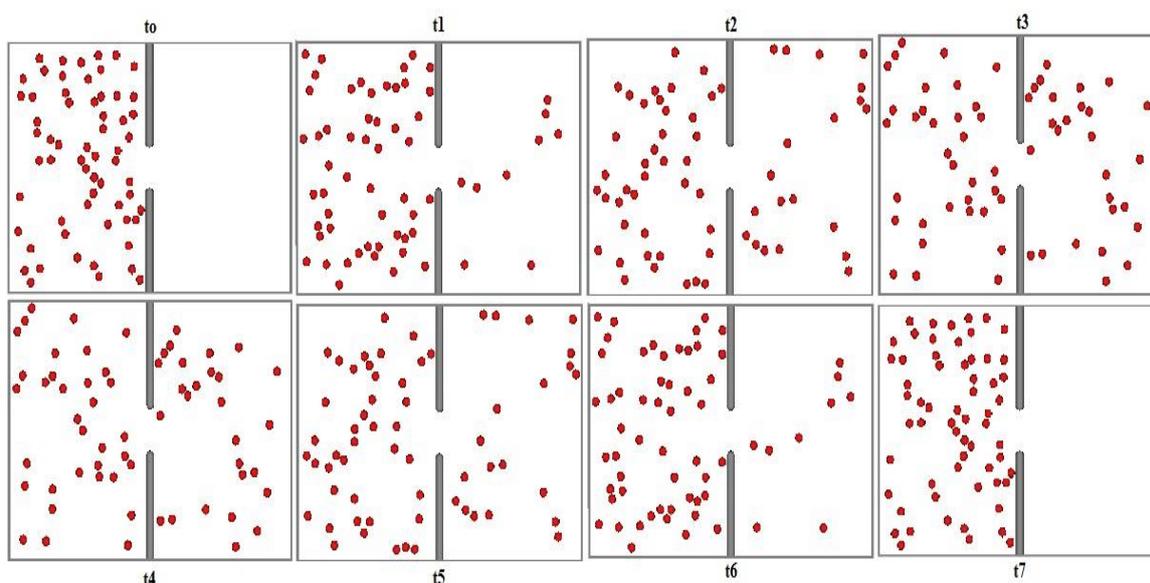


Figura 7: Esquema mostrando o teorema do retorno de Poincaré

A figura acima mostra um mesmo sistema físico fechado em vários momentos, representado por uma caixa dividida ao meio, porém com uma abertura na divisória, contendo uma quantidade de partículas. Em t_0 , temos a condição inicial, em que as partículas encontram-se todas do lado esquerdo da caixa. De t_1 até t_3 , vemos as partículas se movendo progressivamente até que, a partir de t_4 até t_7 , vemos as mesmas partículas realizando um movimento reverso, como se voltássemos um filme, até atingirem as mesmas posições em que se encontravam no estado inicial; porém aqui não houve reversão do tempo, mas sim o transcurso de um tempo tão longo em que podemos ver as partículas voltando para a sua distribuição inicial, o que parece improvável de acontecer, mas não impossível, de acordo com o teorema da recorrência de Poincaré. Portanto, a probabilidade de isso ocorrer seria muito pequena, mas não zero (Cf. SCHOLLWÖCK, 2015, p. 190). Zermelo entendia que uma direção privilegiada da entropia, aumentando constantemente e irreversivelmente até atingir um equilíbrio térmico num sistema mecânico, *obedecendo leis mecanicistas*, violaria a Segunda Lei da TD, ou, em outras

palavras, o teorema de Poincaré excluiria a condição de irreversibilidade de sistemas mecânicos para os quais, de acordo com a Mecânica Clássica, as leis físicas seriam simétricas temporalmente. Isso traria implicações maiores contra a visão mecanicista de mundo do programa em TCG, defendida por Boltzmann, como nos aponta Brush:

Zermelo argumentou que a visão mecanicista de mundo deveria ser abandonada, pois ela implicaria, de acordo com o teorema de Poincaré, uma recorrência a estados iniciais, contrariando a Termodinâmica. Zermelo insistia que a Segunda Lei da Termodinâmica é uma generalização empírica absolutamente válida, portanto qualquer hipótese que conduza a uma predição que viole a Segunda Lei deveria ser abandonada. O teorema da recorrência mostra que toda a teoria molecular baseada na mecânica newtoniana (com a energia conservada ao nível atômico) é incompatível com a Segunda Lei (1981, p. 237).

E a crítica atingiria em cheio a proposta boltzmanniana de dar uma interpretação mecânico-estatística para a 2ª Lei da Termodinâmica.

Tendo visto as objeções, agora passaremos para a próxima sessão em que trataremos das réplicas de Boltzmann a fim de mostrar como as críticas acabaram favorecendo Boltzmann a solidificar sua visão mecânico-estatística de natureza de sua ICN.

4.5. Réplicas às objeções: rumo à uma visão mecânico-estatística

“Quando Goethe diz que apenas metade de nossa experiência é experiência, o que ele pretende transmitir por esse ditado aparentemente paradoxal é certamente que, em cada apreensão conceitual da experiência ou representação verbal dela, já devemos ir além da experiência.”
Boltzmann (1899b, p. 126)

Tais críticas, por seu turno, não intimidaram Boltzmann, pelo contrário, o conduziram a um refinamento e amadurecimento de sua postura que podemos acompanhar por meio de suas réplicas às objeções sofridas. Começamos, pois, pela argumentação de Boltzmann em relação à objeção de Zermelo e, em seguida à de Loschmidt.

Em sua réplica à objeção (2), Boltzmann considerou que, mesmo o “teorema de Poincaré sendo válido, ele não contradiz a termodinâmica desde que a probabilidade da recorrência em qualquer período razoável de tempo seja insignificante” (BRUSH, 1981, p. 237). Não obstante a validade do teorema, Boltzmann negou as conclusões de Zermelo a partir deste e criticou a não relevância prática da objeção, pois seria apenas um tipo de experimento de pensamento (*Gedankenexperiment*). Para Boltzmann, o que estava em questão²³ não era uma explicação puramente mecânica da 2ª Lei da TD, mas, essencialmente, uma explicação ancorada nas leis da probabilidade. Um ponto fortemente enfatizado na réplica de Boltzmann a Zermelo foi o seguinte: Zermelo considerava que, para um sistema se aproximar da distribuição de equilíbrio, dependeria somente de poucas condições iniciais peculiares; todavia Boltzmann demonstrou que as condições iniciais não permitem que um sistema se aproxime do equilíbrio, mas, pelo contrário, um sistema apresentará quase sempre as características da distribuição de Maxwell (uma distribuição probabilística de velocidades das partículas) (Cf. KLEIN, 1973a, p. 91), ou seja, se no interior de um gás existe um sem número de partículas em rápido movimento e se cada partícula apresenta uma velocidade diferente da outra, sendo que cada colisão entre partículas altera suas velocidades, a distribuição de Maxwell permite-nos calcular a largura da distribuição das velocidades, entre a velocidade média, a velocidade média quadrática e a velocidade mais provável (que corresponde ao valor máximo da distribuição de Maxwell); desta forma não seria possível que obtivéssemos as condições iniciais para um sem número de partículas e, mesmo que as condições iniciais fossem dadas, não teríamos condição de resolver as equações de movimento correspondentes para tantas partículas (Cf. NUSSENZVEIG, 2005, p. 268).

Um segundo ponto refere-se propriamente a questão da recorrência, qual seja: como o tempo para que a recorrência de Poincaré ocorra é tão longo, seria natural que o mundo se nos pareça irreversível, pois nós não viveríamos tempo suficiente para testemunhar tais ocorrências. Um bom exemplo ilustrativo oferecido por Boltzmann

²³ Outro ponto que também estava em questão para Boltzmann era o entendimento de seus artigos sobre sua interpretação mecânico-estatística da Segunda Lei da Termodinâmica. A objeção de Zermelo fê-lo suspeitar que a comunidade científica não estaria absorvendo adequadamente suas ideias:

“Agora o artigo do Sr. Zermelo [no qual ele apresenta sua objeção] mostra que meus artigos sobre este tema não têm sido compreendidos [...], mas eu sou grato por este artigo a despeito [da objeção], porque ele é uma primeira evidência que estes artigos têm recebido atenção em toda a Alemanha” (BOLTZMANN *apud* KLEIN, 1973a, p. 90).

Isso motivou Boltzmann a depurar e tornar mais consistentes suas teses.

acerca deste segundo ponto será mostrado de acordo com a seguinte escala temporal de recorrência:

O tempo em segundos para um gás de 10^{18} partículas voltar ao seu estado inicial, dentro de intervalos de tempo especificados, seria um número tendo alguns 10^{18} dígitos, de acordo com o cálculo de Boltzmann. Para se permitir apreciar o tamanho desse número, ele observou que, se todas as estrelas visíveis através dos melhores telescópios tivessem muitos planetas como o sol, e se todos os planetas tivessem tantos habitantes como a Terra e cada habitante vivesse por 1018 anos, então o número total de segundos em todas estas vidas seria um número com quase 50 dígitos. Em outras palavras, os tempos de recorrência para sistemas macroscópicos seriam tão longos que não se poderia esperar para experimentar tal recorrência jamais. A irreversibilidade aparente do mundo não é, portanto, de todo inconsistente com a existência de recorrências de Poincaré, porque a sua escala de tempo é tão excessivamente longa. Os tempos de recorrência para sistemas suficientemente pequenos poderia, no entanto, muito bem ser observáveis, se tais sistemas pudessem ser estudados experimentalmente (KLEIN, 1973a, p. 91-92) (sublinhado do autor).

Em resumo, se tomássemos uma caixa (vide Figura 7) contendo, suponhamos, algo em torno de 10^{24} moléculas e esperássemos que, a partir de t_0 , passando por $t_1...t_6$, o sistema retornasse em t_7 a um estado de fase próximo (ou idêntico) daquele inicial em t_0 , haveríamos de esperar um tempo de muitas ordens de grandeza maior que a idade do próprio universo. Mesmo havendo uma probabilidade muito pequena de ocorrer uma recorrência deste tipo, ela não é matematicamente impossível. Apesar de Boltzmann considerar a possibilidade de uma observação experimental de um processo dessa natureza, seu pragmatismo direcionou sua preocupação para com os fenômenos ordinários cotidianos, nos quais naturalmente não observamos esse tipo de recorrência acontecendo, ou seja, as condições práticas para o desenvolvimento de um tal experimento acarretariam a necessidade de uma (provável) espera temporal tão inconcebível que não validaria ou justificaria sua execução.

Por sua vez, contra a objeção (1), Boltzmann afirmou que, apesar do argumento de Loschmidt ser “muito sedutor”, ele, apesar de tudo, não representaria mais que um “interessante sofisma” (BOLTZMANN *apud* KLEIN, 1973a, p. 72). Aliás, esta objeção seria algo inaplicável a sistemas reais: se num determinado volume de gás o número de átomos que o compõe é tão imenso, a reversão de todas as posições e velocidades de seus átomos seria improvável. Em suma, para um dado sistema físico, fosse esse sistema um pequeno volume de gás em uma caixa contendo, p.e., 100.000.000.000.000 moléculas por cada polegada cúbica ($= 2,54 \times 2,54 \times 2,54 \text{ cm}^3$), “consequentemente, existe um número incrivelmente grande de possibilidades de como arranjar estas moléculas numa polegada

cúbica” (SCHOLLWÖCK, 2015, p. 191). Com isso, Boltzmann queria enfatizar a diferença entre as funções de distribuição dos *microestados* e dos *macroestados*. A última seria uma descrição muito menos detalhada que a primeira, “contendo apenas uma fração [infinitesimal] da informação do *microestado*” (SCHOLLWÖCK, 2015, p. 191) que, por sua vez, deveria especificar todas as posições e velocidades de todas as moléculas durante os processos físicos de um sistema. Desta forma, se olharmos novamente para a Figura 6, veremos uma mesma caixa em vários tempos diferentes. Cada um dos instantes, de t_A a t_B , representa um macroestado num dado momento, como num fotograma. Esse macroestado seria representável pela própria caixa e pelo arranjo de suas partículas em um determinado tempo, p.e., t_A é um macroestado, t_B é outro. Por sua vez, a distribuição em um microestado deve levar em conta a posição e a velocidade de cada uma das moléculas da própria caixa em cada tempo t_x . Portanto, se tivéssemos que calcular, para cada instante t_x todas as possíveis configurações para as inúmeras relações prováveis entre as moléculas, acabaríamos lidando com quantidades infinitas de possibilidades de interações. Frente a tal questão, se alguém tomar randomicamente um determinado microestado compatível com um dado macroestado, suponhamos t_B , se revertêssemos o tempo a partir daí, quase certamente não retornaríamos à distribuição que tínhamos em t_A , e a irreversibilidade – que pode ser relacionada com o conceito de *flecha do tempo* – então, prevaleceria e, necessariamente a entropia aumentaria. Em consequência disso, comenta Schollwöck (2015, p 193) que, “de fato, para além da explicação da flecha do tempo, o estabelecimento sistemático de uma conexão entre o mundo da escala microscópica (atômica) e a escala macroscópica (dia-a-dia) é a maior contribuição que Boltzmann fez para a ciência” e para as transformações de imagens de natureza que permitiram o subseqüente desenvolvimento da Mecânica Quântica e da Física da Relatividade.

A grande questão, relacionada com ambas as objeções, é, pois, pragmática. Boltzmann pretendia aplicar esses conceitos ao mundo físico e não ao mundo formal da Lógica e da Matemática puras. Segundo Boltzmann:

As equações fundamentais da mecânica não mudam em nada a sua forma quando o sinal de grandeza tempo é simplesmente invertido. Assim, todos os processos puramente mecânicos podem desenrolar-se tanto em um sentido como em outro, isto é, caso o tempo cresça ou diminua. No entanto, nós reparamos que, na vida diária, o futuro e o passado não se correspondem tão completamente como as direções direita e esquerda, mas, ao contrário, ambos são claramente distintos um do outro. [...] É sempre possível indicar uma certa função do estado da totalidade dos corpos, a entropia, a qual é estabelecida de

tal modo que só pode acontecer qualquer mudança de estado caso ocorra um aumento dessa função; esta só pode crescer por meio de [um respectivo] crescimento do tempo (1904, p. 177)

Desta forma, segue-se que tais objeções acabaram fazendo com que Boltzmann revisasse sua interpretação probabilista da Segunda Lei e lançasse “as bases da mecânica estatística como hoje a conhecemos” (DAHMEN, 2006, p. 283), além de contribuírem com a fundamentação de sua imagem mecânico-estatística madura de natureza.

Vimos, portanto, como a relação entre imagens mecanicistas, atomísticas, materialistas e probabilísticas desenvolveram-se dentro desta visão de mundo num primeiro momento em Boltzmann, que pode ser resumida da seguinte maneira: se entendemos que a matéria observável é formada a partir da combinação de átomos e moléculas que seguem as leis da MCP, para sistemas que contêm um grande número destas partículas, apenas podemos fazer previsões estatísticas acerca das possíveis posições das mesmas, conformando, destarte, a imagem mecânico-estatística que destaca-se dentre as componentes da ICN boltzmanniana.

Como dissemos no capítulo 3, existe uma interação entre imagens de natureza e imagens de ciência. A ICN mecânico-estatística da interpretação probabilística da entropia de Boltzmann tem um importante reflexo em sua *Weltanschauung*, ou concepção de mundo; tem implicações em sua epistemologia naturalizada e, por conseguinte, no papel cognitivo dos modelos dentro da ecologia global boltzmanniana, como veremos nos próximos capítulos.

De acordo com uma expressão usada perspicazmente por Rovelli, essa visão mecânico-estatística é uma medida de nosso *desfocamento*, de nossa miopia enquanto sujeitos cognitivos sobre o que é a realidade, uma medida, enfim, de nossa ignorância. Segundo Rovelli (2018, p. 33):

Boltzmann mostrou que a entropia existe porque descrevemos o mundo de maneira desfocada. Demonstrou que a entropia é precisamente a quantidade de *disposições* diversas que a nossa visão desfocada não diferencia. Calor, entropia, baixa entropia do passado são noções que fazem parte de uma descrição aproximada, estatística, da natureza.

Essa miopia cognitiva, que decorre de nossa condição humana, de nossos limites naturais, por conseguinte, desmorona verdades e põe em cheque a compreensão humana, em um cenário

[...] que vê o sujeito como parte da natureza e não tem medo de falar da “realidade” nem de estudá-la, mesmo consciente de que o que chega ao conhecimento e à intuição é filtrado radicalmente pelo modo como funciona o instrumento limitado que é a mente – parte daquela realidade -, e portanto depende da interação entre um mundo externo e as estruturas com que a mente funciona (ROVELLI, 2018, p. 143).

Trataremos destas implicações, dos limites intelectuais naturais humanos acerca da descrição dos fenômenos, dentro da ecologia cognitiva global de Boltzmann, nos capítulos que seguem-se. Destacamos esse ponto desde já, pois, pensamos, ele é essencial para a reconstrução do pensamento de Boltzmann, posto que ele é uma importante ponte para a imagem filosófica de Ciência boltzmanniana.





Figura 8: Boltzmann aos 58 anos, quando era professor em Viena (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 29)

5. *INTERMISSIONE*

“O universo não corresponde às nossas ambiciosas expectativas.”
Carl Sagan (2008, p. 57)

Após termos tratado, no capítulo anterior, da ICN boltzmanniana, faremos agora uma *intermissione* antes de analisarmos a IFC de Boltzmann como uma intersecção entre ambos os conjuntos de imagens – tanto como um remate da seção anterior como um preâmbulo para o próximo capítulo. Queremos, com isso, propor que certos elementos da ecologia cognitiva global de Boltzmann podem ser tomados como estando em uma zona fronteira dentro desta maneira de analisarmos via conjuntos de imagens específicas, de natureza e ciência, as componentes que conformam as posturas científicas e filosóficas de Boltzmann. Ou, dizendo de outra forma, tentar mostrar como existe uma retroalimentação entre esses conjuntos de imagens.



Até o momento mostramos como Boltzmann chegou à sua visão probabilista madura, seguindo um trajeto que passou pelas principais suposições diretivas da TCG e da TD e pelas objeções de Loschmidt e Zermelo em relação à visão mecânico-estatística boltzmanniana, bem como pelas respostas de Boltzmann a tais objeções, justamente uma trajetória que contribuiu para consolidar a sua ICN.

No atual capítulo, trataremos de alguns elementos da ecologia cognitiva global de Boltzmann partindo da seguinte premissa: *entendemos que subjaz, em toda concepção científica, um componente filosófico*. Destarte, encontraremos, na discussão deste capítulo, uma intersecção entre elementos da ICN e da IFC de Boltzmann. A partir deste ponto, começaremos a apresentar elementos filosóficos que se imiscuem à ICN de Boltzmann, ou, dito de outra maneira, elementos que se encontram em uma região

fronteira de sua ecologia cognitiva global, quais sejam, sua visão atomística e sua abordagem evolutiva (naturalismo).

Em seguida, procuraremos fazer uma análise, a partir de uma breve revisão da literatura, da posição de alguns comentadores acerca da postura realista de Boltzmann que, cremos, nos ajuda a sustentar a ideia supracitada de haverem, dentro da ecologia cognitiva global de Boltzmann elementos intersectos a partir dos conjuntos de imagens analisados que sofisticam sua imagem global e, portanto, dificultam a tentativa de classificação técnico-filosófica²⁴. Como veremos a seguir, os comentadores que sustentam alguma variante do realismo em Boltzmann, não tomam por base estritamente sua ICN mecânico-estatística e atomística; em vez disso, se embasam em elementos da IFC de Boltzmann para sustentar suas escolhas.

Começemos, pois, apresentando as peculiaridades de sua visão atomística.

5.1. Do atomismo à predileção pelo discreto

"[...] eu tinha me perguntado de que maneira um livro pode ser infinito. Não conjecturei outro procedimento que o de um volume cíclico, circular. Um volume cuja última página fosse idêntica à primeira, com possibilidade de continuar indefinidamente."
Jorge Luis Borges (2006, p. 110)

"Não há pontos na geleia do continuum."
Herman Weyl (apud De Courtenay, 2002, p. 106)

Embora Boltzmann participasse da tradição em TCG, que pressupunha a existência factual de entidades elementares da matéria, como átomos e moléculas, ele não

²⁴ Outros motivos que podem não favorecer a análise e reconstrução, quanto mais tentativas de classificação, do pensamento Boltzmanniano, além dessa (a) sofisticação de *Weltanschauung*, que torna o trabalho mais complexo, pela riqueza de elementos de conhecimento do pensamento boltzmanniano produzindo conceitos e se retroalimentando a serem analisados e inter-relacionados, consideramos também: (b) a não sistematização dos escritos filosóficos de Boltzmann, que estão espalhados por diversos de seus textos e palestras de cunho científico, de cunho metacientífico, divulgatório da Ciência, bem como em correspondências, tornando a análise extensa e a tentativa de exegese algo assintótica; (c) a barreira da língua, pois há muito material não traduzido ainda do original para facilitar o acesso aos elementos constitutivos do pensamento de Boltzmann para reconstruções e análises metafisológicas cada vez mais ricas aos não germanófonos. São, cremos, estes os principais aspectos desse contexto de pesquisa.

pode ser considerado um realista ingênuo em relação à sua ICN atomística dentro de sua ecologia cognitiva global, dado que suas concepções atomísticas parecem ter passado por mudanças e amadureceram com o tempo.

Além das mudanças de ICN já citadas, em que Boltzmann progressivamente se afastou do núcleo duro da TCG enquanto ele desenvolveu sua tese mecânico-estatística para a 2ª Lei da TD, marcadas, sobretudo, pelas soluções dadas aos paradoxos de Loschmidt e de Zermelo a partir de seu trabalho científico, podemos notar essas mudanças, também, quando analisamos a abordagem filosófica boltzmanniana. Como salienta Elkana, é entre 1886 e 1905, período em que Boltzmann publica os seus artigos e conferências mais relevantes sobre filosofia e metodologia, que mais evidências assomam-se para exemplificar as mudanças de posição de Boltzmann, em que ele “abandona sua metafísica mecânico-atomística primitiva” (1974, p. 259). Ainda, segundo Elkana (1974, p. 268), “ao invés do atomismo e da probabilidade como princípios básicos que descrevem o mundo realisticamente, Boltzmann agora introduz [um] atomismo como uma *imagem mental*, que é criado [dedutivamente e] independentemente do fenômeno e depois comparado a ele”.²⁵ Desta forma, ele promove modificações da axiologia original da Teoria Cinética que, aparentemente, descolou-se de uma interpretação realista atomista e tendeu para uma abordagem abstrata do átomo, i.e., a entidade *átomo* instrumentaliza-se e transforma-se em um tipo de modelo que emerge como conceito formal (ELKANA, 1974, p. 268-269; DE REGT, 1996, p. 43) (Conferir a defesa do atomismo em Boltzmann na seção 6.1.).

Temos, agora, um tipo de atomismo muito mais abstrato que o atomismo realista “de densas esferas elásticas” (ELKANA, 1974, p. 269). Segundo Videira, “ao afirmar que o átomo é uma representação [mental], Boltzmann” pretendia, “antes de tudo, defender a ideia de que ele não precisa necessariamente existir na natureza. Num primeiro momento, a realidade do átomo é teórica na medida em que ele existe sob a forma de um enunciado científico, o qual permite a exploração pela ciência de certo domínio fenomênico” (1994,

²⁵ Para diferenciarmos, *grosso modo*, os conceitos de *imagens de natureza e de ciência*, como já fora definido a partir de Abrantes, em relação ao de *imagem mental*, que emerge da citação de Elkana, podemos dizer que, para Boltzmann, todas as suposições científicas acerca da natureza (ICN), bem como toda análise metacientífica (IFC) sejam, em última instância, construtos mentais, ou seja, elaborações hipotéticas e teóricas que os cientistas desenvolvem para dar corpo às suas interpretações ontológicas, metodológicas e epistemológicas. Todavia o conceito não é tão trivial e tem uma abrangência sofisticada, que abarca um tipo de naturalização evolutiva acerca do conhecimento e sobre o qual discutiremos mais detidamente no capítulo seguinte, que trata da IFC boltzmanniana.

p. 464), ou seja, para Boltzmann, o atomismo era um modelo instrumental suscetível à investigação empírica, mesmo que o átomo não existisse factualmente. Ainda, de acordo com Videira, “a ‘existência’ do átomo é, pois, garantida por uma malha de relações físico-matemáticas [...]. Boltzmann pensava que a linguagem matemática empregada pela Física exigia o conceito de átomo” (2006, p. 274), isto é, matematicamente o modelo atômico, representado pelo cálculo diferencial baseado na discretização (ou atomização) de grandezas físicas (matéria, espaço e tempo), seria um tipo de analogia mais adequada, senão indispensável, para o cientista descrever os fenômenos naturais, diferentemente do cálculo diferencial baseado na continuidade²⁶ daquelas grandezas físicas que envolveria o conceito de infinito, que desagradava a Boltzmann.

Essa mudança da imagem atomística de natureza em Boltzmann acompanha, pois, a sua forma de enxergar o mundo que reflete-se em sua IFC – como dissemos anteriormente, existe uma relação interdependente entre imagens de ciência e de natureza. Segundo de Regt (2005, p. 214),

Isso exemplifica um padrão geral [entre Ciência e Filosofia]: posições filosóficas determinam em parte as metas que os físicos se impõem, (e.g., um modelo molecular realístico); mas quando uma meta se torna inatingível, eles são induzidos a modificar sua filosofia (e.g., enfraquecendo suas ambições realistas).

Essa mudança baliza, ademais, a forma como Boltzmann enxerga as teorias científicas; as teorias não mais procurariam descrever como é o mundo de fato, elas apenas adequam-se ao mundo dos fenômenos. De acordo com Boltzmann, “nós não temos o direito de querer derivar a natureza a partir dos nossos conceitos, mas, sim, em adequar os últimos à primeira” (1904, p. 173). Como afirma Elkana, de forma análoga, Boltzmann, nesta fase, “admite que nossas concepções e imagens existem apenas em nós, mas o fenômeno aos quais essas imagens têm que conformar-se existe independentemente de nós” (1974, p. 269). Logo, temos aqui uma abordagem que se assemelha ao instrumentalismo, em que nossas imagens (*Bild*) são como instrumentos-guia para o fazer

²⁶ Segundo van Strien (2015, p. 3276), “o cálculo diferencial é baseado na noção de continuidade: equações diferenciais descrevem o modo pelo qual a mudança em uma variável continuamente depende de outra variável, e é somente quando variáveis mudam continuamente que pode-se descrever esta mudança em termos de uma equação diferencial”. O problema para Boltzmann era o pré-requisito da equação diferencial de que as variáveis (referentes às quantidades físicas como massa, tempo e comprimento) assumam um valor crescente continuamente, assim como os números infinitos, na descrição de fenômenos físicos. Falaremos mais sobre as implicações do cálculo diferencial na interpretação de fenômenos naturais para Boltzmann.

científico, senão para a ação em geral, sendo que a validade dessa abordagem seria determinada pelo próprio sucesso - se mais ou menos adequado - do próprio fazer científico. De acordo com Cercignani (1998, p. 193) “ para o instrumentalismo, uma teoria física não é uma explicação, mas um sistema de proposições matemáticas, destinadas a representar um conjunto de leis experimentais em uma simples, completa e exata apresentação”.

Podemos, destarte, vislumbrar a partir dessa mudança ocorrida em Boltzmann, a coexistência de um realismo não ingênuo em relação à natureza, que, isto posto, existiria independentemente de nós, com um tipo de atomismo instrumentalizado, que existiria apenas de forma abstrata no interior de nossas teorias, como “uma malha de relações matemáticas” (VIDEIRA, 2006, p. 274) e não teria uma correspondência direta com o mundo por ser um tipo de imagem mental enquanto um modelo idealizado que apenas representa o mundo, como uma “analogia aritmética” (DE COURTENAY, 2002, p. 106). Independentemente da aparente mudança de posição, podemos levar em conta que, conforme assevera Dion (2013, p. 13), “não existe conflito entre possuir uma concepção realista do mundo externo paralela a uma ideia instrumentalista de Física Teórica”.

Aqui temos um ponto importante a discutir para que possamos compreender melhor as relações entre os elementos da ecologia cognitiva de Boltzmann. De um ponto de vista instrumental, ou seja, aritmético, *qual seria a melhor forma de descrevermos o mundo externo?*

Um ponto chave para entendermos a defesa de Boltzmann ao atomismo (e não apenas), mais à frente.

No próximo capítulo (sobre a IFC de Boltzmann) trataremos, pois, de aspectos gerais de sua defesa ao atomismo; já nesse capítulo procuraremos nos deter pontualmente nessa relação a fim de tentarmos dar uma resposta à questão acima colocada. A questão posta acima relaciona-se com outra questão que analisaremos mais detidamente: por que Boltzmann pensava que a linguagem matemática empregada pela Física exigia o conceito de átomo?

Coloquemos, já, o problema de Boltzmann relativo a esse ponto que queremos tratar nesta seção, qual seja: incomodava Boltzmann a forma de lidar com as equações

diferenciais na descrição de fenômenos pelas Ciências Naturais sem a aplicação do conceito de *limite* matemático, em uma acepção clássica do cálculo e em uma acepção de tipo critério de parada.

Para isso falaremos sobre a *relação entre um nível abstrato da matemática aplicada com a representação do real*. Esse é um ponto muito importante a ser tratado e retido: aqui existe uma conexão importante entre ICN e IFC, ou seja, notaremos que a partir de uma visão sobre a natureza do conhecimento humano (ou sobre como a Natureza se nos aparece aos sentidos), de um ponto de vista naturalista, Boltzmann determina seus pontos de vista metodológicos. Há aqui uma relação epistemológica e metodológica, portanto, importante. Por isso, nos deteremos um pouco nesta relação entre a matemática e Boltzmann, pois, cremos, ela é uma chave importante para entendermos (a) o modelo em Boltzmann, além da (b) defesa de algumas de suas posições em prol da criatividade em Ciência (desenvolvimento de hipóteses, por exemplo, ou da condição de *ultrapassagem da experiência*) e também sua (c) defesa ao atomismo (Cf. DE COURTENAY, 2002).

A relação entre esses aspectos, que de início não parecem implicáveis mutuamente, quais sejam, a criatividade e o atomismo, por conseguinte, o modelo, decorre da propedêutica dos fenomenólogos da física-matemática com os quais Boltzmann conflitava intelectualmente, que não viam problema com a presença do continuum no comportamento das equações, mas viam problema no comportamento dos cientistas que ultrapassavam a experiência com a proposição de hipóteses acerca de elementos imponderáveis e inobserváveis quando referidos a algo no mundo.

Em 1897, Ludwig Boltzmann escreveu dois artigos acerca desta questão, *Sobre o caráter imprescindível do atomismo na Ciência Natural (Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaften)* e *Mais sobre ao tomismo (Nochmal über Atomistik)*, (que mais tarde foram reunidos na compilação *Populäre Schriften*, em 1905). Nestes artigos Boltzmann apresenta sua preferência pela abordagem algébrica do discreto sobre o cálculo diferencial, e defende a necessidade da primeira para a *representação* (ou modelagem) de elementos empíricos e hipotéticos (pois são *analogias aritméticas* que referem-se a algo no mundo, existente ou não, como os *átomos*), embora essa alegada necessidade não descartasse o emprego aplicado das equações diferenciais relacionadas ao continuum, ou, sem a aplicação de *limite*. Segundo Visser:

Como para a continuidade e a descontinuidade do movimento e da mudança em Física ele [Boltzmann] pensava que hipóteses sobre eles [os átomos] fossem imagens e aquela última, a imagem descontínua era, apesar disso, necessária na Física como a teoria eletrônica demonstrara. De fato, sua defesa da realidade do átomo foi mantida de forma análoga pela sua defesa do amplo conceito de descontinuidade (VISSER, 1999, p. 137).

Ambas as formas de expressão matemática, a do contínuo (esta como a imagem preferida pela fenomenologia físico-matemática) e a do descontínuo, para Boltzmann, seriam igualmente tipos de imagens mentais empregadas classicamente pela Matemática, a despeito da predileção (expressada como *indispensável*) pelo emprego daquela última em Física por Boltzmann. A despeito disso, diz Boltzmann (1897a, p. 82): “estas [imagens da fenomenologia] deveriam ser cuidadosamente cultivadas ao lado do atomismo”. Boltzmann não exclui a abordagem via cálculo diferencial empregada pela fenomenologia. Desta forma, a questão acima poderia ser posta de outra forma, como se segue:

Por que Boltzmann demonstrou explícita predileção pela expressão matemática do discreto sobre o *continuum* na representação dos fenômenos pela Física?

Antes de tentarmos dar uma resposta, frisemos o seguinte: uma das origens deste argumento de Boltzmann, da *indispensabilidade do atomismo* (*viz. discreto*) como expressão matemática de entidades da Física, derivado do conceito matemático de *limite*, urge contra o argumento dos fenomenologistas matemáticos em prol, por sua vez, da aplicação do *continuum* na análise de fenômenos da Física via *equações diferenciais* e da esquiva ao emprego de entidades hipotéticas por estes últimos, “os quais demandavam o abandono dos princípios atomistas e sua substituição pela ideia de um *continuum* físico” (WILHOLT, 2002, p. 199).

Às questões primeiras colocadas acima subjaz uma outra questão: “como se pode chegar a um acordo com as entidades fictícias construídas pela matemática e que tipo de relação elas têm com o mundo [?]” (DE COURTNEY, 2002, p. 103). Ou seja, uma questão que preocupava Boltzmann era como dar uma expressão Física para entidades abstratas usuais em Matemática pura que parecem não ter contrapartida a Natureza (*viz.* o mundo externo percebido), e.g., números imaginários e irracionais, elementos da teoria dos conjuntos, elementos das geometrias não-euclidianas, etc. Na verdade, Boltzmann pondera sobre questões epistemológicas e uma questão fundamental aqui é como a

linguagem matemática pode relatar o mundo via *modelos* (imagens, representações). Portanto temos aqui já uma chave para a reconstrução do sistema cognitivo de Boltzmann.

Voltemos às questões primeiras, às quais podemos associar outra questão sobre a qual Boltzmann também ponderou, qual seja, qual a melhor linguagem matemática para a Física descrever e explicar entidades hipotéticas.

Se a Matemática pura lida com entidades fictícias sem par na Natureza, a Física, por seu turno, tenta dar uma expressão à Natureza. E o que incomodava Boltzmann era como a Física matemática dos fenomenologistas descrevia os fenômenos percebidos por meio dos *cálculos diferenciais infinitesimais*, tomando os conceitos matemáticos como dados, inclusive seus aspectos contínuos, sem ponderar sobre se a necessidade de uma determinada representação simbólica aritmética dos números reais poderia ser superior à outra em termos metodológicos e epistêmicos, e, por outro lado, incomodava-lhe como essa abordagem fenomenológica recomendava apenas a *descrição* matemática dos fenômenos sem a necessidade a recorrer a entidades hipotéticas (como átomos e forças, elementos cognitivos auxiliares para a *explicação* de fenômenos). Ou seja, os fenomenologistas preferiam apenas descrever via aritmética dos números reais os fenômenos em vez de também explica-los via *modelos* (*viz. Bilder*, ou simplesmente, imagens) diversos, o que, como veremos (Cf. cap. 6), tolhe do cientista sua condição de ultrapassagem da experiência (elaborar hipóteses) e tolhe o poder pedagógico (cognitivo) das teorias; seria essa a *configuração de racionalidade* dos fenomenólogos que perturbava Boltzmann. De acordo com De Courtenay:

De fato, se alguém dá a devida atenção aos aspectos concretos envolvidos no modo como se lida com essas equações, está fadado a reconhecer, afirma Boltzmann, que o significado das equações da física matemática deve ser elucidado, não em conexão com a intuição vaga de elementos indefinidamente divisíveis de comprimento ou volume (o que não dá nenhuma indicação definitiva de como o simbolismo deve ser usado), mas em conexão com o *conceito de limite* de uma sequência de pontos ou números (DE COURTNEY, 2002, p. 105).

Ou seja, tratarmos as variáveis das derivadas de uma função, como elementos de volume ou de comprimento, de forma contínua, precisaria de elucidações quando descrevemos a realidade a partir dessa abordagem; o que, como veremos, parecia não ser a adequada para Boltzmann e, portanto, as equações precisariam de um critério de parada sob o conceito *de limite*. Queremos dizer que, se temos dois pontos, y e x em relação em

uma função de tipo $y = f(x)$, a aproximação à derivada poderia prosseguir indefinidamente a medida que fossemos atribuindo valores a x e calculando os valores associados em y , caso não aplicássemos um limite a esse processo de derivação. Quando utilizamos, nesse contexto boltzmanniano, o limite em termos de critério de parada, estamos usando, aqui, o limite em uma acepção diferente da análise real e do cálculo diferencial e integral em termos de aproximação assintótica cada vez mais próxima do valor limite comum ao matemático, mas sim um limite de corte (*cut off*), no sentido de truncamento, de interrupção a esse processo. O conceito de *limite*, nestes termos, conferiria *discretização* aos valores das grandezas físicas, como aos elementos de volume e comprimento.

Segundo a posição de Mach acerca desse problema de Boltzmann, temos que:

Não tenho, portanto, nenhuma objeção a fazer quando Boltzmann elogia as vantagens da teoria atômica, acima de todas as outras concepções, para o físico. Ao investigador não só é permitido, mas espera-se que empregue todos os meios que possam ajudá-lo. Eu deveria ser mal-entendido, se um viés para a suposição de um contínuo pleno fosse atribuído a mim. Raios de luz foram investigados muito antes de sua periodicidade ser estabelecida. Por que isso também não deveria acontecer com o conteúdo do espaço? Tudo o que eu me oponho é a adesão permanente a acessórios arbitrários dos fatos. Não posso concordar com o ponto de vista de Boltzmann quanto ao ligeiro uso do elemento de volume. Eu atribuo ao elemento de volume, apenas com uma escala de medição alterada, características que são observadas em corpos estendidos; e a experiência me ensinou que o padrão de medição pode ser diminuído em qualquer extensão, sem que a forma do fato seja alterada. Não há, portanto, nada de hipotético a respeito, nem de qualquer obscuridade. Kirchhoff sabia muito bem por que ele preferia esses modos de pensar a qualquer outro. Os elementos de volume, com suas quedas de temperatura, comportam-se exatamente como corpos finitamente estendidos em circunstâncias similares; mas tenho essa vantagem, que posso construir a partir de elementos de pequeno volume, qualquer que seja o caso, por mais complicado que seja, com a exatidão que eu desejar. Eu não posso entender, portanto, porque toda equação diferencial deve necessariamente ser baseada em visões atomísticas (MACH, 1986, p. 445n).

Embora Mach não seja um cientista-filósofo com posições tão radicais quanto a de alguns cientistas da abordagem fenomenológica, conforme Neuber, que credita a Mach uma postura conciliadora nestes assuntos (Cf. NEUBER, 2002, p. 192), que achavam que a imagem atomística deveria desaparecer da Ciência (Cf. BOLTZMANN 1897a, p. 85), assim como Ostwald. Mach, não obstante pensasse que o investigador das Ciências Naturais devesse utilizar de todos os meios possíveis em seu empreendimento (nesse ponto ele concordaria com Boltzmann), Mach não via a posição atomística de Boltzmann como indispensável, de modo que, mesmo que lidássemos com equações diferenciais em

termos de contínuo, não havia problema em tratarmos, por exemplo, os elementos de volume, ou o conteúdo de espaço, em termos do contínuo, pois ainda assim teríamos a vantagem de representar qualquer estrutura, como elementos de volume, com a exatidão que se deseje alcançar por meio dos cálculos. O que incomodava Mach era a tomada de posição quanto a indispensabilidade do emprego desse tipo de atomismo da parte de Boltzmann. Mach tinha a noção do atomismo ao qual Boltzmann referia-se e defendia.

Sob os olhos de um leitor atento, a resposta a esse problema proposto por Boltzmann é que seria mais *fidel* representarmos a natureza, que, ao menos aos nossos sentidos, apresenta ‘suas grandezas’ não como ‘coisas contínuas’, mas sim descontínuas, numa linguagem matemática similar, pautada pela discretizações, ou seja, a bem de uma analogia mais *fidel*.

Uma resposta possível, mesmo que parcial, pois, cremos, o assunto não se esgota aqui (dado que esta questão se desdobra em vários níveis – ontológico, epistemológico, metodológico – e o assunto mereceria, certamente, maior profundidade investigativa). Uma noção para entendermos o problema que Boltzmann colocou acima pode ser dada em duas vias, a saber, em acordo com De Courtenay (2002, p. 107): **(M1) uma via metodológica**, concernente ao simbolismo matemático e **(M2) uma via epistemológica**, concernente ao nosso entendimento do fenômeno em termos da relação desta escolha metodológica (via equações diferenciais contínua) com o fenômeno (ou com a realidade).

Tentando responder “Por que Boltzmann demonstrou explícita predileção pela expressão matemática do *discreto* sobre o *continuum* na representação dos fenômenos pela Física?” via **(M1)**, temos que o *aspecto metodológico* desta solução recomendada por Boltzmann pode ser entendido como uma prescrição, ou como uma instrução para o emprego dos símbolos matemáticos evitando-se, desta forma, problemas conceituais concretos de ambiguidades a paradoxos, ou seja, se as ‘coisas’ do mundo físico, as quais nós relacionamos via *funções* matemáticas em nossas teorias, se nos apresentam não como contínuas, claramente uma forma de lidarmos com a representação aritmética dos números reais do mundo físico deveria ser aquela descontínua.

O atomismo de Boltzmann em termos instrumentalistas, sob esse aspecto **(M1)**, é o tratamento, baseado no conceito de *limite*, dado às equações diferenciais que lidam com os fenômenos físicos via grandezas discretizadas (*viz.* atomizadas). Essa seria uma

primeira definição que podemos dar ao atomismo de Boltzmann, a partir dessa discussão do problema de Boltzmann até o momento. Vejamos a seguir, como essa definição pode ser ampliada em termos epistemológicos depois de analisarmos o aspecto seguinte.

Uma primeira pista para esta predileção de Boltzmann pode ser explicada a partir do raciocínio que se segue.

A predileção por Boltzmann pelo discreto em vez do contínuo remonta, provavelmente, a antes da publicação, em 1877, de seu seminal trabalho *Sobre a relação da Segunda Lei da teoria mecânica do calor e o cálculo de probabilidade concernente aos teoremas sobre o equilíbrio do calor* concernente a uma escolha metodológica por Boltzmann por uma abordagem do discreto que solucionasse problemas concretos aplicados a sua linha de pesquisa em TCG (essa seria uma outra origem da predileção de Boltzmann, anterior, portanto, além daquela que urgia contra os fenomenólogos, citada acima). Segundo Wilholt (2002, p. 204), essa relação entre a entropia e o cálculo probabilístico:

Contém uma prova do teorema que hoje chamamos de relação de Boltzmann, $S = k \log W$. Este importante resultado relaciona o conceito de entropia (S) de um gás em um determinado macroestado à probabilidade (W) daquele macroestado. Esta probabilidade é por sua vez definida através do número relativo de microestados equiprováveis correspondentes a cada macroestado respectivo. Os microestados em questão são distribuições de energia entre as moléculas do gás. No entanto, uma vez que a energia cinética que cada molécula pode assumir é uma quantidade contínua, existem, naturalmente, infinitas distribuições de energia possíveis, correspondentes a cada macroestado. Portanto, a caracterização grosseira e levemente incorreta dos conceitos que acabo de dar, embora capture a ideia intuitiva por trás da relação entre termodinâmica e probabilidade, falando estritamente, envolve uma operação impossível: a comparação quantitativa entre números infinitos.

Ou seja, se tratarmos essa relação (S e W) em termos do *continuum*, e não em termos do discreto a partir do conceito matemático de *limite*, teríamos problemas em lidar com soluções infinitas²⁷ para a equação $S = k \log W$. Para Boltzmann o infinito seria apenas uma *transição* do conceito de limite. Esse é um ponto.

²⁷Sobre a solução do problema do infinito na probabilidade aplicada á 2ª Lei de TD: “Mesmo que essa maneira de lidar com o problema pareça muito abstrata à primeira vista, como a maioria dos problemas semelhantes, ele leva ao caminho mais rápido até a meta, e se considerarmos que *todo infinito na natureza nunca significa outra coisa senão uma transição-limite*, então não se pode conceber a infinita variedade de velocidades que cada molécula é capaz de adotar de qualquer outra forma, a menos que seja o caso limitante que ocorre quando cada molécula pode adotar velocidades cada vez maiores” (BOLTZMANN *apud* WILHOLT, 2002, p. 204).

Outro ponto é concernente ao fato de Boltzmann crer que não há *continuum* sem o atomismo (discreto): “o atomismo parece ser inseparável do conceito de contínuo” (BOLTZMANN, 1897a, p. 75). O conceito clássico de *limite* em cálculo, quando aplicado à uma *função*, entra na definição da *derivada* dessa função, i.e., uma derivada é definida como um tipo específico de limite. O limite expressa o valor que essa função assume quando a variável independente tende a um certo valor que pressupõe continuidade, ou seja, quando os valores vão mudando continuamente aproximando-se infinitamente daquele valor. O conceito de limite²⁸ em termos *cut off* quando aplicado em uma equação diferencial descreve o comportamento de uma função infinitamente próxima a um determinado valor da variável independente e isso permite definir as derivadas, i.e., as taxas de variações possíveis de valores de y em função de x , por exemplo, na função $y = f(x)$ e, por conseguinte, limite e derivada na análise estão associadas com a continuidade de funções. Boltzmann pressupõe isso como *auto-evidente* (Cf. WILHOLT, 2002, p. 205).

Não obstante ambas as formas de tratamento dadas às equações diferenciais, em termos do discreto ou do *continuum* sejam válidas para uma matemática pura lidar com suas ferramentas (símbolos), aquele segundo tratamento, todavia, como expressão Física dos fenômenos via cálculo diferencial, poderia levar a soluções falíveis e ambíguas (ou mesmo a soluções impossíveis, no caso do tratamento probabilístico da entropia). O *continuum* seria uma expressão menos precisa que a abordagem do discreto.

Boltzmann exemplifica essa sua predileção (e faz sua recomendação metodológica, por conseguinte) apresentando o modo como Fourier lidou com a solução acerca da propagação do calor via abordagem do discreto:

1) Imagine-se no interior do corpo (ou – se se pensa a partir de uma regularidade ainda mais geral – em uma variedade tridimensional limitada de modo adequado) inúmeras pequenas coisas (chamemo-las de corpúsculos elementares, ou melhor, elementos, ou no sentido mais geral, átomos), cada uma das quais possui inicialmente uma temperatura qualquer. Após um intervalo de tempo muito reduzido (ou, conforme o caso, após o acréscimo de uma quantidade variável), a temperatura de cada corpúsculo será a média aritmética das temperaturas anteriormente possuídas pelos corpúsculos de sua vizinhança imediata. No final de um segundo intervalo de tempo da mesma duração, repete-se o mesmo processo, e assim sucessivamente.

²⁸ “Este conceito, se aplicado à realidade física, deve, do ponto de vista de Boltzmann, ser entendido como segue: o limite de uma função é estabelecido aumentando um certo número (de partículas, de seções nas quais um intervalo é dividido) até um incremento adicional daquele número que não teria mais nenhuma influência “perceptível” no resultado” (WILHOLT, 2002, p. 200).

2) Imagine-se que tanto os corpúsculos elementares como os intervalos de tempo tornam-se cada vez menores e que a sua quantidade aumente proporcionalmente, detendo-se naqueles valores de temperatura em que uma diminuição ulterior não mais influencia perceptivelmente o resultado [critério de parada]. (BOLTZMANN, 1897a, p. 73-74).

Portanto aqui, nestas duas linhas argumentativas, subjaz a definição do conceito de limite em termos *cut off* nas palavras de Boltzmann. Essa seria a forma adequada de lidarmos com equações diferenciais ao representarmos os fenômenos físicos (com elementos, e.g., de volume, de comprimento, de tempo, de modo atomizado) como átomos, e não elementos que possamos derivar valores indefinidamente. Exemplificando, agora, aritmeticamente o conceito (acima) de limite, temos que (DE COURTENAY, 2002, p. 105):

De fato, considerando, em primeiro lugar, as regras que governam a manipulação do simbolismo do cálculo diferencial, não se pode considerar dx e dy isoladamente, como é o caso quando se representa para si mesmo dois elementos de comprimentos. Deve-se considerar a unidade dy/dx que, por *definição*, representa um *limite*, não para o quociente de dois comprimentos. Tal limite é definido por uma operação aritmética que atua em sequências de pontos (ou melhor, números: $x_0, x_0 + h$), atendendo a requisitos aritméticos específicos [temos então a seguinte função]:

$$\frac{dy}{dx} = f'(x_0) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{(x_0 + h) - x_0}$$

A partir da definição acima, temos que a equação de Fourier, exemplificada por Boltzmann, apresentada enquanto equação diferencial do *continuum*, seria definível por outra equação baseada em valores finitos (discretização). Segundo De Courtenay (2002, p. 106):

Este relato, baseado em definições, fornece instruções claras sobre como usar o simbolismo. Ela serve sempre que se tem que demonstrar algo relativo a equações diferenciais. Também é indispensável, observa Boltzmann, calcular soluções quando as equações são complicadas demais para serem resolvidas analiticamente, o que é de fato o caso. De fato, segundo Boltzmann, equações diferenciais são realmente instruções para cálculos, como fica claro no processo de calcular soluções aproximadas. Na maioria dos casos, resolver a equação de Fourier para a condução do calor requer substituir, de acordo com a definição, a equação diferencial pela equação de diferenças finitas da qual é o limite:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = C \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}$$

Torna-se:

$$\frac{T(x,t+k) - T(x,t)}{k} = \frac{T(x+h,t) - 2T(x,t) + T(x-h,t)}{h^2}$$

Isso nos leva de volta a instrução de Boltzmann, dado que a solução de uma equação diferencial é a sua integral²⁹, de acordo com Wilholt (2002, p. 201), “para Boltzmann, isso implicava que é indispensável compreender não apenas o infinito em termos do finito, mas também o continuum em termos do discreto”, e que

não há nada de errado com o contínuo matemático propriamente dito, é apenas em sua aplicação aos fenômenos naturais que ele deve ser acompanhado por uma concepção atomística da realidade subjacente (a fim de evitar a ambiguidade). Tal realidade atomisticamente compreendida pode, claro, não ser refletida com precisão por equações diferenciais contínuas (WILHOLT, p. 202).

À uma primeira vista, mesmo para uma pessoa que não tenha formação em Matemática ou em Física, salta aos olhos, intuitivamente, quando comparamos ambas as equações, a diferencial acima e a abaixo, da qual aquela deriva. A equação diferencial se nos parece uma ferramenta muito mais simplificada para calcularmos grandezas que a integral. Mas, justamente, seria esta simplificação que incomodava Boltzmann, não apenas o *continuum* das equações diferenciais que poderia, via *infinitudes*, trazer ambiguidades quando essa equação simplificada, enquanto *modelo de algum domínio de aplicação*, procurasse descrever a realidade, que seria, por sua vez, melhor representada por aquela última equação em termos do discreto.

Isso nos leva, por fim, a conjecturar mais uma terceira origem para a preferência de Boltzmann por esse tipo de expressão matemática na Física, pelo discreto, ainda dentro deste aspecto metodológico **(M1)**. Ela pode ser respondida por meio da prescrição de um dos postulados dos imperativos hipotéticos metodológicos da TCG, ao qual Boltzmann estava afiliado, qual seja: *o cientista deve evitar ao máximo simplificações formais para obter os resultados teóricos mais adequados, dada a complexidade do comportamento*

²⁹ Boltzmann (1897a, p. 85), representa a equação de transmissão de calor de Fourier com se segue: a forma diferencial $\frac{du}{dt} = k \Delta u$, que ele considera falsa, e a forma da equação que deveria ser aceita:

$$h \frac{du}{dt} = \frac{d}{dx} \left(k \frac{du}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(k \frac{du}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(k \frac{du}{dz} \right).$$

de um gás real quando lida-se com o movimento coletivo de um número enorme de moléculas. (Vide **(IHc)** na seção 4.2.)

Em suma, dada a complexidade das relações entre diversas grandezas (comprimento, volume, velocidade, tempo, massa, etc.) às quais atribuímos à descrição dos fenômenos naturais, usemos ou não entidades hipotéticas (explicativas) para tal empreendimento, para Boltzmann pareciam ser melhor representadas (modeladas) via equações baseadas nas discretizações (ou atomizações) dessas grandezas.³⁰

Por seu turno, por meio do aspecto epistemológico **(M2)**, seria possível além de respondermos a “Por que Boltzmann demonstrou explícita predileção pela expressão matemática do discreto sobre o *continuum* na representação dos fenômenos pela Física?”, também seria possível abordar as questões “Como se pode chegar a um acordo com as entidades fictícias construídas pela matemática e que tipo de relação elas têm com o mundo?” e “Qual a melhor linguagem matemática para a Física descrever e explicar entidades hipotéticas?”.

A partir do momento em que caracterizamos uma linguagem aritmética dos números reais para representar os fenômenos, deveríamos nos perguntar o porquê desta escolha.

Para Boltzmann, as equações diferenciais em termos do *continuum* não teriam muito em comum com os fenômenos, pois pareceriam menos *naturais* para tal finalidade. Todavia, o aparato matemático é indispensável para ser confrontado com o fenômeno, pela Física, como um tipo de *modelo aritmético* deste fenômeno físico. E Boltzmann elegeu seu aparato via atomismo.

Além de uma escolha metodológica por um tipo de equação destinada a representação do mundo (como vimos acima), ou destinada a criar uma imagem (*Bild*) do mundo dentro das teorias da Física, essa escolha tem uma base epistêmica.

³⁰“Obviamente, essa visão requer esclarecimentos. A análise aplicada na física pressupõe, evidentemente, o contínuo real dos números reais. É essencial que, para qualquer sequência monótona e limitada, o conjunto de números reais contenha o limite real para o qual a sequência converge, e não apenas muitos elementos da sequência até que o crescimento posterior não seja mais "perceptível". [...] Portanto, é até mesmo característico da análise real que ela não pode ser reduzida ao finito da maneira que Boltzmann prevê” (WILHOLT, 2002, p. 201).

Podemos dizer que o escopo desse aspecto epistemológico de escolha, em Boltzmann abarcaria: (a) um subaspecto metacientífico e (b) um subaspecto naturalista.

Sobre o aspecto metacientífico de (M2): a preferência epistêmica dessa escolha por uma representação atomística da natureza via discretização de grandezas nas equações que modelam os fenômenos também relaciona-se com o conflito entre Boltzmann e o modelo de racionalidade dos fenomenologistas. Como já dissemos, estes últimos recomendavam uma *postura científica* em que as nossas equações apenas deveriam descrever fenômenos, sem a necessidade de buscarmos explicações causais para os fenômenos, sem questionar a linguagem matemática empregada, se ela é mais *natural* ou demasiado *abstrata* para representar o real, aceitando-se as entidades matemáticas como dadas a priori, mesmo aquelas entidades que se afastariam incomensuravelmente do mundo fenomênico, como os números irracionais, as geometrias não-euclidianas, a teoria conjuntista, etc. Isso incomodava de fato Boltzmann, De acordo com de De Courtenay (2002, p. 104), “o argumento em questão é uma crítica [metacientífica] diretamente contra o privilégio assumido pelos físico-matemáticos a representar o fenômeno em termos de equações diferenciais [sem o critério de parada do *limite*]”, privilégio sob o qual jazia a recomendação de que “a Ciência deveria abandonar as explicações metafísicas destinadas a explicar os fenômenos” (DE CORTENAY, p. 105). Ou seja, deveríamos tanto aceitar a linguagem empregada para representar a natureza quanto os fenômenos em si como dados, portanto, sem a necessidade de tentar explicar nem o mundo abstrato dos números quanto o mundo real. Para Boltzmann, isso empobreceria cognitivamente o pensamento e, por conseguinte, desnutriria a criatividade humana de desenvolver teorias e hipóteses, que também deveria ser tarefa da Ciência. Em outros termos, como produzir conhecimento em meio a constritores tão severos? Segundo de Courtenay:

Em vez de *explicar* e, portanto, introduzir entidades hipotéticas, como átomos e forças que desafiam a observação, ela só deve procurar *descrever*. Tal descrição deveria ser alcançada em termos de equações diferenciais que se acreditava não conter nenhuma característica hipotética e refletir os aspectos contínuos dos fenômenos (DE CORTENAY, p. 105).

Isso é um problema epistemológico importante para Boltzmann e contrariaria a própria natureza humana (como veremos abaixo na discussão sobre o naturalismo).

Isso implicaria duas coisas, para Boltzmann: (a) usar uma aritmética dos números reais aparentemente pouco natural (lidar com o infinito via equações diferenciais em

termos do *continuum*) e simplificadora demais, contrariando a riqueza de elementos que as experiências físicas nos proporcionam aos sentidos e ao intelecto criativo e, por conseguinte, (b) inibir a diversidade da prática científica, sobretudo em termos de criar hipóteses, no contexto da descoberta, minimizando nossos recursos heurísticos para solução de problemas concretos na Física, e na Ciência em geral.

Por um lado, quando usamos as equações diferenciais para relatar os fenômenos, estamos lidando com “pontos, ou, mesmo mais acuradamente, com números. Não há, todavia, pontos no espaço físico; generalizando, não há números no fenômeno físico” (DE COURTENAY, 2002, p. 106). Desta forma, para Boltzmann, construiríamos imagens de mundo, ou modelos, insuficientes e mesmo ambíguos para relatar a riqueza da experiência. Isso pareceria fazer a Física se aproximar de um “movimento de aritmetização da matemática” (DE COURTENAY, 2002, p. 108) e se afastar do mundo dos fenômenos, do real. Que tipo de conhecimento produziríamos então, dessa forma, a partir da Física?

Usar uma aritmética dos números reais pouco natural para Boltzmann contém, portanto, uma crítica metacientífica ao emprego das equações diferenciais em termos do *continuum* como linguagem preferencial para descrever a riqueza dos fenômenos do mundo. Pensando sobre o sentido aritmético da equação diferencial, devemos retornar à definição de derivada e aos fundamentos do cálculo infinitesimal e, por conseguinte, a análise matemática em geral em direção à uma reconstrução artificial do cálculo (*aritmetização*), desconectado das representações geométricas e das dinâmicas dos fenômenos, pois, como comenta Boltzmann (1897a, p. 78), “além disso, há ainda o fato de todos os conceitos da fenomenologia serem tomados de empréstimo a fenômenos estacionários, não mais sendo válidos no caso do movimento turbulento”. Lidar com as equações diferenciais nos limitaria nesse sentido. “No entanto, o atomismo consegue, dessa forma, a vantagem de estar capacitado a dar uma imagem simples e compreensível de uma quantidade de fatos muito maior” (BOLTZMANN, 1897a, p. 80). Limitar a riqueza da experiência não seria um atributo, portanto, do atomismo.

Boltzmann parece entrar em choque, então, com um novo espírito da matemática, ou da “*primazia da aritmética*” (DE COURTENAY, 2020, p. 109) que contamina a metodologia na Física. A primazia da aritmética dos números reais, nesse contexto (de usar funções contínuas na descrição dos fenômenos), é um constritor, como descrevemos,

ainda maior ao ser associado à recomendação do evitamento às hipóteses. Embasadas nessa propedêutica negativa, as teorias científicas só teriam a perder, pois o emprego preferencial do cálculo diferencial em termos do *continuum* dentro desse espírito de aritmetização da Física diminuem seu poder de representação. Segundo Boltzmann:

Nós criamos funções analíticas dentro da representação dos fatos da experiência. Que estas funções são diferenciáveis não pode ser tomado como prova que as funções dadas empiricamente são equivalentes, desde que o número concebível de funções indiferenciáveis é infinitamente maior que aquelas diferenciáveis (BOLTZMANN, 1897c, p. 233).

Além do mais, como vimos acima, vale lembrar que os cálculos diferenciais em termos do *continuum*, para Boltzmann, são problemáticos, pois ambíguos, senão contraditórios, como vimos acima. Segundo Boltzmann, “de fato, se nós nunca adotarmos nada que seja infinito, se nós apenas calcularmos com magnitudes finitas que podem ser arbitrariamente grandes, nos nunca obteremos uma contradição” (BOLTZMANN apud WILHOLT, 2002, p. 207).

Certas escolhas metodológicas, portanto, como a preferência emprego das equações diferenciais, contaminariam, no contexto epistemológico, nossa forma de aprender e apreender o conhecimento e não trariam, necessariamente, ganhos epistêmicos (seriam formas menos ricas em imagens que contribuiriam também pedagogicamente em menor grau). Segundo Wilholt (2002, p. 202-203): “sem uma concepção atomística que subjaza à realidade, as equações diferenciais do contínuo são enraizadas em meros jogos com conceitos e permanecem falíveis e ambíguas. Assim sendo, o atomismo é indispensável para as ciências físicas se [o atomismo assim configurado] é para ser salvo da ambiguidade”.

Segundo Neuber (2002, p. 191) “a razão que Boltzmann pensa então é que equações pedem um número finito de partículas materiais, sem as quais a operação de *tomarmos um limite* permaneceria opaca”. Dito de uma outra forma, por um lado, nossa capacidade de atingir conclusões seguras e sem ambiguidades (que é algo que a Física almeja) sobre as questões com as quais as Ciências Naturais relaciona-se, os fenômenos, limitar-se-ia; por outro, se nós não podemos definir o infinito sem ambiguidades, de forma clara e precisa (assim como não poderíamos definir qualquer coisa a qual não temos acesso), nós não poderemos compreender o infinito, propriamente. Ou o que signifique o *continuum* de nossas equações. Diz Boltzmann: “não se acredite ter alcançado um claro

conceito de contínuo por meio do termo ‘contínuo’ ou da formulação de uma equação diferencial! ” (1897a, p. 74), afinal “nunca [parece] ser possível uma descrição direta de um âmbito de fatos, mas apenas uma imagem fornecida pelo pensamento” (BOLTZMANN, 1897a, p. 72). Ou seja, se uma descrição direta de qualquer fato, mesmo um fato ordinário já é impossível, quem dirá uma descrição dos fatos em termos do *continuum*?

Portanto, lidarmos com equações das quais *emergem o infinito*, que lidam com o contínuo, imporiam um limite para a nossa capacidade de compreensão e nunca atingiríamos conclusões precisas e deixaríamos de lado a riqueza da experiência dada a simplificação e a idealização das equações diferenciais, pouco naturais e muito abstratas (*viz.* artificiais). Para Boltzmann, aliás, se era a fenomenologia, que por seu turno apregoava o não emprego de hipóteses, “dá-se completamente o inverso se se está acostumado a pensar a partir da ótica atomística; a situação, nesse caso, é invertida e é a ideia de um contínuo que parece ultrapassar o domínio dos fatos” (BOLTZMANN, 1897a, p. 73), e seria, a visão atomística, “no entanto, uma imagem o mais livre de arbitrariedades” (BOLTZMANN, 1897a, p. 77).

Por outro lado, a aplicação da aritmética dos números reais na Física e o evitamento a hipóteses, de acordo com a propedêutica fenomenologista, representaria, para Boltzmann, como já dissemos, uma perda cognitiva, pois privaria o cientista de uma ferramenta importante voltada a novas descobertas que é propriamente a criatividade, a faculdade de *ultrapassar a experiência*. O evitamento a hipóteses seria equivalente à um cálculo sem sentido, ou lidarmos com *sinais vazios* de conhecimento relacionável aos fatos. Como diz De Courtenay (2002, p. 111): “um sistema de operações [como o cálculo diferencial do contínuo] permanece um mero cálculo sem sentido ou validade ao menos que ele seja completado por um modelo”. Frente a essa propedêutica negativa da fenomenologia, Boltzmann afirma que “o atomismo ainda é capaz de grandes desenvolvimentos” (1897a, p. 81).

Um adendo. Podemos distinguir aqui já uma expansão da concepção-*Bild* em Boltzmann, em que um modelo do mundo não seria apenas uma pura representação, enquanto analogia aritmética, mas conteria também elementos hipotéticos teóricos que fossem além da descrição da relação observável de fenômenos e se aventurasse pelas paragens criativas do intelecto humano em prol de uma maior inteligibilidade de nossas

representações matemáticas e em prol de novas descobertas, ou seja, a pura representação matemática é vazia de conteúdo sem uma explicação que a acompanhe, a Ciência pareceria algo engessada, indo em direção oposta ao ganho cognitivo. (Nos próximos capítulos discorreremos mais sobre isso.)

Adendo feito, levantemos mais um ponto importante, um que liga esse aspecto que discutimos, o aspecto *epistemológico-metacientífico* do problema de Boltzmann, ao próximo aspecto o *epistemológico-naturalista* (de viés psicologista).

Boltzmann reconhece as limitações do pensamento (que conecta, por sua vez, essa questão ao aspecto naturalista em Boltzmann via *leis do pensamento*, que será um conceito recorrente doravante e melhor configurado a partir da análise da IFC boltzmanniana), mas ele entende que essa limitação não implica um limite à condição de possibilidade do conhecimento (Cf. DE COURTENAY, 2002, p. 113-114). Todavia, a configuração de racionalidade proposta pelos fenomenólogos via emprego de equações diferenciais em termos do contínuo para representar o mundo (que *per se* já é uma forma de ultrapassagem da experiência), livre de hipóteses imponderáveis, limitaria essa infinita condição de possibilidade do saber: limitaria formas plurais de ultrapassagem a experiência.

De acordo com Boltzmann, “sem algo que vá, ainda que ligeiramente, mais além daquilo que é diretamente percebido [isto é, sem hipóteses], não existe nenhuma teoria, nem mesmo uma descrição nítida e conectada dos fatos naturais capaz de prever fatos futuros” (1904, p. 161) e “hipóteses que deixam algum lugar para a fantasia e que ousadamente vão além do material existente fornecerão inspiração contínua para novas experiências, transformando-se em guias para descobertas completamente insuspeitas” (BOLTZMANN, 1904, p. 166). Assim configurado, o seu atomismo teria um poder cognitivo e heurístico garantidos (Cf. NEUBER, 2002, p. 188), em que imagens desse tipo não representariam, para Boltzmann, um obstáculo para o desenvolvimento do conhecimento científico.

Mas os argumentos de Boltzmann não transitam apenas nesse patamar cognitivo-heurístico, pois Boltzmann se aventura e ousa em suas posições naturalistas, como veremos a seguir.

Sobre o aspecto naturalista de (M2): esse é um aspecto que relaciona-se com a linguagem e recebe forte influência do evolucionismo de Darwin. Podemos considerar esse aspecto naturalista do argumento epistemológico em favor do atomismo (como o mais natural e indispensável em relação ao *continuum* das equações diferenciais), como um psicologismo, algo polêmico em Boltzmann, pois ele traz consigo problemas. (Falaremos sobre alguns problemas derivados desse aspecto e mesmo sobre o naturalismo mais à frente.)

Esse aspecto embasa-se na ideia de *leis do pensamento*. Em suma, trata-se da ideia presente em Boltzmann de que nosso conhecimento acompanha nosso processo de evolução biológica. Durante esse processo evolutivo desenvolvemos linguagens para não só nos comunicarmos, mas para descrevermos e explicarmos o mundo ao nosso redor como uma necessidade adaptativa. E nosso intelecto não é perfeito e acabado, mas perfectível; portanto, via linguagens que desenvolvemos e por meio das quais nossas experiências com o mundo são relatadas, via nossas relações com o meio, propriamente, temos as bases do desenvolvimento de nosso conhecimento – nosso aprendizado é limitado por essas relações, mas a nossa condição de possibilidade de conhecimento, via criatividade, não. Esse processo é regulado pelas *leis do pensamento*.

Falaremos sobre esse aspecto da ecologia cognitiva global de Boltzmann (*leis do pensamento*) na seção seguinte e de forma mais robusta no capítulo seguinte, pois ele é crucial para entendermos o pensamento boltzmanniano, reiteramos. Por ora, nos ateremos a relacionar essa limitação que Boltzmann reputa ao nosso intelecto por conta de nossas limitações como seres biológicos com a representação via equações diferenciais do contínuo e nossa inteligibilidade dos fenômenos. Wilholt nos ajuda a caracterizar esse aspecto (2002, p. 206):

E desde que nossas leis de pensamento foram, através de aeons evolucionários e através de nossa experiência individual, informadas por experiências exclusivamente finitas, nós podemos somente entender o infinito na natureza como um limite de aumento de grandezas físicas. Para nossas mentes, o infinito como tal continua sendo um paradoxo insondável.

Nossos sentidos são limitados, por conseguinte, nosso intelecto é perfectível, e nós não temos acesso ao infinito que emerge do *continuum* das equações diferenciais. Diz Boltzmann (1897a, p. 74): “na verdade nós não temos acesso as partes contíguas [dos fenômenos]”. Relacionar este tipo de expressão matemática aos fenômenos parece

contrariar nossos sentidos. O fato é que nós até podemos *imaginar* o infinito, mas usá-lo como uma expressão da Natureza é um problema para Boltzmann. Como assevera Wilholt (2002, p 205):

A partir dessa posição psicológica [de Boltzmann], é [dado] apenas um passo muito pequeno para a conclusão de que, uma vez que a experiência de contar, a qual informam nossas leis de pensamento, é sempre uma experiência completa, apenas conceitos finitos podem ser completamente compreendidos por nossas mentes assim condicionadas.

Ou seja, se nós apenas podemos contar quantidades finitas, nossa experiência ordinária não favorece a nossa plena compreensão do que signifique o infinito.

Aliás, se nossos sentidos nos fornecem experiências fragmentadas dessa experiência ordinária, não temos uma visão do *continuum*, tampouco podemos definir com precisão cirúrgica o infinito. É a partir de nossos sentidos, por conseguinte, que nosso intelecto elabora modelos, imagens, *Bilder*, do mundo. Lidar com infinitudes parece contraintuitivo (como também parece contraintuitivo lidarmos com geometrias não-euclidianas³¹). Já a maneira do modelo atomista de lidar com as grandezas físicas representaria (os elementos de volume, de comprimento, p.e.), para Boltzmann (1897a, p. 75), “justamente como a representação mais natural” de descrevermos os fenômenos, mais próxima dos fenômenos com os quais lidamos, mais intuitiva, mais *concreta*.

Isto posto, porque insistir em usar estruturas matemáticas, como as equações diferenciais em termos do contínuo, para tentarmos descrever o mundo se podemos usar outras imagens, como o atomismo, mais intuitivas? Por que impedir os cientistas de elaborarem hipóteses em termos de imponderáveis enquanto utiliza-se de expressões simbólicas aritméticas dos números reais em termos do continuum, esse sim, parecia a Boltzmann, uma linguagem artificial e abstrata?

A questão para Boltzmann não era rejeitar modos de expressão matemática contraintuitivos. Pelo contrário. “A integração de novas características da racionalidade”, enquanto novas estruturas que surgiam dos desenvolvimentos da Matemática pura, “a

³¹ “Se alguém pode absolutamente não representar isso para si mesmo [Boltzmann está falando sobre geometrias não-euclidianas], deve-se precisamente tentar modificar nossa representação; se resultados subsequentes mostrarem que [isso] é desejável, deve-se tentar acostumar a representar para si mesmo [tal coisa]” (BOLTZMANN *apud* DE CORTENAY, 2002, p. 115). Lembremos o seguinte, que “modificar nossa representação” é um atributo das *leis do pensamento*, já que nossos cérebros estão em constante adaptação e evolução.

transformação da intuição”, quando buscamos compreender essas novas estruturas “e as leis do pensamento ocorrem no tempo através do processo de uso de modelos [como o modelo atomista]: de acordo com Boltzmann, essas transformações não podem ser o resultado de uma decisão puramente intelectual [como aceitar entidades, definições e postulados matemáticos como dados e emprega-los tacitamente na descrição do mundo]. De fato, é um processo prático, envolvendo corpo e ação” (DE COURTENAY, 2002, p. 115). Com o passar do tempo, novas abstrações da matemática são trazidas para o campo da descrição física, embora muitas delas sejam difíceis de serem visualizadas e possam parecer antinaturais e contraintuitivas. Um exemplo de modelo contraintuitivo são os números imaginários: eles não são números que emergem do nada para a nossa consciência, *a priori*, mas advém do desenvolvimento da matemática ao longo dos tempos, como o desenvolvimento de uma linguagem. “O conceito de número, se infinito ou finito, é em última instância embasado na experiência e nas nossas leis do pensamento” (WILHOLT, 2002, p. 206). O problema com alguns tipos de linguagens é que propriamente, como os números imaginários (e outras estruturas matemáticas já citadas) são impossíveis de imaginar, de formar uma imagem mental (*Bild*). De forma homóloga, o *continuum* das equações diferenciais da propedêutica racionalista dos fenomenólogos também seria algo difícil de imaginar se aplicado aos fenômenos de nosso cotidiano. De acordo com Wilholt (2002, p. 200):

Para Boltzmann, o atomismo é a posição que não faz essa suposição adicional [*do continuum*], e como ele considera a suposição totalmente injustificada, os fenomenólogos matemáticos vão além dos fatos observáveis do que os atomistas. Assim, o atomismo é a postura mais natural para um cientista que aplica o cálculo diferencial à natureza.

Portanto, entendendo a aritmética dos números reais como uma linguagem para ajudar nosso intelecto a representar o mundo, nós não precisaríamos escolher modos contraintuitivos de linguagem para tentar descrever o mundo dentre as várias formas de expressão e estruturas matemáticas desenvolvidas no curso dos tempos. Nós não precisaríamos de saltos tão abstratos se, por exemplo, já tínhamos uma abordagem atomística que, para Boltzmann, seria a mais representativa para a tarefa de ser uma linguagem mais palatável e natural (ou mais próxima de uma linguagem natural desenvolvida sob os auspícios das *leis do pensamento*) para a Física utilizar e para o intelecto relacionar aos fenômenos.

Em suma, esse aspecto naturalista-epistemológico recomenda que seria mais prático para o conhecimento científico ser expresso quando usamos uma linguagem menos artificial possível, mais prático é útil para a compreensão em vários níveis – pedagógico, científico, filosófico – já que um dos principais objetivos da Física (e, por extensão, da Ciência em geral) é dar *descrições* e *explicações* o mais livres de ambiguidades. (Ressaltemos aqui que essa relação entre o que Boltzmann chama de ciências *descritivas* e *explicativas* revela-nos uma importante tensão em Boltzmann que será retomada no capítulo seguinte.)

O argumento que Boltzmann emprega para sustentar essa tese é o seguinte. Se nós só temos nossas linguagens para representar o conhecimento científico, escolhamos a mais adequada. Por mais adequada, entenda-se aquela que dá conta de uma gama maior de fenômenos da forma mais eficaz, clara e simples, que tenha uma maior aproximação com a base empírica que procura representar. Quanto menor for o grau de abstração, maior seria a semelhança entre a representação e o objeto, portanto, a linguagem da matemática em termos do discreto seria a mais natural por fazer menos pressupostos arbitrários.

Linguagens, de uma forma geral, nós desenvolvemos para a nossa expressão: exprimirmos desde nossos sentimentos, as nossas teorias empíricas das ciências naturais, até ramos mais abstratos do saber, como nas ciências matemáticas. Para tal expressão, criamos símbolos: números, letras, etc. As linguagens, por seu turno, são desenvolvidas a partir de nossas relações com o meio, de nosso aprendizado a partir dessas relações com o meio-ambiente e pela necessidade de nos adaptarmos continuamente em um meio em transformação. Os símbolos das diversas formas de linguagens vão sendo, aos poucos, ao longo de muito tempo, naturalmente desenvolvidos para dar conta de favorecer nossa relação com o meio, nossas relações mútuas entre seres humanos, favorecendo nossa adaptação.

Os números, que por seu turno são empregados em construções aritméticas como uma linguagem para a Física expressar suas representações, também, como os demais símbolos da linguagem escrita, foram desenvolvidos a partir de nossas relações com o meio: com os números, aprendemos a enumerar os elementos finitos de nossa experiência ordinária; num âmbito mais sofisticados como o da Física, podemos expressar nossas ideias (*viz.* teorias, hipóteses). Para Boltzmann, não há nada *a priori*, tampouco os

números: eles são produtos de uma evolução natural e gradativa, como ferramentas destinadas a ajudar o homem nessa relação adaptativa ao meio.

Aqui agora surge um ponto principal a ser ressaltado: como empregar essa simbologia aritmética dos números reais. Âmbitos diferentes da Ciência empregam diferentes linguagens para expressar seu conhecimento e muitas compartilham a aritmética dos números reais para tal fim. A Matemática pura, por exemplo, usa uma linguagem aritmética altamente abstrata, sem contrapartidas empíricas, para expressar seu conhecimento: números irracionais e imaginários, teoria conjuntista, paradoxos, infinitos reais e potenciais, etc. Essa linguagem se aplica perfeitamente para esse ramo tão abstrato do saber, mas não se aplicaria para a Física, por exemplo. A Física procura dar respostas a problemas de ordem empírica; enfim, a Física procura representar o mundo; e mesmo que a Física esteja representando um elemento hipotético que pode não ter existência fatural, ela o deveria fazer como se fora um objeto do mundo.

Assim como a Matemática, a Física emprega uma linguagem aritmética dos números reais, usa símbolos. A diferença está em como empregar esses símbolos. Quanto mais próximos de uma descrição empírica, mais *naturais* seriam. Quanto mais saturada *abstracionalmente*, a linguagem seria mais artificial e, portanto, mais distante da base empírica. O argumento naturalista, então, recomenda o seguinte: para um ramo do saber, como o das Ciências Naturais, que engloba a Física, que deveria ter uma relação mais aproximada ao seu objeto de estudo, *deveria* ser mais natural, i.e., estar mais próxima daquela que enumere e descreva e explique os fatos ordinários, ter um maior grau de similaridade. Segundo Dutra (2006, p. 251), algo mais próximo à “atividade de classificar os objetos da experiência comum, que é um dos elementos constitutivos mais fundamentais do conhecimento humano em geral” de modo que “a similaridade como uma ferramenta cognitiva” traria ganhos epistêmicos em termos pedagógicos. Epistemologicamente falando, facilitaria ao nosso intelecto compreender e aprender os conceitos menos saturados de conceitos abstratos, como o do *continuum* e do infinito, reduzindo, para o sujeito epistêmico lidar com contradições e paradoxos, e favorecendo a retenção do conhecimento se o emprego dos símbolos se der de forma mais clara e sem ambiguidades.

Uma definição mais sofisticada do atomismo de Boltzmann, sob os aspectos (M1) e (M2), portanto, ficaria assim: esse atomismo é o tratamento dado às equações

diferenciais que representam os fenômenos físicos via discretização dos valores das grandezas físicas derivadas de uma função aritmética definidos em termos do conceito de *limite* na acepção de tipo *cut off*, de modo a adotarmos um critério de parada ao comportamento de uma função (e a ideia do *continuum* não seria nada além de uma transição desse limite matemático), de modo que, por conseguinte, pudéssemos (a) extrair de nossas teorias um conhecimento claro e preciso evitando soluções infinitas em potência e (b) favorecer a nossa compreensão dos fenômenos modelados via teoria, e da própria teoria por conseguinte, sem ambiguidades ou paradoxos, pois lidar cognitivamente com o conceito de infinito nos é incompreensível; ele é antinatural para nosso cérebro definir – o infinito como ‘visto’ pela matemática não tem par na Natureza, ou no mundo, ao menos como o mundo se nos mostra aos sentidos.



Dissemos que esse aspecto naturalista-epistêmico que também embasa, por sua vez, a direção tomada à preferência pelo atomismo em Boltzmann é polêmico. Apresentemos dois problemas que Wilholt destaca, quais sejam:

(a) que esse tipo de argumentação não garante a indispensabilidade do atomismo como se fora, automaticamente, uma forma mais natural de expressão matemática, mas sim, em vez de *indispensabilidade*, é uma imagem teórica *preferível*, isto é, uma preferência não garante sua indispensabilidade, um problema epistemológico que leva a uma escolha metodológica acerca da aritmética dos números reais aplicados a Física. Segundo Wilholt:

Até agora, o raciocínio de Boltzmann fornece um argumento de que o atomismo é preferível com relação ao pressuposto de que a imagem científica deve conter o mínimo possível de elementos arbitrários. Esta retórica é, naturalmente, projetada para derrotar seus adversários científicos Mach, Ostwald *et al.* com suas próprias armas. No entanto, devo admitir, não se soma a um argumento para a *indispensabilidade* do atomismo, porque "fazer menos pressupostos arbitrários" é uma característica que pode tornar um quadro teórico preferível, mas não automaticamente indispensável (Cf. WILHOLT, 2002, p. 200).

(b) que essa forma psicologista de Boltzmann defender a naturalidade da expressão matemática atomista sobre àquelas que expressam o *continuum* (pois, nosso intelecto não tem acesso ao infinito e a natureza se nos apresenta como descontínua) via

leis do pensamento, não se sustentaria, pois, “as leis do pensamento, mesmo concebidas como condicionadas pela nossa história evolucionária, não necessariamente refletem a constituição da natureza” (WILHOLT, 2002, p. 208). Dito de outra forma, Boltzmann considerar o seu atomismo como uma condição para resultados práticos livres de ambiguidades e contradições na Ciência não implica que a natureza deva ser descontínua, mas que o discreto seria mais fiel à cognição humana. Segundo Wilholt:

Boltzmann suspeitava que a evolução geralmente favorece características que são úteis em alguns casos e então se torna tão profundamente arraigada na constituição biológica do organismo que elas não podem ser abandonadas se não se mostrarem apropriadas em todas as circunstâncias. [...] Isso mostra que, de acordo com a própria concepção de leis de pensamento de Boltzmann, elas não podem ser vistas como espelhando de maneira confiável a natureza que as selecionou; e o argumento matemático para o atomismo, na medida em que repousa sobre as exigências impostas por nossas leis de pensamento, não pode estabelecer que essa natureza deve realmente ser constituída atomisticamente (WILHOLT, 2002, p. 209).



Antes de finalizarmos esta seção, para sumarizar, retomemos, pois, as perguntas, sob a ótica desse atomismo de Boltzmann: “Por que Boltzmann demonstrou explícita predileção pela expressão matemática do discreto sobre o *continuum* na representação dos fenômenos pela Física?”, “Como se pode chegar a um acordo com as entidades fictícias construídas pela matemática e que tipo de relação elas têm com o mundo?” e “Qual a melhor linguagem matemática para a Física descrever e explicar entidades hipotéticas?”.

Para Boltzmann, esse atomismo seria uma representação mais adequada dos fenômenos, “uma teoria que se apoia em uma base tão clara e inabalável” (1897a, p. 84), não saturada metafisicamente, contanto que não atribuíssemos existência real aos *elementos* tratados pelas equações matemáticas, e a mais livre de arbitrariedades, pois, “na medida em que atribuímos aos átomos em questão tantas propriedades quantas são necessárias para descrever, do modo mais simples, um pequeno domínio de fatos, podemos obter para um tal domínio, um atomismo especial [ou específico, posto que especializado para um dado domínio, o que nos leva a pensar em muitos atomismos para cada caso em particular]. É verdade que este atomismo não é, como penso, uma descrição direta” e não se relaciona com uma visão clássica e metafísica do atomismo, mas é, “no entanto, uma imagem o mais livre possível de arbitrariedades” (BOLTZMANN, 1897a, p. 76-77). Aliás, dessa forma apresentado por Boltzmann, o atomismo tem “a vantagem

de estar capacitado a dar uma imagem simples e compreensível de uma quantidade de fatos ainda maior” (BOLTZMANN, 1897a, p. 80). Como vimos, há um valor cognitivo e um valor heurístico intrínsecos em seu atomismo. Boltzmann não perde de vista que um dos principais objetivos da Ciência é o contexto da descoberta, não apenas na previsão de novos fenômenos, mas também na elaboração de teorias cada vez mais simples, econômicas e abrangentes (quicá unificadoras; lembremos da Mecânica Estatística unificando a Termodinâmica e a Teoria Cinética dos Gases por meio da abordagem mecânico-estatística da 2ª lei da Termodinâmica – cf. capítulo 4).

Isto posto, para tentar responder a estas questões, dividimos o problema em níveis, para uma melhor compreensão analítica. Tratamos as questões a partir de um aspecto metodológico e outro, epistemológico. Por sua vez, dividimos o aspecto epistemológico em dois subaspectos, um metacientífico e outro naturalista.

A partir do aspecto metodológico, Boltzmann cria que o atomismo (*viz.* tratamento matemático de magnitudes baseado nas discretizações destas, ou no *conceito de limite em termos cut off aplicado às equações diferenciais*) era superior ao emprego das equações diferenciais do contínuo – as equações diferenciais do contínuo seriam derivadas do atomismo, uma transição-limite. O atomismo evitava problemas relacionados com soluções infinitas e foi útil para a construção de sua interpretação estatística da entropia. O atomismo, de mais a mais, parecia uma abordagem matemática que, com menor grau de simplificações que as do cálculo diferencial (simplificações que aumentaria o grau de abstração destas ao representarem os fenômenos e, portanto, aumentariam as ambiguidades na descrição fenomênica), e, por conseguinte, representaria de forma mais fiel a complexidade do mundo. Para Boltzmann, o cálculo diferencial era uma construção deveras artificial.

A partir do aspecto epistemológico, de uma forma geral, podemos dizer que para Boltzmann o conhecimento produzido a partir da abordagem atomística estaria livre de ambiguidades e contradições que, por sua vez, tenderiam a acompanhar o cálculo diferencial via *continuum* e infinitudes – o atomismo, portanto, visto por Boltzmann como um melhor produtor de modelos do mundo. Na verdade, entendemos que para Boltzmann, tentar extrair conhecimento do mundo via equações diferenciais, que se relacionariam com o *continuum* e com o infinito matemático, seria contraintuitivo. Daí o subaspecto metacientífico, pois Boltzmann tratava seu atomismo também como uma propedêutica

para o fazer científico livre de ambiguidades (aliás, livre das amarras da ortodoxia *anti-hipotetizações* que vinha acompanhada das recomendações da fenomenologia físico-matemática) e da artificialidade do cálculo diferencial do *continuum* – com esse argumento, pôde debater sobre as bases metodológicas e epistemológicas da Ciência.

Já a partir do subaspecto naturalista (psicologismo), Boltzmann entendia que o cálculo diferencial, enquanto linguagem, era menos natural para expressarmos o mundo, por conter ininteligibilidades como o infinito, contrariando nossas experiências ordinárias de mundo e, por conseguinte, nossa forma de aprender e apreender o mundo, aprendizagem que desenvolvemos ao longo da evolução de nossa espécie via *leis do pensamento*.

Em suma, para Boltzmann, as entidades fictícias construídas pela matemática não têm contrapartida na natureza, elas apenas são analogias para descrever e explicar os fenômenos, imagens para representar o mundo. O atomismo seria aquela imagem que, por parecer a mais natural para Boltzmann (sejam por razões metacientíficas, por abarcarem uma maior quantidade de fenômenos com menos simplificações que as equações diferenciais do contínuo, representando de forma mais fiel o mundo; seja por uma razão baseada em psicologismos, como a linguagem mais natural em acordo com a maneira como nossos cérebros percebem e se relacionam com o mundo e o nosso conhecimento evolui mediado pelas *leis do pensamento*), livre de arbitrariedades como o *continuum* tão contraintuitivo; o atomismo melhor se candidataria para tal fim. Além do mais, as equações diferenciais do contínuo seriam um caso especial de atomismo, no contexto das definições matemáticas. E, pelo fato de Boltzmann não comungar com a propedêutica *descritivista* fenomenologista (evitar hipóteses) e acreditar que não se pode fazer Ciência sem hipóteses e *explicações* a bem do ganho cognitivo, a partir do ponto de vista de que “se explicações são vistas como provedoras de conhecimento onde o entendimento é uma atividade cognitiva” (BAILER-JONES, 1999, p. 35), Boltzmann entende que o atomismo seja o melhor representante do empreendimento científico (mas não exclui as demais formas de expressão) no âmbito da Física (viz. *Ciências Naturais*).

Isto posto, a despeito dos problemas citados acima (possíveis falácias no argumento de Boltzmann para justificar sua preferência), o atomismo de Boltzmann não seria apenas algo representativo de sua imagem mecânico-estatística de natureza, ele rompe as margens de sua ICN e abre-se para profundas discussões filosóficas (sobre a

essência da matemática) e metacientíficas (sobre escolhas por modelos de racionalidade na prática científica e suas implicações).

Não obstante, a bem do contexto geral deste trabalho, deveremos ressaltar que um ponto para a discussão futura que tiramos a partir dessa atual discussão é uma primeira definição de *modelo* em Boltzmann: aquele de tipo *analogia-aritmética* (ou *equação-como-modelo*), com funções cognitivas e heurísticas.



Falamos anteriormente sobre como a postura naturalista, impregnada por uma forte influência da teoria evolucionária de Darwin, também foi representativa, embora polêmica, para Boltzmann sustentar seus argumentos em prol do atomismo frente ao *continuum*. Tracemos, a seguir, algumas linhas para entendermos melhor essa sua postura naturalista e o naturalismo.

5.2. Do evolucionismo e do naturalismo

“Boltzmann tinha uma tremenda admiração por Darwin e desejava ampliar o darwinismo da evolução biológica à cultural.”
S. R. De Groot (1974, p. xii)

Antes de iniciarmos a discussão desta seção, mapearemos algumas definições de naturalismo a partir de Niiniluoto e Giere.

De acordo com Niiniluoto (1991, p. 137), “este programa do *naturalismo filosófico* é caracterizado pela suposição de que a Ciência é o paradigma da racionalidade humana. Desse modo ele tenta reduzir a normativa *deve* para o histórico *é*”. Desta forma, podemos sugerir que o naturalismo enquanto tese metacientífica não acredita na fixidez do conhecimento científico, bem como do conhecimento em geral, pois o conhecimento é algo no mundo sujeito às transformações histórico-culturais do homem.

Já a o naturalismo citado em Giere (1999a, 2001), para a Filosofia da Ciência como para a Filosofia em geral, pode ser subdividido em dois tipos, quais sejam: o naturalismo ontológico e o naturalismo epistemológico. Estes, por sua vez, pertenceriam a um naturalismo de tipo metodológico, entendemos. De uma forma geral, o naturalismo em suas formas é mais uma tese negativa que sobre o que se rejeita que algum tipo de doutrina e, por conseguinte, representaria uma ação filosófica (Cf. GIÉRE, 2001, p. 308). Isso representaria o naturalismo metodológico. De acordo com Giere (1999a, p. 70), a sua forma metodológica “caracteriza o naturalismo não em termos de teses sobre o mundo, mas em termos de um conjunto de estratégias a serem empregadas na busca de compreender o mundo”. Sendo assim, a forma metodológica do naturalismo seria a mais geral e as subdivisões poderiam se caracterizar como se segue:

[a] Ontologicamente, o naturalismo implica a rejeição do supranaturalismo. Tradicionalmente significa uma rejeição de qualquer deidade [...] a qual se encontra fora da natureza como criador e criatura. Positivamente, naturalistas sustentam que a realidade, incluindo a vida humana e a sociedade, se exaure pelo que existe na ordem causal da natureza [...].

[b] Epistemologicamente, o naturalismo implica a rejeição de todas as formas de conhecimento *a priori*, incluindo os princípios de validação epistêmica do mais alto nível. Positivamente, naturalistas afirmam que todo conhecimento deriva da interação humana com o mundo natural. Isso inclui nossos sentidos, mas também pode incluir técnicas e tecnologias de origem humana, como o teste da hipótese estatística e microscópios (GIÉRE, 2001, p. 308).

Não nos deteremos demasiadamente na discussão do naturalismo em Boltzmann nesta seção, já que o retomaremos no capítulo seguinte, em que procuraremos dar uma caracterização mais robusta a esse naturalismo dentro da sua IFC. (Vide seções 6.3, 6.4 e 6.6). Como vimos na sessão 5.2 acima, consideramos dois aspectos do atomismo em Boltzmann, um metodológico e um epistemológico, por isso colocamos esse tipo de atomismo em uma zona de intersecção entre suas ICN e IFC. Seremos breves sobre a análise do naturalismo a partir de sua epistemologia evolucionista (inspirada deveras em Darwin). Embora se nos parecesse mais lógico discutir esse tipo de naturalismo somente no capítulo seguinte (em que trataremos da IFC em Boltzmann, pois seria o que nos pareceria mais óbvio, já que estamos falando de naturalismo filosófico e epistemológico, logo IFCs), aqui o consideramos, pois, defendemos a tese que neste tipo de naturalismo também se imiscuam elementos de uma ICN. Retomaremos esse ponto.



Isto posto, voltar-nos-emos ao naturalismo em Boltzmann.

Pensando na breve taxonomia de naturalismos apresentada acima, a postura de Boltzmann se assemelharia àquela proposta por Niiniluoto (naturalismo filosófico enquanto tese metacientífica) e o último tipo proposto por Giere, qual seja, o naturalismo epistemológico. (Cremos não ser adequado associar Boltzmann ao naturalismo ontológico assim como posto por Giere. A partir de suas biografias - não a tratada aqui neste trabalho, em que apresentamos uma biografia científico-acadêmica resumida - entendemos que Boltzmann tenha sido uma pessoa religiosa.) Em prol da simplicidade, chamemos, doravante, Boltzmann apenas por naturalista: entendamos, destarte, quando dissermos o naturalismo em Boltzmann, por um naturalismo de tipo epistemológico/filosófico.

(Isso nos saltará aos olhos quando aprofundarmos a discussão sobre a postura de Boltzmann acerca desse tema, sobretudo no capítulo que se seguirá.)

Outra componente de relevância da ecologia cognitiva global boltzmanniana, é aquela que relaciona-se com o próprio conhecimento e que podemos chamar de *naturalismo*, i.e., Boltzmann cria que existisse um mecanismo evolutivo natural como veículo apriorístico naturalizado de transmissão de conhecimento, que ele chama de *leis do pensamento*. Segundo Boltzmann:

É certo que nós não poderíamos ter nenhuma experiência caso não nos fossem inatas certas formas de relação entre percepções, ou seja, formas do pensamento. Se desejarmos chamar tais formas do pensamento de leis do pensamento, é certo que elas são, nesse sentido, apriorísticas, já que se encontram em nossa alma ou, se preferirem, em nosso cérebro. [...] Essas leis mentais formaram-se segundo as mesmas leis da evolução, como o aparato ótico do olho, o [aparato] acústico do ouvido e o dispositivo bombardeador do coração (1904, p. 171).

De acordo com essa posição, o ser humano está fadado às suas características biológicas e ao meio em que vive e o desenvolvimento do conhecimento, por conseguinte, derivaria de um processo evolutivo em que o homem aprenderia a partir de sua relação com o meio e suas experiências pregressas. Esse aprendizado seria, destarte, moldado, adaptado, melhorado e transmitido de geração em geração, num contínuo processo. Claro está que o a priori de Boltzmann não é algo fora do mundo, mas se encontra em nosso cérebro. “O cérebro de animais e de humanos evoluiu através de interações com o ambiente [e a] limitação de nossos pensamentos está ao par com a limitação de nosso

campo de experiência para com as experiências passadas” (DE COURTENAY, 2002, p. 114).

Ao pensar assim, Boltzmann nega ideias apriorísticas da metafísica transcendental de Kant. (Na verdade, como veremos na seção 6.6, Boltzmann tem uma profunda aversão a toda ideia metafísica da Filosofia pura, como idealismos em geral.) A partir dessa visão de mundo, Boltzmann pôde desenvolver sua teoria do conhecimento em que nossas ideias, nossa linguagem e teorias, adaptam-se constantemente ao mundo de acordo com um processo evolutivo regulado pelas leis do pensamento e pelas nossas relações com o meio e com nossas experiências (memória), como contrapartida à uma epistemologia transcendental, como àquela kantiana.



Embora, o naturalismo seja uma tese/atitude filosófica, num primeiro momento essa postura deve ser certamente classificada como uma componente de uma IFC. Todavia consideremos o seguinte: quando Boltzmann fala sobre *leis do pensamento*, ele faz afirmações sobre a natureza do conhecimento humano, logo, sobre a natureza humana. Entendemos que isso é fazer uma afirmação ontológica, no sentido forte, sobre a essência do conhecimento humano, ou dito de outra forma, afirmações substantivas acerca da natureza, o que implica colocarmos esse seu naturalismo numa zona fronteira entre suas IFC e ICN.

A partir de seus argumentos naturalistas-epistemológicos é que enxergamos uma pressuposição ontológica sobre o que é inato no homem para fundar o seu conhecimento, como *leis do pensamento*, como uma propriedade do cérebro, que regulam o nosso aprendizado, como a já citada capacidade natural de enumerar de forma finita os elementos de nossa experiência ordinária, pois temos aqui argumentos baseados em um psicologismo (que os torna problemáticos) sobre algo como um “faro inato” (DUTRA, 2006, p. 251) para o conhecimento, para nos desenvolvermos cognitivamente dessa forma genético-biológica-*a priori*, ou, como se tivéssemos *a priori*, inscrito em nossos genes (que não era um termo em tempos de Boltzmann, só estamos fazendo um anacronismo pedagógico) leis para a cognição que se refletiriam na nossa função cerebral.

Portanto poderemos classificar esse tipo de naturalismo, respectivamente, como contendo um lado epistemológico (ao fazer afirmações sobre o conhecimento) e outro ontológico (ao fazer suposições ontológicas sobre a natureza humana, mesmo que elas tenham um caráter *psicologizante*). Não queremos entrar em temas de ordem da Filosofia da Mente em Boltzmann, mas discutir seus pontos de vista nestes termos é importante para o desenvolvimento do propósito deste trabalho.

Este tipo de naturalismo proposto por Boltzmann, assim podemos considerar, encontrar-se-ia numa zona de intersecção entre suas ICN e IFC, e não apenas define esta zona de intersecção, pois seu próprio atomismo instrumentalizado também poderia ser adicionado aos elementos que compõem essa intersecção. A consideração, isto posto, vale para a sua imagem mais madura de um atomismo, abstrato e formalizado, mais relacionado com uma estrutura matemática (ou um tipo de cálculo baseado na atomização de grandezas físicas: átomos de espaço, átomos de tempo, etc.) que com algo realmente existente no mundo, intersecto, também, entre as ICN e IFC boltzmanniana, dado o seu duplo caráter metodológico/epistemológico, revelado na discussão em 5.1. Portanto, novas discussões acerca destas duas componentes da ecologia cognitiva boltzmanniana serão retomadas no capítulo seguinte, em que trataremos propriamente dos elementos constitutivos da IFC de Boltzmann.

Assim, de mais a mais, com isso, notamos como as ICN e IFC se retroalimentam.

Mostraremos, a seguir, o quanto se torna problemática a tarefa de classificar abordagens não triviais e sofisticadas como as de Boltzmann em termos de uma nomenclatura, ou uma taxonomia, de rótulos simples (haja vista as discussões acima sobre seu atomismo – sobretudo aqui, no caso do atomismo, em que temos muitas questões em superposição – e seu naturalismo), por meio de uma breve discussão da literatura, embora frisemos que essa referida sofisticação saltará aos olhos do leitor quando apresentarmos, no item seguinte deste capítulo, os principais elementos da IFC de Boltzmann. Já citamos que não há contradição em termos uma posição instrumentalista acerca do método aplicado em nossas teorias e uma posição realista acerca do mundo externo: mas um problema é definir precisamente um tipo de pensamento como o de Boltzmann.

5.3. Uma breve revisão do realismo em Boltzmann

*“A realidade só pode ser abordada tomando os caminhos da ficção”
Nadine De Courtenay (2002, p. 113)*

Ao analisarmos determinados pontos de vista de cientistas ou de uma comunidade científica, os filósofos da ciência tendem a classifica-los – de acordo com a reconstrução das componentes e da relação interdependente de suas ICN e IFC – se tais olhares são realistas ou antirrealistas dito de uma forma genérica. Todavia, como pudemos observar, frente às mudanças de posicionamento de Boltzmann, sobretudo em relação ao atomismo, a tarefa de classificar seu pensamento não nos parece óbvia.

Entre alguns comentadores de Boltzmann, notamos controvérsias quando estes procuram caracterizar sua posição – se realista, se instrumentalista. De fato, Boltzmann não parecia trivial aos seus pares quanto à sua postura. Sobre esse tipo de abordagem dinâmica que confunde os comentadores e críticos acerca de como se posicionar frente ao pensamento boltzmanniano, Planck apresenta um relato de grande importância histórica, sobretudo pelo fato de ter convivido com aquele, qual seja:

No entanto, as considerações atomísticas, que hoje parecem tão sedutoras e promissoras, até há pouco tempo eram consideradas apenas hipóteses engenhosas. Aos olhos de cientistas circunspectos, era temerário ultrapassar num único salto a fronteira que separa o visível e o controlável, de um lado, e o invisível e o misterioso, de outro. Em outras palavras, era temerário abandonar o macrocosmo pelo microcosmo. O próprio Boltzmann evitava comprometer pela ousadia o alcance de suas teorias e de seus cálculos: insistia no aspecto puramente hipotético de seu atomismo e afirmava que não era uma imagem da realidade (2012, p. 107).

Ou seja, de acordo com o relato de Planck, se para os seus pares Boltzmann deveria ter uma postura reservada quanto ao alcance de suas ideias (Boltzmann viveu muitos conflitos em seu tempo, supomos, pois, que isso favoreceu essa postura – vide capítulo 2), e, portanto, era não necessariamente incompreendido, mas mal compreendido por aqueles pares que teciam-lhe críticas, não chega a ser surpreendente que, para comentadores contemporâneos de Boltzmann, ele seja igualmente uma figura de difícil análise, não que aquela situação daquele tempo implique necessariamente na ambiguidade da análise contemporânea de Boltzmann, mas que a complexidade de suas

ideias tenderá a trazer ambiguidades entre interpretações e análises de seu pensamento. (Comentamos acima sobre a dificuldade de uma exegese do pensamento boltzmanniano, vide nota 24.)

Em seguida, faremos uma seleção de alguns comentadores que classificam Boltzmann de acordo com certas variantes do realismo:

(R1) Em face à abordagem de Boltzmann, Henk de Regt sugere classificar seu pensamento maduro como o de um *realista construtivista*. O rótulo propõe que Boltzmann não abandonou de vez sua postura realista e sim amenizou a força deste realismo. Ele continuou a defender a hipótese atomista dentro do programa da TCG; todavia, em face a sua postura epistemológica madura, em que Boltzmann entendia as teorias como imagens mentais – além da mente humana ser incapaz de compreender os “caprichos da natureza” –, as entidades inobserváveis não precisariam de uma interpretação realista direta na natureza, pois dependeriam apenas de uma justificação filosófica racional (Cf. DE REGT, 1996, p. 56).

(R2) Carlo Cercignani, por sua vez, sugere classificar Boltzmann como um *realista não-dogmático*, embora parta de uma abordagem semelhante à de Henk de Regt, ou seja, Cercignani também considera seminal a abordagem de Boltzmann de se posicionar frente às teorias como construtos do intelecto humano, portanto imagens mentais, e que “que esse realismo [não dogmático] não deve impedir-nos de aceitar livremente modelos criados para a realidade, até mesmo mais de um ao mesmo tempo” (CERCIGNANI, 1998, p. 194). Dentro desse modelo proposto por Cercignani, diversas teorias poderiam coexistir e serem apropriadas para diferentes propósitos e o valor da fecundidade seria a “pedra-de-toque” que garantiria o sucesso das teorias (CERCIGNANI, 1998, p. 195).

(R3) John Nyhof é outro comentador de Boltzmann que também o classifica dentre variantes de realismo, mais especificamente Nyhof defende a tese de

que Boltzmann seja um *realista moderado*. Com isso ele quer dizer que Boltzmann rejeitaria tipos ingênuos deste, mas não o realismo propriamente. Segundo o comentador, “o realismo *moderado* defendido por Boltzmann aceita que o objetivo das teorias científicas seja o de dar descrições verdadeiras sobre a realidade e que podem ser usadas com o propósito de explicação” (NYHOF, 1988, p. 101) (itálico do autor), embora o comentador ainda aponte que, quando Boltzmann utilizava seus modelos mecânicos, seja descritivamente ou explicativamente, ele não necessitava levar em conta que esses modelos fossem tidos como *a realidade*, e que tampouco fosse tomada como real a existência de entidades inobserváveis, como os átomos e suas interações.

(R4) Ilija Marić também considera Boltzmann como um realista. Embora o comentador diga que Boltzmann “foi, sem dúvida, um *realista ontológico*, [...] [pois] ele acreditava na existência de um mundo externo independentemente da nossa consciência” (MARIĆ, 2007, p. 77) (meus itálicos), o comentador, após sua análise sobre Boltzmann, o considera um *realista metodológico*, que ele associa ao pluralismo de Boltzmann. Marić diz o seguinte

Para Boltzmann a teoria dedutiva de representação culmina no método hipotético-dedutivo. A dedução não pode alcançar a base da experiência do mundo e, nesse sentido, ela tem um elemento de arbitrariedade, considerada por Boltzmann como uma vantagem. O paralelo disso é que [as deduções] podem ser diferentes imagens mentais, uma variedade de teorias sobre as mesmas coisas, para que possam ser comparados com a realidade em termos da sua fertilidade. Boltzmann, nesse sentido, considerava como uma alternativa para a teoria do continuum a teoria cinética. A posição realista metodológica de Boltzmann é chamado de pluralismo teórico. Ela reflete a visão darwiniana de desenvolvimento científico, de acordo com a qual a teoria frutífera é eleita. Mas o pluralismo teórico de Boltzmann fala mais deste tratamento darwinista: ele acredita que as teorias diferentes podem corresponder a diferentes propósitos, podendo sobreviver desta forma (MARIĆ, 2007, p. 78).

(R5) Por fim, temos Engelbert Broda, um importante comentador de Boltzmann. Broda aponta que o próprio Boltzmann “chama sua filosofia realismo e, mais

tarde, materialismo” (BRODA, 1973, p. 17). A questão é que o materialismo que ele atribui à Boltzmann não deveria implicar a negação de seu realismo, pois Boltzmann continuaria acreditando na existência objetiva de um mundo externo, contrariamente ao idealismo, como vemos à luz das próprias palavras de Boltzmann:

Todos conhecem a perene controvérsia entre idealismo e materialismo. Idealismo declara que apenas o ego existe, as várias ideias, e busca explicar a matéria a partir delas. Materialismo parte da existência da matéria e busca explicar as sensações a partir dela (BOLTZMANN, 1905, p. 186).

Além do mais, em tom sarcástico, diz Boltzmann:

O idealista compara a afirmação de que a matéria existe tanto quanto nossas sensações com a opinião da criança de que uma pedra sente dor quando atingida. O realista compara a afirmação de que nunca poder-se-ia imaginar como o mental poderia ser representado pelo material, muito menos pela interação de átomos, com a opinião de uma pessoa sem instrução que diz que o sol não poderia estar a 93 milhões de milhas da Terra, uma vez que ele não pode imaginar isso. Assim como a ideologia é uma imagem do mundo apenas para alguns, mas não para a humanidade como um todo, então eu acho que, se incluirmos os animais e até mesmo o universo, o modo realista de expressão é mais adequado do que o idealista (BOLTZMANN, 1897b, p. 74-75).

O “materialismo”, para Boltzmann, que acaba se imiscuindo ao termo “realismo” (por isso a interpretação de Broda de que Boltzmann passa do realismo para o materialismo), representaria um ponto de vista mais sólido para o desenvolvimento do nosso conhecimento. Já, do idealismo, “desta forma, tomaríamos vários conceitos como claros ou mesmo *a priori* quando eles são realmente meras palavras vazias” (BOLTZMANN, 1905, p. 196), pois “o excessivo idealismo obscurece o sentido prático, sendo, assim, o extremo oposto aos movimentos pedantes, um extremo tão danoso quanto estes” (BOLTZMANN, 1900, p. 132).

Em suma, os cinco comentadores de Boltzmann apresentados acima advogam um tipo de realismo não ingênuo à abordagem de Boltzmann, embora notemos diferentes interpretações acerca de qual tipo de realismo Boltzmann enquadra-se. Isso nos faz saltar aos olhos a não trivialidade que é lidar com o pensamento boltzmanniano, como já comentamos no início deste capítulo. Contudo, note-se o seguinte: quando fazem essa

análise, não tomam por base estritamente a ICN atomística, mas elementos da IFC de Boltzmann para sustentar suas escolhas entre variantes de realismos.

Tomemos, por exemplo, alguns elementos de uma IFC que podemos extrair desta breve revisão de literatura. Por exemplo, de (R1), podemos extrair os seguintes elementos, *representacionalismo* e *subjetivismo*, bem como o *perfectismo* e o *racionalismo*. Se tomamos de (R1) que as teorias são imagens mentais, consideramos o *representacionalismo* e a ele associamos o *subjetivismo*, posto que, para Boltzmann, toda representação é subjetiva. O *perfectismo* viria da incapacidade de a mente humana compreender a natureza, mas que ela seja passível, portanto de aprender, portanto, perfectível. Já o *racionalismo*³² (um termo problemático, pois, assim como realismo, tem inúmeras variantes de significação) advém da ideia de que as entidades fictícias em Ciência precisariam apenas de uma *justificação filosófica racional* para ‘existirem’, mas não uma crença em sua realidade.

De (R2), tomamos os elementos *representacionalismo*, *subjetivismo* (esses dois primeiros pelos mesmos motivos acima), *pluralismo* (ao criarmos múltiplos modelos para a realidade, seja qual âmbito desta, mas, mesmo mais de um para uma mesma realidade, discussão que nos poderia levar à um outro elemento que é a *subdeterminismo*), e a *fecundidade* (a pedra-de-toque do sucesso das teorias).

De (R3) destaquemos o *representacionalismo* (produção de modelos, que, por seu turno, representam algo do mundo), assim como também em (R4). De mais a mais, de (R4) também extraímos os seguintes elementos de IFC: *pluralismo*, o *subdeterminismo* e a *fecundidade teórica*, são elementos bem claros ali. Por fim, de (R5), extraímos o materialismo, que, embora possa ser tomado como elemento de ICN, também é uma doutrina filosófica.

Ao comentarmos sobre componentes da IFC de Boltzmann, gostaríamos de ressaltar que um ponto em comum nesta análise, além de todos os comentadores levarem em conta a importância do valor das teorias enquanto imagens mentais dentro da epistemologia pluralista de Boltzmann, podemos notar que eles consideram o caráter

³² De acordo com Abbagnano (2007, p. 967): “Em sua significação genérica, pode ser usado para indicar qualquer orientação filosófica que recorra à razão. Mas, nessa acepção tão vasta, esse termo pode indicar as filosofias mais díspares e carece de qualquer capacidade de individualização”.

pragmático da abordagem metacientífica boltzmanniana acerca do fazer científico, em que as teorias, em última instância devem ser férteis e provar sua utilidade prática na solução de problemas. Citamos algumas passagens em Boltzmann a fim de enfatizar esse pragmatismo: “Nosso objetivo não é estabelecer a verdade ou a falsidade de uma ou outra imagem de mundo, mas nós devemos questionar se é apropriado para este ou aquele propósito, enquanto permitimos que ambas as imagens continuem lado a lado” (BOLTZMANN, 1897b, p. 69). E:

“ [...] Chamaremos uma idéia sobre a natureza de falsa se ela deturpa certos fatos ou se há idéias obviamente mais simples que representam esses fatos de forma mais clara e, especialmente, se a idéia contradiz leis do pensamento geralmente confirmadas; no entanto, é ainda possível ter teorias que representam corretamente um grande número de fatos, mas estão incorretas em outros aspectos, de modo que elas têm uma certa *verdade relativa*” (BOLTZMANN, 1889b, p. 106) (meus itálicos).

Blackmore salienta que todas as leis nas quais a Ciência embasa-se têm um caráter idealizado e que essas idealizações, por mais fundamentais que sejam, não necessitam possuir uma correspondência direta com o mundo, logo, quando Boltzmann diz que uma ou mais teorias têm uma certa *verdade relativa*, estaria enfatizando o caráter prático das teorias e não uma relação realista em que as teorias diriam como é o mundo de fato, se aproximando da ideia de “verdade pragmática” (Cf. BLACKMORE, 1995, p. 23), pois Boltzmann prezaria a simplicidade e a coerência das teorias como valores para sua utilidade científica.

Como aponta de Regt (1996, p. 43), “a ambiguidade da visão de Boltzmann é devida a uma tensão entre seus comprometimentos epistemológicos e metodológicos”. Queremos deixar claro que, como sugere de Regt, a ambiguidade da visão boltzmanniana, embora aparente quando lidamos com sua noção de atomismo e com o desenvolvimento de suas posições metacientíficas no debate de revisão de crenças científicas, que parecem gerar tensões dentro de sua ecologia cognitiva, são características muito peculiares e nada triviais que podem tornar a tarefa de análise e reconstrução por parte de comentaristas algo complexa, por isso notamos a partir desta breve revisão de literatura sobre os tipos de realismo em Boltzmann uma variedade de classificações técnico-filosóficas diversas entre si, embora próximas. Um ponto que achamos importante salientar é que essas mudanças de visão notadas ao longo da carreira de Boltzmann (vide seção 5.1) se tornam mais evidentes quando o cientista-filósofo se envereda pela arena do debate crítico científico, pois é lá que o encontramos a defender suas teses epistemológicas e a

abandonar sua postura estritamente realista que empregava em sua pesquisa científica com a TCG. (Falaremos sobre isso mais detidamente no capítulo seguinte.)

Antes de concluirmos este capítulo, gostaríamos de apresentar outro autor que, embora não esteja comentando sobre Boltzmann, assim como os autores da revisão de literatura acima arrolados o fizeram, apresenta um tipo de realismo que, cremos, seja muito pertinente discutirmos aqui, pois, entendemos, aproxima-se muito do pensamento boltzmanniano, a partir dos elementos que estamos a reunir nesta reconstrução das ICN e IFC de Boltzmann, a saber: Ronald Giere.

Nos referimos ao que Giere chama de *realismo naturalista*. Segundo Giere (1999a, p. 60-61):

Essa visão minimiza a ideia de que podem haver leis naturais universais codificadas em declarações gerais verdadeiras. Em vez disso, os cientistas são vistos como engajados na construção de modelos do mundo que se aplicam mais ou menos bem a classes mais estreitas ou mais amplas de sistemas naturais. Em segundo lugar, o realismo naturalista nega que existam princípios universais de racionalidade que possam sancionar a crença na correção de qualquer modelo particular. [...] Mas a ciência continua sendo uma atividade *representativa*, na medida em que os cientistas são vistos como tendo mais ou menos sucesso na construção de modelos que, de fato, representam vários aspectos do mundo.

Se nos parece deveras tentador enquadrar Boltzmann como um cientista-filósofo de tipo *realista naturalista* (embora saibamos que a quantidade de realismos arrolados pela Filosofia da Ciência são tantos e que as possibilidades de discuti-los todos, bem como testar suas aplicações e possibilidades de enquadramento ao pensamento boltzmanniano aqui, fugiria ao escopo deste trabalho), não apenas pelo tipo de naturalismo epistemológico evolutivo, que reputamos a Boltzmann, já discutido na seção 5.2, mas também pela (a) despreocupação com o *valor cognitivo da verdade* de nossas teorias e de suas imagens internas, (b) pela preocupação em construir *modelos* que, por analogia e similaridade, sejam *representações* de um dado domínio fenomênico, e (c) pela *falibilidade* de nossas imagens teóricas (já que não podemos sancionar a crença na correção destas imagens), atributos do *realismo naturalista* que destacamos a partir do excerto acima. Todas essas IFCs destacadas aqui estarão em evidência quando procuraremos, no próximo capítulo, reconstruir a IFC de Boltzmann e essas relações ficarão mais nítidas. Isto posto, tentar enquadrar Boltzmann sem antes termos discutido os demais elementos de sua IFC se nos pareça algo precipitado, temos aqui, ao menos,

um preâmbulo acerca de alguns elementos que serão discutidos acerca da *Bildtheorie* de Boltzmann.

O que procuramos mostrar, com essa *intermissione* entre as análises da ICN de e da IFC de Boltzmann, ao discutirmos alguns pontos de vista de comentadores seus, serve para ressaltar que a visão atomística boltzmanniana não é tão trivial a ponto de ser tomada como um mero entendimento de como a natureza é composta de fato, i.e., não é uma simples imagem de natureza. O seu atomismo (na sua forma *instrumentalizada*) também deve ser tomado como uma forma de IFC enquanto método empregado na pesquisa científica via prescrição à abordagem matemática na Física, fato que colocaria o seu atomismo num patamar mais complexo, senão numa posição *fronteira* entre suas ICN e IFC.

Fizemos, também, uma primeira aproximação do atomismo à noção de modelo em Boltzmann (o atomismo, enquanto uma ferramenta matemática, se a construção de imagens aproximadas do mundo, por analogia “aritmética”, muito próximo da forma como os cientistas constroem modelos), reiterando, um ponto muito importante a ser retido para a compreensão do papel da noção de modelo na ecologia cognitiva global de Boltzmann (vide capítulo 7) a partir de sua *Bildtheorie*.

Aliás, essa não trivialidade da abordagem de Boltzmann converteu-se em uma potente arma contra os ataques daqueles cientistas mais circunspectos em relação ao emprego de entidades inobserváveis hipotéticas (como a imagem atomística), bem como acerca do emprego do método hipotético-dedutivo, que vinham para o debate a fim de condenar estes tipos de abordagens ontológicas (a essência discutida aqui em Boltzmann é matemática e não sobre o real, o que casava interpretações ambíguas da parte dos seus pares no debate metacientífico) e metodológicas em Boltzmann e se deparavam com um *tour* defendendo posições epistemológicas sofisticadas, cuja defesa não encontra-se ancorada em argumentos científicos realistas (pouco sofisticados) mas em argumentos filosóficos sólidos para sustentar seus pontos de vista e tornar, então, lícita a capacidade de o cientista *ultrapassar a experiência* ao largo da pesquisa científica – em prol do progresso da ciência.

São esses temas, dentre outros elementos da IFC da *Weltanschauung* de Boltzmann, que trataremos no capítulo seguinte.

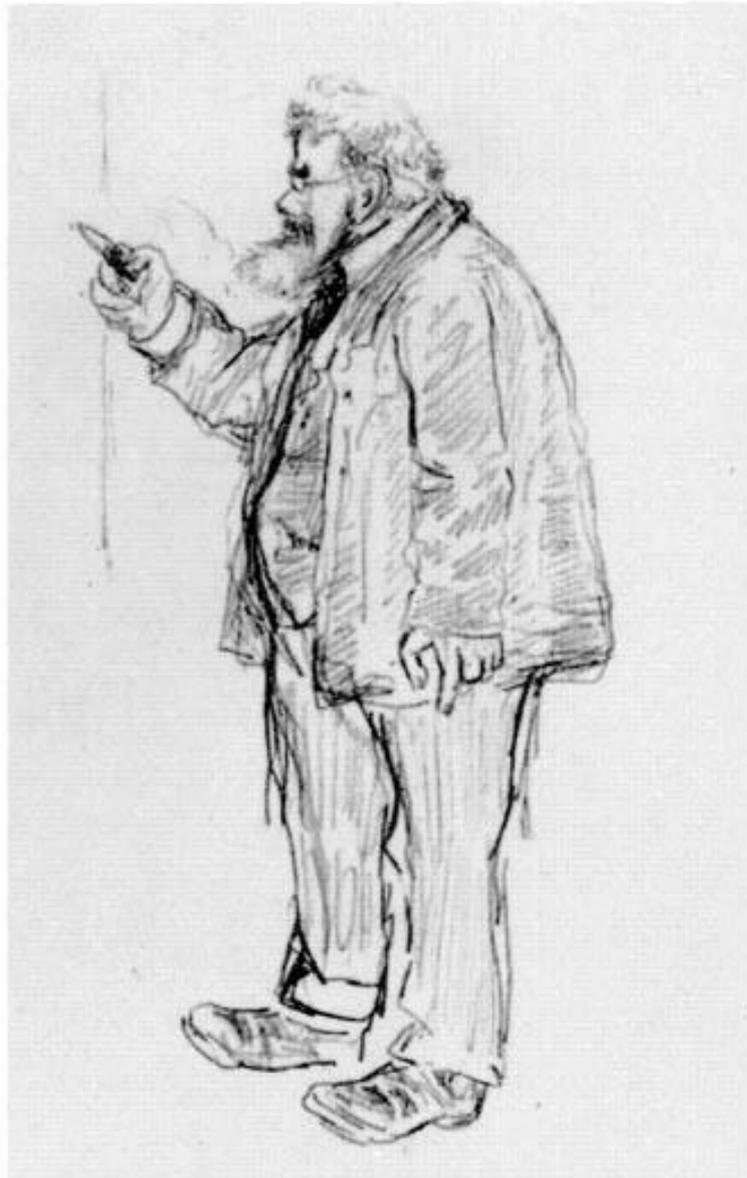


Figura 9: Boltzmann durante uma aula, em charge de K. Przibram (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 33)

6. DA IMAGEM FILOSÓFICA DE CIÊNCIA EM BOLTZMANN

“Mas chegou um momento em que, para entender mais profundamente, alguns cientistas se viram obrigados a cavar mais fundo, para sondar além da superfície aparente. Ludwig Boltzmann foi um tal pioneiro.”

David Lindley (2001, p. VIII)

“Em sua ânsia por objetividade, a ciência não pode esquecer que a experiência que temos do mundo provém de dentro.”

Carlo Rovelli (2018, p. 120)

Nos capítulos anteriores apresentamos um panorama das principais componentes da ICN de Boltzmann, como, p.e., sua imagem mecânico-estatística de mundo, bem como a defesa desta imagem contra algumas objeções pontuais que surgiram na forma de paradoxos. Comparamos a ICN boltzmanniana com as imagens de natureza dos dois grandes programas de pesquisa, a TCG e a TD, que Boltzmann procurou unificar. Consideramos, também, certas teses como *fronteiriças* entre suas ICN e IFC, como o seu próprio atomismo, quando utilizado enquanto método (ou abordagem matemática preferível enquanto *representação algébrica* de fenômenos), e o naturalismo aplicado ao conhecimento. Ademais, adiantamos a apresentação de alguns componentes de sua IFC quando falamos sobre os tipos de realismos atribuídos a Boltzmann.

Nesta seção atual, nos aprofundaremos na imagem científica boltzmanniana. Para compreendermos a IFC de Boltzmann, trataremos, a seguir, de reconstruir sua abordagem metacientífica acerca da metodologia e da epistemologia aplicadas à Ciência e sua relação com a Metafísica, com a Filosofia e com o progresso.

Boltzmann tinha como metas, dizendo de uma forma bem genérica, ao desenvolver sua abordagem metacientífica, apurar a compreensão acerca do conceito de teoria científica.



A marca distintiva da IFC e, por conseguinte, da epistemologia antidogmática boltzmanniana é a presença da consiliência do pluralismo teórico ancorado na ideia de que as teorias científicas são representações mentais, imagens mentais, ou simplesmente, modelos (*Bildtheorie*). Além de seu pluralismo, sua epistemologia também é caracterizada por outras importantes componentes que oportunamente iremos discutir. Em sua gênese, encontramos, marcadamente, algumas influências notáveis de outros cientistas de destaque na história da ciência. Podemos citar, dentre os principais nomes, Maxwell, Hertz, Darwin e mesmo Mach. Do trabalho de Maxwell, Boltzmann retirou o conceito de pluralismo teórico³³. Segundo Boltzmann, “ele [Maxwell] mostrou por meio de muitos exemplos como frequentemente um grupo de fenômenos deixa-se explicar de duas maneiras totalmente diferentes” (1899a, p. 101), ou seja, pode existir mais de uma teoria que explique bem um mesmo fenômeno, logo, para Boltzmann, nenhuma teoria deveria ser descartada abruptamente do debate científico. Boltzmann prossegue:

De acordo com a concepção de Maxwell, frequentemente imagens que em muitos casos da natureza se mostraram adequadas estão também automaticamente conformes ainda a muitos outros; contudo, não segue ainda a concordância com respeito a todos os casos. Por outro lado, esses fenômenos mostram que também uma teoria falsa pode ser útil desde que contenha em si o estímulo necessário para [a realização] de novos experimentos (1899a, p. 106-107).

A partir desta citação, podemos encontrar apoio para a prescrição pluralista de Boltzmann. Existem teorias, que ele chama de imagens, que podem dar conta de explicar um grande número de fatos empíricos, posto que não deem conta de abarcar todos os fenômenos. Outrossim, esta citação ainda revela outro ponto importante do pensamento epistemológico de Boltzmann. Encontramos aqui uma versão robusta do falibilismo, pois podem existir teorias aparentemente falsas, mas que, por sua vez, têm o poder de gerar novos problemas dentro do debate crítico da ciência e instigar o

³³ Segundo Videira (2006, p. 278):

“a introdução do pluralismo teórico na Física foi, segundo o próprio Boltzmann, uma das principais contribuições epistemológicas de James Clerk Maxwell [...] o qual, em seu trabalho, *On the Physical Lines of Force*, observa que, uma vez que os fatos do eletromagnetismo são bastante complicados e variados, é importante e necessário possuir várias hipóteses, todas elas capazes de fornecer uma explicação para um certo grupo de fatos. Ainda segundo Maxwell, essa multiplicidade não possui apenas um interesse estritamente físico; ela é importante para saber se a explicação sugerida confirma a exatidão da teoria e se a utilização bem-sucedida de uma mesma formulação matemática, para dois grupos de fenômenos diferentes, implica que esses dois grupos não são, em realidade, apenas um”.

desenvolvimento de novas teorias e experimentos científicos.³⁴ Teceremos maiores comentários sobre o falibilismo na seção 6.1. Primeiramente queremos comentar sobre um elemento cardinal da epistemologia boltzmanniana para podermos compreender o desenvolvimento de seu pensamento filosófico e metodológico: a questão de as teorias serem consideradas imagens ou representações mentais (*Bilder*), pois Boltzmann emprega com frequência o termo imagem em seus textos nesse sentido.

O conceito de representação (ou imagem) mental, outro elemento vital da epistemologia boltzmanniana, embora influenciado diretamente pelos trabalhos metacientíficos de Maxwell e Hertz (Cf. ABRANTES, 1992, p. 351; VIDEIRA, 2005, p. 231), deriva indiretamente da concepção de representação de Johann Gottlieb Fichte³⁵

³⁴ Tracemos uma relação do pluralismo de Boltzmann com a abordagem de Laudan baseada na solução de problemas (*problem-solving view*), ou seja, a ideia de que a Ciência é um sistema investigativo para a solução de problemas. Primariamente vale lembrar que, na abordagem de Laudan, a coexistência de teorias no cenário científico é a regra. Dentro desse modelo laudaniano, em que duas ou mais teorias, ou tradições de pesquisa, competem entre si para que se decida qual delas é a mais aceitável, conquanto resolva uma maior quantidade de problemas, nesse cenário competitivo, há lugar também para a exploração racional de teorias menos bem-sucedidas, bem como de teorias mutuamente incompatíveis. De acordo com esse cenário que Boltzmann apresenta, em que há, inclusive, lugar para teorias que sejam julgadas “falsas” cooperarem com o progresso científico, está em acordo com o modelo epistemológico de Laudan. Um exemplo deste fenômeno pode ser ilustrado pelo programa atomista de Dalton. Mesmo com o sistema de Dalton apresentando “sérias anomalias”, nenhum outro programa em sua época, a despeito do grande sucesso da teoria química rival a da de Dalton, qual seja, aquela das afinidades eletivas químicas, conseguiu prever tão bem a maneira como as substâncias químicas se combinavam em proporções bem definidas. Isto posto, conforme aponta Laudan, “[...] embora a maioria dos cientistas se recusasse a aceitar a abordagem daltoniana, muitos estavam dispostos a leva-la a sério, afirmando que os achados do sistema daltoniano o tornavam pelo menos promissor para merecer novos desenvolvimentos e refinamentos (Cf. LAUDAN, 2010, p. 159).

³⁵ Para Fichte, a *representação* corresponde, em relação à *faculdade teórica*, o elemento de todo o saber. Embora ela não seja a essência do *eu* (de acordo com os princípios da *egoidade* ou da consciência transcendental), a representação corresponde a “uma determinação particular dele”, e mesmo que existam outras determinações que possam ser atribuídas ao nosso ser, qualquer outra determinação deve “*passar pelo meio da representação para chegar à consciência empírica*” (FICHTE, 1794, p. 48). Desta forma, a representação não é a essência do ser, mas é elementar para o conhecimento (sobretudo o científico e filosófico), e ela se esgota em si, i.e., assim como qualquer outra determinação possível do ser tem de passar pela representação para que tomemos consciência dela, não é possível ultrapassar a própria representação para explicá-la, pois, sua explicação se faz somente no interior da própria representação: “A representação permanece eternamente apenas representação, e não pode sair de si própria e transformar-se na essência” (FICHTE *apud* FERRER, 1995, p. 416).

Segundo Fichte, temos que:

A reflexão que reina na doutrina-da-ciência inteira, na medida em que esta é ciência, é *um representar*; mas disso absolutamente não decorre que tudo *sobre o qual* se reflete seja também apenas um representar. Na doutrina-da-ciência o eu é *representado*; mas disso não decorre que ele seja representado como meramente representativo; pode perfeitamente ocorrer que se encontrem nele outras determinações. O eu como *sujeito* filosofante é incontestavelmente apenas representativo; o eu como *objeto* do filosofar poderia ser perfeitamente algo mais. O representar é a ação mais alta e absolutamente primeira do filósofo como tal; a ação absolutamente primeira do espírito humano poderia ser perfeitamente outra. Que será assim, já é verossímil, antes de toda a experiência, porque a representação se deixa esgotar completamente e seu

(1762-1814), que Boltzmann recebeu por influência de Robert Zimmermann (1824-1898), que foi seu professor de Filosofia. Para Boltzmann, toda teoria é um tipo de modelo (Cf. capítulo 7), uma representação da natureza enquanto um constructo da mente humana ancorada nalguma visão de mundo, ou seja, uma imagem mental. Desta forma, *teoria* equivale-se ao conceito de *representação* (Cf. VIDEIRA, 2005, p. 231) e *representação*, por sua vez, equivale um tipo de *modelo*. Mapearemos, a seguir, parte desse campo semântico.

Para definirmos adequadamente o conceito de imagem e representação em Boltzmann, deveremos fazer uma digressão acurada a fim de esclarecer certas questões que passam pelo uso crítico da linguagem – e, por conseguinte, a relação entre mente e realidade –, e pela marcante influência da epistemologia de Hertz, salvo certas diferenças pontuais, sobre Boltzmann. Via de regra o conceito de imagem (*Bild*) em Boltzmann se relaciona com a “tese [hertziana] de que nossas *ideias físicas e matemáticas* constituem *modos de representação* dos fenômenos (que subdeterminam tais modos de representação)” (ABRANTES, 1992, p. 356), ou seja, “teorias são meras imagens dos processos naturais” (BOLTZMANN *apud* DE REGT, 1999, p. 115). Não obstante a relação e semelhanças entre as IFCs boltzmanniana e hertziana, em breve discutiremos importantes diferenças relacionadas ao conceito de leis de pensamento entre ambos. Antes, procuraremos esclarecer o emprego do termo *representação* para, em seguida, relaciona-lo ao termo *imagem* para elucidarmos os conceitos que subjazem aos termos.

O termo “representação”, cujo uso se tornou usual a partir de Kant e Schopenhauer, foi significativo durante o debate acerca da validade do conhecimento científico entre os cientistas-filósofos germanófonos, como Kirchhoff, Helmholtz, Mach, Hertz e o próprio Boltzmann. O termo tem duas noções distintas em seu emprego, a saber: (a) em um sentido, o termo tem uma conotação *sensória* ou *perceptiva* relacionado com

procedimento é cabalmente necessário; por conseguinte, deve ter um fundamento último de sua necessidade, que como fundamento último não pode ter nenhum fundamento mais elevado. Sob essa pressuposição, uma ciência que seja construída sobre o conceito de representação poderia, por certo, ser uma propedêutica extremamente útil para a ciência, mas não poderia ser a própria doutrina-da-ciência. – Mas pelo menos isto se segue seguramente da indicação acima: que a totalidade dos modos-de-ação da inteligência que a doutrina-da-ciência deve esgotar só chegam à consciência na forma da representação – só na medida em que, e tais como são representados (FICHTE, 1794, p. 33).

a filosofia empirista de Mach³⁶ e Helmholtz, associado com a palavra alemã *Vorstellung* (ideia); (b) noutro sentido, o termo tem um uso mais *público* ou *linguístico*, como na mecânica de Hertz e de Boltzmann, associado com a palavra alemã *Darstellung* (representação) (Cf. JANIK & TOULMIN, 1973, p. 132-133). Desta forma, o seu emprego acabou gerando interpretações obscuras e as traduções de textos em alemão, sobretudo para o inglês, acabaram gerando ambiguidades em torno das sutilezas entre as significações.

Essas relações semânticas se complicam ainda mais quando Hertz relaciona, apropriadamente, o termo *Darstellung* com o termo *Bild*, que significa imagem ou figura. O próprio Mach, nesse sentido linguístico, equivocou-se ao interpretar os termos empregados por Hertz em seu *Princípios da Mecânica*, em que Hertz apresenta, na introdução, suas concepções acerca da natureza das teorias físicas. Mach afirmou que Hertz empregou o termo *Bild* significando o termo *ideia*, relacionado com uma noção advinda dos empiristas britânicos³⁷. Todavia, na filosofia hertziana, o termo *Bilder* quer dizer *representações* que, por sua vez significa, “de fato, uma teoria de modelos matemáticos” (Cf. JANIK & TOULMIN, 1973, p. 139). Se Hertz estivesse mesmo querendo dizer *ideia* com *Bild*, ele teria relacionado *Bild* com a palavra *Vorstellung*, que denotaria *uma imagem mental dos dados dos sentidos*. Segundo Hertz, “a mais imediata e, em certo sentido, mais importante tarefa do nosso consciente conhecimento da natureza é nos capacitar a prever experiências futuras, de modo que possamos, conforme essa previsão, orientar nossa ação no presente”, e, continua Hertz, “[...] o procedimento de que

³⁶ Para Mach, a natureza do termo “*representação*” em Física está intimamente relacionado com sua propedêutica da economia conceitual (*Denkökonomie*), ou seja,

“Mach sustenta que as teorias físicas sejam *descrições* dos dados dos sentidos que simplificam a experiência permitindo ao cientista antecipar eventos futuros. Funções matemáticas servem para simplificar o que os sentidos percebem através de seu poder de organização. É menos correto dizer que teorias sejam verdadeiras ou falsas do que dizer que elas sejam mais ou menos úteis, uma vez que é da sua própria natureza ser descrições de, ao invés de julgamentos sobre, sensações” (Cf. Janik & Toulmin, 1973, p. 136).

³⁷ Segundo Harré, “a tradução típica reproduz a palavra alemã ‘*Bild*’ como ‘imagem’ [image] ou ‘símbolo’. Todavia, o isomorfismo formal ou a conformidade entre *Bild* e as ‘coisas retratadas’ sugerem que ‘imagem’ [picture] seria uma tradução mais fidedigna às intenções de Hertz” (2001, p. 214). Aqui vemos exemplificada uma situação que acaba gerando confusões conceituais acerca das intenções de Hertz provenientes das escolhas dos tradutores, pois, como veremos, esse não parece ser o caso, pois a palavra inglesa *picture* nos remete a vários sentidos, como, por exemplo, *retrato, pintura, cópia, imaginar, modelo, imagem, figura, quadro*, etc. Destarte, se nos pareceria muito mais simples o uso da palavra *model*, que, esta sim, nos remeteria mais fidedignamente ao contexto pretendido por Hertz diminuindo as margens interpretativas e os mal-entendidos. Concordam com este fato Abrantes (1992, p. 357) e Janik & Toulmin (1973, p. 132-146). Sugerimos consultar estes dois últimos autores, que fazem uma longa e elucidativa discussão acerca da questão.

nos servimos para derivar acontecimentos futuros a partir do passado, alcançando [...] a almejada previsão, é sempre a formação de imagens mentais ou símbolos dos objetos” (HERTZ, 2012, p. 73).

Para Hertz, as representações com as quais ele lidava não eram meramente as impressões passivas e ordinárias dos sentidos (fossem *impressões* humaneanas ou *sensações* machianas), mas um tipo de construto mais sofisticado e complexo: representaria, p.e., todo um sistema, como o da *mecânica*, capaz de fazer previsões sobre os fenômenos com os quais ele lida. Destarte, as palavras *Darstellung* e *Bild*, na epistemologia hertziana, representam um esquema epistêmico construído em prol do conhecimento (esquema cognitivo), ou em outras palavras, representam simplesmente modelos (*Bilder*): “[...] as imagens de que aqui falamos são nossas representações das coisas” (HERTZ, 2012, p. 74). De mais a mais, os elementos desta estrutura conceitual – esquema cognitivo – não precisariam derivar estritamente da percepção, pois Hertz, “como defensor de um método hipotético-dedutivo que pressupõe a liberdade da atividade teórica, que não estaria atrelada aos dados dos sentidos” (ABRANTES, 1992, p. 353), sustenta a tese de que apenas pelo emprego de hipótese é que podemos submeter os fenômenos à legalidade. Diz ele:

Nós nos convencemos de que a variedade do mundo real precisa ser maior do que a variedade do mundo que se revela imediatamente a nossos sentidos. Se queremos conquistar uma imagem do mundo redonda [que seja bem-acabada], fechada em si mesma [completa], e afim a leis, então precisamos supor, detrás das coisas que vemos, outras coisas invisíveis- imaginar vínculos escondidos, por trás das barreiras de nossos sentidos, elementos coadjuvantes que estejam ocultos" (HERTZ, 2012, p.104).

Desta maneira, o termo *imagem* (*Bild*) no sentido de *representação* (*Darstellung*), implica em algo mais complexo que apenas os dados dos sentidos; é, pois, uma espécie de construção mental que não apenas abarca os dados dos sentidos, mas também envolve uma elaboração intelectual bem mais profunda de estruturas matemáticas e hipotéticas, bem como legiformes, ou seja, uma *imagem* é um *modelo* destinado a representar os fenômenos, muito próximo da forma como a ciência contemporânea elabora modelos do mundo e da forma como a Filosofia da Ciência entende pragmaticamente os modelos científicos (conferir capítulo 7).

A abrangência das reflexões filosóficas de Hertz teve uma importante repercussão na ciência de seu tempo e em Boltzmann temos um dos casos mais significativos dessa

influência, “que reconhece explicitamente sua influência para com Hertz-filósofo” (ABRANTES, 1992, p. 351). O que queremos mostrar com o encadeamento dessa discussão acima é que isso provocou, muito provavelmente, uma malha de interpretações errôneas acerca do desenvolvimento da *Bildtheorie* boltzmanniana. Como afirma de Regt, existe uma visão estandardizada de que Boltzmann toma sua *Bildtheorie* de Hertz. Não obstante seja fato que Boltzmann tenha recebido forte influência da IFC de Hertz na construção de sua própria IFC (pois Boltzmann inúmeras vezes cita Hertz em seus escritos quando se refere à sua *Bildtheorie* após a publicação póstuma dos *Princípios da Mecânica* deste último, em 1894, que ajudou a popularizar os termos *Bild* e *Bildtheorie*)³⁸, “Boltzmann concebeu sua *Bildtheorie* antes de ler o trabalho de Hertz”, ou melhor, “os elementos essenciais de sua filosofia madura já estavam presentes em seu primeiro período, e estas ideias epistemológicas e metodológicas guiaram suas atenções na solução da anomalia do calor específico” (DE REGT, 1999, p. 117). Na gênese dessa construção conceitual estão presentes os nomes de Maxwell e Zimmermann como influências importantes (e, lembrando, de Fichte, indiretamente). De Zimmermann, Boltzmann teve um primeiro contato com o conceito de *representação* fichteano, embora Boltzmann atribua a Maxwell a introdução do conceito de teoria como imagem [*picture theory*] na Física (Cf. VISSER, 1999, p. 138). Numa fase posterior, a tese metacientífica de Hertz contribui com a consolidação em Boltzmann do conceito de *Bild*, conformando, assim, a sua própria estrutura de *Bildtheorie*.

É digno de nota, neste momento, apontar que existe uma diferença importante entre o que poderíamos considerar como a concepção inglesa de *picture theory* e a concepção germânica de *Bild* sobre a qual já comentamos acima.

Na concepção de *picture theory* de Maxwell (concepção que deriva daquela dita *visão inglesa*) as *imagens* são *modelos visuais* que fornecem um entendimento, por analogia, dos conceitos teóricos, e não têm relação, a não ser aquela didática, com o real, ou seja, “elas não são nem um esboço ou uma aproximação explicativa do que é empiricamente ou fisicamente real, mas por fornecerem meramente um entendimento análogo não são, tampouco, descrições apropriadas” (VISSER, 1999, p. 138). A despeito do caráter cognitivo e pedagógico do emprego de analogias visuais por Maxwell, o

³⁸ “Em relação ao livro de Hertz, ele atraiu muita atenção dos físicos, na verdade, o suficiente para popularizar os termos “*Bildtheorie*” e “*Bild*” como referência para qualquer coisa fora do *corpus* encolhido que Mach e outros reducionistas pareciam deixar em pé” (Cf. VISSER, 1999, p. 141).

conceito de *picture theory* deste se difere do conceito de *Bild* de Boltzmann, que, por sua vez, promove uma construção mais profunda e também mais abstrata, mais refinada e bem estruturada filosoficamente, *de teorias-como-modelo*, na qual ele tratou de amalgamar todas estas influências. Para sermos mais claros, podemos dizer que o conceito de *picture theory* difere-se da concepção-*Bild*; por outro lado, o conceito de *Bildtheorie* engloba, também, o conceito de *picture theory*.

De Regt (1999, p. 113-117), partindo do pressuposto que para Boltzmann teorias não devem ser nem verdadeiras ou falsas, mas sim, úteis, empiricamente adequadas e inteligíveis, sugere que existem 2 aspectos operacionais fundamentais da *Bildtheorie*, ou concepção-*Bild*, de Boltzmann, quais sejam:

- (a) **Uma função epistemológica**, embasada no representacionalismo como mediador entre teorias científicas e a realidade, em que Boltzmann sustenta sua tese de que teorias são *representações (Bilder)* mentais sobre *algo* no mundo (real ou imaginário), e que a relação entre estas duas dimensões se dá em termos de similaridade parcial. Destarte, sua *Bildtheorie* deveria ser vista como uma “tese sobre a representação da realidade” (DE REGT, 1999, p. 117);
- (b) **Uma função cognitiva**; de modo que a concepção-*Bild* de Boltzmann funcionasse como uma ferramenta para o raciocínio científico a partir do aspecto explicativo que as teorias deveriam ter. De acordo com Boltzmann (1902c, p. 149): “É tarefa ubíqua da ciência explicar o mais complexo em termos do mais simples. Ou ainda, se preferir, representar [*anschaulich darstellen*] o mais complexo por meio de imagens [*Bilder*] tomadas de empréstimo da esfera mais simples do fenômeno”. (Aliás, essa função da *Bildtheorie* que Boltzmann ressaltava tanto, vinha de encontro, como resposta, ao movimento de aritmetização da Física via fenomenologia matemática; vimos uma pouco desta discussão sobre a tensão entre abordagens, descritivista e explicativa – que trata do papel do cientista frente às suas teorias, ou recomenda como as teorias devam ser expressadas – na sessão 5.1, ao discutirmos o caráter tipo-analógico do atomismo de Boltzmann.)

Por outro lado, nossa tese é a de que o destaque fundamental e operacional está na força do aspecto cognitivo da concepção-*Bild* que a qualifica como uma poderosa ferramenta a ser aplicada nas frentes em que Boltzmann atuou: (a) ser uma tese sobre a representação da realidade e (b) ser uma ferramenta para o raciocínio científico são aspectos dessa força cognitiva. Pensamos que a concepção-*Bild* seja, sim, uma ferramenta poderosa no sentido de ser um ‘motor’ para o fazer filosófico, a bem da conceitualização e da solução de problemas nestas várias frentes.

Em suma, consideramos que a concepção-*Bild*, como um todo, tem um poder que habilita Boltzmann para (a) o debate metacientífico, (b) para o fazer científico, heurísticamente, e (c), para o ensino, pois favorece o seu aspecto pedagógico, lembrado que Boltzmann também foi professor universitário. Assim, a *Bildtheorie* de Boltzmann, ou sua concepção-*Bild*, funcionaria como uma ferramenta-guia para a ação (e solução de problemas) em diversas frentes, a fim de tornar as tarefas científica, pedagógica e metacientífica, pelas quais Boltzmann enveredou, tanto corretas quanto econômicas, revelando, assim, sua postura pragmática na solução de problemas, em todos esses âmbitos (epistemológico, metodológico e metacientífico) de aplicação desta concepção, já revelando, ademais, como poderemos notar na citação abaixo, qual a tarefa das teorias científicas (que trataremos a seguir, na seção 6.2.), ou melhor, qual a postura que o cientista deveria assumir. De acordo com suas palavras:

Ações que são seguidas por coisas que desejamos e ideias sob as quais guiamos nossos atos, desta maneira denotamos como corretas. Nós devemos almejar ter ideias que sejam tanto corretas quanto econômicas, desta forma somos capazes de atingir o modo correto de ação com um mínimo dispêndio de tempo e esforço. A demanda de qualquer teoria é a de ser correta e econômica (BOLTZMANN, 1897b, p. 58).

Boltzmann, ao incorporar num “pacote cognitivo” suas posições gerais, utilizou essa concepção não apenas na defesa de seus pontos de vista, em meio ao debate crítico, tanto epistemológico quanto metodológico, acerca do fazer científico. Boltzmann também utilizou sua *Bildtheorie* como uma ferramenta para diagnosticar os problemas empíricos e conceituais com os quais se envolveu, procurando, por intermédio dessa concepção, se dirigir de forma mais direta, econômica e correta, na direção da solução desses problemas.

Tendo diferenciado a sua concepção de *Bildtheorie* de outras concepções, sobretudo aquela de Hertz, trataremos, a seguir, de outro ponto importante que caracteriza

a estrutura da IFC boltzmanniana e que afasta, de forma mais pungente, seu pensamento da concepção de Hertz, qual seja: a influência da teoria evolucionária de Darwin. É a partir dessa discussão que uma importante diferença entre as IFCs de Boltzmann e de Hertz poderá ser vislumbrada, qual seja, aquela que diz respeito às leis do pensamento. Todavia, algumas considerações importantes sobre essa influência do darwinismo em Boltzmann devem ser urdidadas.

Consideramos, no presente trabalho, que a teoria de Darwin influenciou a IFC de Boltzmann de duas formas: uma (1) metodológica e outra, (2) epistemológica.

1. **Na forma metodológica:** A influência metodológica do darwinismo sobre o pluralismo boltzmanniano pode ser compreendida como se segue. De acordo com o pensamento pluralista e dada a condição da subdeterminação empírica das teorias em que mais de uma teoria pode dar conta de uma mesma base empírica, temos que a convivência e a competição entre diversas teorias pode ser algo profícuo para o progresso científico, ou seja, esta competição estimularia a seleção das melhores teorias ao largo do debate crítico científico, de forma análoga à seleção natural. Segundo Videira (1997, p. 76), “para que isso ocorra, é preciso estabelecer no cenário científico uma coexistência entre teorias e concepções epistemológicas diferentes para que, através do confronto entre todas elas, os cientistas possam conhecer mais”³⁹.
2. **Na forma epistemológica,** o darwinismo em Boltzmann relaciona-se com a condição de as teorias serem representações mentais que, por seu turno, estão diretamente associadas com a ideia de se atribuir a característica da hereditariedade às leis do pensamento (*Denkgesetze*) (Cf. VIDEIRA, 2005. p. 230-231). Dito de outra maneira, o evolucionismo epistemológico relaciona-se com a ideia de que as leis do pensamento sejam herdadas e regulam nossas

³⁹ Segundo Hiebert (1992, p. 680-681), essas concepções que Boltzmann relaciona com o darwinismo estariam, por sua vez, mais para um lamarckismo, pois, “para uma epistemologia evolucionária consoante com a visão do desenvolvimento do conhecimento científico que prospera por meio da adaptação e sobrevivência dos componentes mais adequados (leia-se *zweckmässig*) e a rejeição e revisão daqueles que são ‘*unzweckmässig*’ [inadequados] [...] tais ideias são muito mais próximas do lamarckismo do que da evolução darwiniana”, ou seja, a ideia da competição e sobrevivência do mais forte e adaptado. Visser (1999, p. 143) também chama a atenção para o mesmo fato, qual seja, o que Boltzmann chamou de darwinismo de fato corresponderia à maneira lamarckiana de lidar com a transmissão de características adquiridas hereditariamente. O que ocorria naquela época, muito provavelmente, era uma divulgação popular do darwinismo contaminada com aspectos lamarckianos; o darwinismo só se consolidaria após a aceitação geral da genética mendeliana a partir de 1910.

representações – aquela tese que consideramos, no fim da seção anterior como *naturalismo*.

Neste ponto, retomamos a discussão sobre as diferenças entre a IFC de Boltzmann e a de Hertz. A teoria evolucionista de Darwin influenciou fortemente a visão epistemológica de Boltzmann, munindo seus argumentos contra os conceitos apriorísticos da filosofia idealista (transcendental), da qual Hertz esteve mais próximo, e que tanto incomodavam Boltzmann (como já pudermos ver no capítulo anterior, na seção 5.2, e que retomaremos na seção 6.5, quando discutiremos a relação entre Boltzmann e a Metafísica). Segundo Flamm, “Boltzmann estava convencido que a mente humana e a ciência como um todo estavam sujeitas à um processo evolucionário” (1983, p. 257). Da fusão do conceito de representação com o evolucionismo, somados ao debate epistêmico com Hertz, Boltzmann adaptou os conceitos de leis do pensamento e de representações herdadas em sua epistemologia naturalista. “Segundo Boltzmann, as leis do pensamento não seriam senão *representações herdadas*” (VIDEIRA, 2005, p. 235). De acordo com a proposta boltzmanniana, as representações herdadas são aquelas *a priori*, não no sentido forte kantiano, mas, como resultado da transmissão biológica de geração em geração do conhecimento adquirido. Diz Boltzmann:

Nossas leis inatas do pensamento são, na verdade, a condição prévia de nossa complicada experiência [...] sendo hereditariamente transmitidas [...]. Isso explica que surjam juízos sintéticos, herdados de nossos antepassados, os quais, sendo inatos em nós, são, portanto, apriorísticos (1904, p. 174).

Por outro lado, Hertz afirmava que as leis do pensamento seriam condições de possibilidade para o conhecimento e, por conseguinte, condições para que as representações mentais pudessem organizar-se de forma inteligível, logo aproximando-se mais do conceito apriorístico kantiano. Em outras palavras, a condição de o ser humano elaborar representações ou imagens teria uma existência *a priori*, como outras condições kantianas para o conhecimento, tais como tempo e espaço. Segundo Videira, foi Boltzmann quem “modificou conscientemente a concepção *hertziana* das leis do pensamento” (2005, p. 235), convertendo-as numa forma de transferência hereditária do conhecimento, a fim de acomodar o conceito no bojo de sua epistemologia naturalista, estando, desta maneira, em concordância com sua posição contrária à Filosofia Dualista. Em outras palavras, Boltzmann demove as leis do pensamento de um nível transcendental (ideal) e as insere no processo evolucionário da vida (naturalização).

Dessa forma podemos estabelecer aquela que é a principal diferença entre as IFCs de Hertz e de Boltzmann. Em suma, para a *Bildtheorie* de Boltzmann, embora as leis do pensamento existissem, ele rejeitou a demanda hertziana – argumentando, ademais, diretamente contra a filosofia de Kant – de que as leis do pensamento equivaleriam às imagens mentais (em sua forma lógico-matemática das imagens teóricas) num sentido metafísico.

Para Boltzmann, algo que existisse aprioristicamente no sentido forte kantiano não poderia ser mudado ou evoluir, e as leis do pensamento para Boltzmann seriam inatas (aqui, no sentido boltzmanniano, o *a priori* se transforma numa metáfora para aquilo que é inato) e poderiam ser modificadas pela educação e pela experiência (Cf. DE REGT, 1999, p. 116), revelando, mais uma vez, o caráter pragmático de suas ideias (o conhecimento progride a partir da prática, se ajustando a partir da relação com o meio), baseado nos valores de simplicidade e economia (ao evitarmos suposições Metafísicas demasiado idealistas e, por conseguinte, muito distanciadas da prática e do concreto). Segundo o próprio Boltzmann:

Quero, portanto, modificar a demanda Hertz e dizer que, na medida em que possuímos leis do pensamento que reconhecemos como indubitavelmente corretas através da constante confirmação pela experiência, podemos começar por testar a exatidão de nossas imagens contra essas leis; mas a decisão única e final se as imagens são apropriadas reside na circunstância de que elas representam a experiência completamente, de forma simples e adequada, de modo que este [fato], por sua vez, fornece precisamente o teste para a correção dessas leis [do pensamento] (1899b, p. 105).

Até aqui demos um grande panorama das principais componentes que caracterizam a IFC de Boltzmann, apresentando seu pluralismo antidogmático e pragmático, seu conceito de imagem/representação e seu evolucionismo metodológico/epistemológico, atributos de sua *Bildtheorie*. A partir disso, podemos dizer que o seu pensamento epistemológico e metodológico desenvolveu-se: (1) como uma defesa do atomismo contra os argumentos dos empiristas (sensualistas, energetistas e os fenomenólogos) que sustentavam, por prejuízo filosófico, a tese contrária ao uso de inobserváveis, (2) como uma forma de conceitualizar o que é uma teoria científica, (3) como uma propedêutica em prol do progresso científico contra a ortodoxia e o dogmatismo, que poderiam vir a inibir o progresso ao limitarem o debate crítico à apenas aquelas teorias derivadas da observação direta, ou seja, Boltzmann temia que se inibisse a criatividade em ciência, o que seria um retrocesso (Cf. VIDEIRA, 2006, p. 276-277) e

(4) com a intenção de oferecer fundamentos racionais para a Teoria Cinética e para a Termodinâmica (Cf. CLARK, 1976, p. 46).

Em seguida, trataremos de elementos específicos da IFC boltzmanniana mais detidamente a fim de completar esse panorama de sua ecologia cognitiva global.

6.1. Da defesa do atomismo

“O átomo é exatamente a soma das críticas a que se submete a sua imagem primeira.”
Gaston Bachelard (1940, p. 84)

“Que nos seja permitido nomear essa instrução de imagem conceitual, a qual é epistemologicamente inobjetable porque é clara e não ambígua, e de atomística, no mais amplo sentido, já que baseada num número infinito de elementos.”
Boltzmann (1897d, p. 90)

Boltzmann utilizava o modelo atomista com sucesso em seu trabalho em TCG, isto é, o modelo atômico era fecundo em prever e explicar os fenômenos relacionados ao comportamento dos gases, enfim, era heurísticamente útil, sobretudo na resolução de problemas conceituais e empíricos relacionados à TCG: “o atomismo inspirou a grande criatividade de Boltzmann, ajudando-o metodologicamente e fundamentando hipóteses úteis para a construção de novas teorias e conceitos” (OKI, 2009, p. 1079). Boltzmann entendia que o recurso a fontes extra empíricas, i.e., o emprego de hipóteses que ultrapassassem a experiência direta de nossos sentidos e que fizessem alusão a entidades inobserváveis – conquanto fossem elas utilizadas parcimoniosamente como instrumentos lógicos ou modelos –, além de sua utilidade heurística, seria legítimo na construção de teorias científicas.

Na seção 5.1, vimos uma defesa prévia ao atomismo sob um viés técnico da Matemática, baseado em definições, ou seja, uma defesa ao *atomismo* tomado como *analogia aritmética*, enquanto um tipo de abordagem aplicando o *conceito de limite ao continuum* das equações diferenciais – a *discretização*. Não obstante, naquela seção 5.1, já vimos elementos epistemológicos e de preferência pessoal imiscuídos ao debate, que,

portanto, não foi estritamente técnico. Nesta seção, a defesa ao atomismo será vista em termos de conflito *realismo x instrumentalismo*, em que o caráter matemático não está tão evidente, posto que procuraremos mostrar como Boltzmann lidou com as críticas sobre a saturação metafísica de visões atomistas de natureza que incomodava aos fenomenólogos.

Isto posto, Boltzmann estrutura uma abordagem atomista cuja metodologia basear-se-ia na produção de teorias-como-modelo (*Bildtheorie*), i.e., por meio do método hipotético-dedutivo o cientista teórico desenvolveria suas hipóteses para posteriormente testar tais imagens. A defesa básica de Boltzmann ao atomismo poderia ser resumida no argumento sobre a Astronomia. Segundo Elkana (1974, p. 268), Boltzmann “aponta que na astronomia, à qual os fenomenologistas termodinâmicos não aplicavam seu ceticismo, todas as teorias devem ir além dos limites do observável”, ou seja, as entidades astrofísicas que fazem parte do domínio de aplicação da astronomia estão, com frequência, muito além da possibilidade de uma observação direta de nossos sentidos e, portanto, as teorias e hipóteses da astronomia, que são elaboradas tendo por base, em geral, essa relação indireta com os fenômenos (p.e., por meio da análise espectral), não deixa de ser considerada como uma ciência fundamental e tampouco tem a sua autoridade contestada.

Segundo Boltzmann (1886, p. 29-30), nós desenvolvemos nossas teorias e nossas hipóteses “por meio das impressões que [as coisas externas] fazem sobre os nossos sentidos”. Dessa maneira “o astrônomo consegue inferir, quase com certeza e a partir de minúsculos traços de luz, a existência de inumeráveis corpos celestes, os quais superam, em milhares ou em milhões de vezes, as dimensões da Terra, encontrando-se a tais distâncias que a sua mera representação nos produz vertigens. [...] Aquilo que foi conseguido pela astronomia em grandes dimensões também foi de forma semelhante, e com sucesso, em pequeníssimas [dimensões]”. Embora “as condições de investigação [a nível] atômico são, em muitos aspectos, mais desfavoráveis que as astronômicas” e suscitem inúmeras críticas na direção da hipótese atômica, o mesmo não se via em relação à astronomia. Não obstante, pensar “em uma massa de metal fundido, em uma grande esfera gasosa colante em ignição” é desenvolver hipóteses tanto quanto são desenvolvidas acerca do atomismo, “da mesma maneira é uma hipótese que aquilo que vemos no céu é produzido por corpos tão grandes e distantes”.

Se isso era válido para a Astronomia, porque não para o atomismo? E por que não seria o método hipotético-dedutivo válido, se, por exemplo o método euclidiano na geometria já demonstrara a sua valia (e mesmo as geometrias não-euclidianas, que seguiram o modelo dedutivo, preservavam o seu prestígio dadas suas consistências)? Segundo Boltzmann,

Aqui encontramos, com frequência, um procedimento de derivação, que eu gostaria de denominar de euclidiano, já que foi copiado do procedimento empregado por Euclides na geometria. Algumas proposições (os axiomas) são postas de antemão ou como evidentes por si mesmas ou como estabelecidas de modo indubitável pela experiência (BOLTZMANN, 1899a, p. 115).

Aqui poderíamos questionar a analogia de Boltzmann acerca do método dedutivo empregado por Euclides e o método dedutivo empregado nas ciências naturais, pois existe uma importante diferença entre as ciências formais e as empíricas: ambas têm um domínio de aplicação que são incomensuráveis entre si, ou seja, as ciências puramente formais, como a Lógica e a Matemática, não têm contrapartida no mundo fenomênico, sendo puramente abstratas, diferentemente das ciências empíricas, que têm por objetivo a explicação, descrição e previsão de fenômenos físicos e tentam representar de alguma forma, mais ou menos adequada, o mundo real, todavia a analogia em relação ao procedimento se sustenta e, por conseguinte, sustenta sua defesa do argumento atomista de sua *Bildtheorie*.

Eis outro ponto importante que subjaz à defesa do atomismo, qual seja, a defesa do mérito do método hipotético-dedutivo, chamado por Boltzmann de “representação dedutiva” (*deduktive Darstellung*) (Cf. 1899b, p. 107). Na verdade, a defesa deste método é a base da defesa do atomismo. De acordo com Boltzmann, o método da representação dedutiva funciona da seguinte maneira (enquanto processo mental):

Este modo consiste em começar operando apenas com abstrações mentais, em sintonia com a nossa tarefa de construir apenas imagens mentais internas. Neste [instante] nós ainda não levamos em consideração os fatos da experiência. Nós meramente nos empenhamos em desenvolver nossas imagens mentais tão claramente quanto possível e delinear a partir delas todas as possíveis consequências. Somente mais tarde, após a exposição completa da imagem, nós testamos sua concordância com os fatos da experiência (BOLTZMANN, 1899b, p.107).

Em resumo, o método dedutivo consistia na elaboração de hipóteses que posteriormente deveriam ser submetidas à experiência a fim de validá-las, i.e., apenas o

confronto com a experiência seria capaz de corroborar a utilidade das hipóteses (conferir *Ct(3)* na seção 6.6.).

Tendo vindo em defesa do método hipotético-dedutivo, por sua vez, Boltzmann dá continuidade a uma contenda por mudanças na orientação cognitiva da axiologia da ciência, que já vinha de um século antes, com as defesas do *método de hipóteses*⁴⁰, acampanadas por David Hartley (1705-1757), Roger Boscovich (1711-1787) e, sobretudo, George Lesage (1724-1806), contra o método indutivo, que se tornara sinônimo de método científico, desde o nascimento da Ciência Moderna, com o sucesso do lema *hypoteses non fingo* de Newton e com o desenvolvimento de epistemologias empiristas com George Berkeley (1685-1753), David Hume (1711-1776) e Étienne Bonnot de Condillac (1714-1780) (Cf. LAUDAN, 1984, p. 55-60).

Aliás, com essa defesa, Boltzmann, a exemplo de Lesage⁴¹, mostra como muitos cientistas que professam seguir alguma linha variante da empirista “que pretende representar por meio de equações somente aquilo que pode ser observado, sem lançar mão do colorido das hipóteses com que nossa fantasia nos oculta” (BOLTZMANN, 1892, p. 19), com frequência viola a axiologia a qual se diz vinculado. Como já disse Popper (2007, p. 61) “observação é sempre uma *observação à luz de teorias*”. No fundo, mesmo as nossas melhores teorias indutivas estão, de alguma forma, enredadas à hipotetizações, deduções, abstrações e idealizações, porque, de acordo com Boltzmann:

[...] a experiência nos ensina que o edifício de nossas teorias é, de forma alguma, construído sobre tais verdades [assim como apregoa a axiologia empirista], inalteráveis e logicamente fundamentadas. Ao contrário, esses edifícios consistem de inúmeras imagens frequentemente arbitrárias da conexão entre fenômenos, isto é, de hipóteses. [...] Sem algo que vá, ainda que ligeiramente, mais além daquilo que é diretamente percebido, não existe nenhuma teoria, nem mesmo uma descrição nítida e conectada dos fatos naturais capaz de prever fatos futuros. Isso é válido tanto para as antigas teorias, cujos fundamentos são muito criticados atualmente, como para aquelas mais modernas e que vivem em uma grande ilusão, caso se imaginem livres de hipóteses (BOLTZMANN, 1904, p. 160-161)

⁴⁰ De acordo com Laudan (1984, p.55), o final do século XVIII e o começo do século XIX representa um marco na mudança da orientação cognitiva da Ciência, sobretudo com a defesa por Lesage do método das hipóteses, ou o método-hipotético dedutivo, contra o empirismo ortodoxo que professava ser o método indutivo o objetivo do fazer científico, e que essa mudança cognitiva foi “absolutamente essencial” para o desenvolvimento de várias hipóteses científicas, dentre elas o próprio atomismo.

⁴¹ Lesage escreveu para a famosa Enciclopédia de Diderot um tratado defendendo o método hipotético-dedutivo, em que ele procurou estabelecer as credenciais epistemológicas que sustentariam a validade deste método e, por outro lado, procurou mostrar que mesmo os seus críticos, os empiristas e indutivistas, utilizavam entidades inobserváveis em suas teorias (Cf. LAUDAN, 1984, p. 58).

E também:

Se a fenomenologia acreditou poder representar a natureza sem ultrapassar, de alguma maneira, a experiência, então isso não passa para mim de uma ilusão. Nenhuma equação representa quaisquer processos de forma absolutamente exata; cada uma os idealiza, enfatizando o comum e eliminando o diferente, indo, pois, além da experiência (BOLTZMANN, 1889a, p. 118).

Boltzmann, portanto, nos deixa evidente sua posição sobre a construção de teorias e hipóteses científicas. Mesmo que empreguemos qualquer método, seja por princípios fenomenológicos (empiristas), seja a partir do método hipotético-dedutivo, sempre haverá lugar para a *ultrapassagem à experiência*, de acordo com o termo empregado por Boltzmann. Sempre que delineamos e simplificamos um dado domínio de aplicação de nossas teorias, estamos fazendo algum grau de idealização na forma com a qual representamos esse recorte de um dado objeto de estudo, via representação simbólica (seja pela Matemática ou pela Lógica), demanda a utilização de elementos abstratos da Matemática pura.

Se os procedimentos da fenomenologia, de derivar as descrições dos fenômenos observáveis de um dado domínio de aplicação por meio, por exemplo, de equações diferenciais e funções, requerem idealizações, simplificações e abstrações e, por conseguinte, também ultrapassam a experiência, porque tolher a criatividade do cientista em elaborar imagens hipotéticas a partir de um método dedutivo, que também ultrapasse a experiência, por exemplo, por meio de um argumento atomista (mesmo que tal argumento não venha a implicar a existência *real* de partículas invisíveis)?

Essa defesa pela liberdade de expressão do cientista a partir da argumentação em prol do método hipotético-dedutivo⁴² e, por conseguinte, do atomismo, torna mais

⁴² Embora a campanha pela validade do método hipotético-dedutivo já venha desde o século XVIII, Boltzmann, como mais um dos atores deste enredo, contribuiu enormemente para a aceitação deste método, que veio a tornar-se tão importante e usual na Ciência do século XX. Desde então, diversos cientistas eminentes tomaram parte desta campanha e procuraram corroborar a importância do método dedutivo para a Ciência, procurando esclarecer ecos daqueles mal-entendimentos de desde o nascimento da Ciência Moderna, tornando algo profética a defesa boltzmanniana. Segundo Einstein,

“a ideia mais simples que se tem acerca do desenvolvimento da ciência empírica é que ela segue o método indutivo. [...] [Não obstante,] até mesmo uma breve olhada no desenvolvimento real mostra que uma pequena parte do grande progresso do conhecimento científico surgiu dessa forma. [...] O progresso realmente grande da Ciência Natural surgiu de uma maneira quase diametralmente oposta à indução [...]”, através de “[...] um método puramente lógico-dedutivo. [...] Toda pessoa instruída sabe que os maiores progressos da Ciência, por exemplo, a teoria da gravitação de Newton, a termodinâmica, a teoria cinética dos gases, a moderna eletrodinâmica, e assim por diante,

evidente a postura pluralista de Boltzmann. Com tal defesa, ele não pretendia negar a validade do método indutivo, pelo contrário, mas sim salientar a importância da coexistência de vários métodos, como algo salutar para o próprio desenvolvimento da ciência, pois muitos cientistas antes de Boltzmann já

[...] mostraram o quão compensadora é a nova tendência [do método dedutivo] de abandonar a total congruência com a natureza, destacando-se, conseqüentemente, os pontos de semelhança [com o método indutivo]. O futuro próximo pertence, sem dúvida, a essa nova tendência; mas, assim como fora anteriormente errôneo considerar o antigo método [indutivo] como sendo o único correto, seria igualmente parcial considera-lo completamente dispensável, já que ele conseguiu tantos resultados, não o cultivando ao lado do novo método (BOLTZMANN, 1892, p. 24).

De mais a mais, como comentamos acima, além de sustentar a importância do método hipotético-dedutivo (e salientar sua posição plural e não-dogmática em relação à indução), Boltzmann mostrou a utilidade do seu atomismo para a ciência e como sua visão era mal interpretada por aqueles críticos em seu tempo. O átomo para Boltzmann deixa de ser uma simples hipótese sobre a constituição da matéria e transforma-se em uma *entidade matemática*.

Boltzmann não estava, naquele momento, interessado em discorrer sobre se o átomo existiria factualmente, mas sim em utilizar uma heurística pragmática que lidasse com a ideia de átomos como entidades discretas, buscando uma unificação da Termodinâmica com a Teoria Cinética. Ele achava que as equações diferenciais do *continuum* não teriam como prescindir da ideia do discreto, ou do descontínuo, que seria, a base inteligível para lidar-se com o contínuo matemático (vide seção 5.1). Desta forma o atomismo teria o mesmo valor (homólogo) que a abordagem formalizada da Termodinâmica fenomenológica, pois ambas as teorias seriam igualmente imagens (em

surgiram todas dessa maneira e o seu fundamento tem, por princípio, um caráter hipotético” (EINSTEIN, 2005, p. 663-664).

Por conseguinte, essa abertura de portas para o método dedutivo e o reconhecimento de seus sucessos, a partir do século XX, permitiu que a Ciência mergulhasse em um nível cada vez mais crescente de abstração mas não menos bem sucedido, assim como frisou Heisenberg (2008, p 1-2):

“[...] Quando o presente estado das ciências naturais é comparado com aquele de um período anterior, se declara com frequência que as ciências têm se tornado mais e mais abstratas no curso de seu desenvolvimento e que tal fato alcançou, até o presente, em muitas áreas, um caráter francamente estranho de abstração, o qual é apenas parcialmente compensado com um enorme sucesso prático que as Ciências Físicas têm exibido em suas aplicações tecnológicas [deixando para quem queira julgar se] a enorme expansão das possibilidades técnicas que é baseada sobre a moderna pesquisa, tem irrefutavelmente provado a superioridade da nossa concepção presente das ciências naturais”.

termos de representação) destinadas a descrever os seus domínios de aplicação pretendidos.

De acordo com Boltzmann,

As equações diferenciais da fenomenologia físico-matemática não são obrigatoriamente nada mais do que regras para a formação e a combinação de números e conceitos geométricos, os quais, por sua vez, nada mais são do que imagens mentais a partir das quais se podem ver os fenômenos. Exatamente o mesmo é válido também para as representações do atomismo, o que faz com que, no que se refere a esse ponto, eu não chegue a perceber a menor diferença (1897a, p. 72).

Aqui, portanto subjaz uma relação homóloga em termos de imagens mentais (as imagens das representações via equações diferenciais da fenomenologia e das imagens do atomismo). Aliás, aqui também subjaz uma reiterada crítica de Boltzmann aos empiristas de sua época, “caracterizada” por seu turno, “por uma crítica quase exagerada dos métodos de investigação naturais” (BOLTZMANN, 1892, p. 15), que aderiram à campanha da simplificação teórica por meio da Matemática, representados por Kirchhoff, que sugeria a eliminação de *causas e explicações*, de Mach, que rejeitava a ideia de átomos e moléculas, e de Ostwald e Duhem, que tentavam mostrar a superioridade da TD fenomenológica sobre a ME (Cf. VISSER, p. 141).

Na medida em que os empiristas criam que não havia maneira de encarar a certeza das suposições hipotéticas e a realidade de entidades inobserváveis, propunham, por economia conceitual⁴³ (bem como já dito, por prejuízo filosófico), que o método correto seria aquele que representasse a natureza por meio de equações e que não procurasse explicar (superfluamente via entidades inobserváveis e pressupostos ontológicos) as causas dos fenômenos, mas sim, procurasse elaborar leis cada vez mais simples e genéricas e, destarte, descrever relações entre fenômenos – o método descritivo. (Vide a crítica de Boltzmann a Kirchhoff e ao preconceito dos fenomenólogos acerca do método explicativo na sessão seguinte, ou seja, sobre a tensão apresentada por Boltzmann sobre o papel das teorias científicas: se elas deveriam ser puramente descritivas ou também explicativas.)

⁴³ Vale aqui lembrar uma anedota de Max Born (1882-1970) segundo a qual o melhor meio de se praticar a *Denkökonomie* seria parar de pensar de qualquer forma (Cf. VISSER, 1999, p. 142), pois, em consonância com as ideias de Boltzmann, em última instância, não se faz Ciência Natural sem postular hipóteses.

Em contrapartida, a réplica de Boltzmann às críticas supracitadas dizia respeito ao fato de estas abordagens empiristas olvidarem-se de que suas representações, entendidas como puramente descritivas, ou apenas descrições de relações entre os fenômenos via expressão matemática, uma vez já estiveram assentadas sobre pressupostos ontológicos oriundos das suposições diretivas de grandes, e já clássicas, tradições de pesquisa, como a própria mecânica clássica, das quais as suas próprias expressões matemáticas derivaram, e cujas equações diferenciais já seriam suficientes para sustentar seu arcabouço teórico, estando portanto, livres de construtos entendidos como supérfluos ou inúteis, como os inobserváveis ou os imponderáveis (a exemplo do éter luminífero).

Boltzmann recorda, segundo tal réplica contra a crítica de seus pares, que boa parte das equações empregadas pela fenomenologia plena da Termodinâmica derivaram da teoria molecular da matéria e que os “fenomenólogos matemáticos agora afirmam que, uma vez que já dispõe dessas equações, a teoria molecular tornou-se supérflua” (1899a, p. 119), por isso, para os seus opositores, o modelo atomista deveria ser suplantado. De acordo com Mach,

as últimas inteligibilidades sobre as quais a Ciência se funda precisam ser fatos ou, quando são hipóteses, precisam poder se tornar fatos. Se as hipóteses são escolhidas de modo que seu objeto jamais possa atingir os sentidos e, portanto, jamais possa ser provado, como é o caso da teoria molecular mecânica, então o pesquisador fez muito mais do que lhe é exigido pela Ciência, cuja meta são fatos; e esse mais é um mal. Poder-se-ia talvez pensar que a caminho da teoria molecular se encontrariam regras para os fenômenos. Só que não é o caso. Numa teoria completa, a todos os detalhes do fenômeno precisam corresponder detalhes da hipótese, e todas as regras para essas coisas hipotéticas precisam poder ser diretamente transferidas para os fenômenos. Mas então as moléculas são senão uma imagem inútil (2014, p. 71-72).

De acordo com outro exemplo de Boltzmann que segue a mesma linha argumentativa, “assim, imaginou-se que a matéria e o éter luminífero, necessários para a explicação dos fenômenos luminosos, e os dois fluidos elétricos, eram somatórios de pontos matemáticos”, e, a partir do momento em que se postulou a existência de forças entre esses pontos, “não se hesitou em considerar essas forças, tomadas como dadas originalmente e não como algo a ser explicado como sendo as causas dos fenômenos, e seu cálculo, a partir das equações diferenciais, como sua explicação” (1892, p. 18). Para Boltzmann, essa abordagem altamente abstrata, carregada de idealizações (lembrando que essas idealizações, ou distorções do real, que não precisariam de explicações, outrora derivaram de entidades inobserváveis, como ao exemplo dos imponderáveis fluidos), não diferiria, em última instância, da sua que era baseada no método hipotético-dedutivo:

ambas seriam formas diferentes de construções mentais, porém homólogas, e, por conseguinte, as abstrações e as generalizações seriam modos de se lidar com as imagens teóricas, ou, em outras palavras, fariam parte das teorias, enquanto modelos, a depender da escolha metodológica – se descritiva, se explicativa – do agente que as emprega. Ou seja, o conceito de *Bild* aplicar-se-ia às diversas formas que o homem emprega para descrever ou explicar os fenômenos, tanto o modelo teórico atomista defendido pelo próprio Boltzmann, bem como aquele empregado pelos seus pares na tradição de pesquisa da TD fenomenológica, que Boltzmann chama aqui de fenomenologia físico-matemática.

Boltzmann, desta forma, procurou alinhar a abordagem dos fenomenologistas (empiristas) com sua abordagem entendendo que todas as teorias científicas nada mais seriam que meros modelos e uma não poderia sobrepor-se à outra apenas seguindo o critério do emprego ou não de hipóteses que ultrapassassem a experiência. Disse Boltzmann, acerca desta questão:

[...] não faz qualquer diferença para mim se eu digo que o modelo atômico é apenas uma imagem. Eu não me importo com isso. Eu não exijo que eles [os átomos] tenham absoluta, real existência. Eu não digo isso. ‘Uma descrição econômica’, disse Mach. Talvez os átomos sejam uma descrição econômica. Isso não me angustia tanto. A partir do ponto de vista dos físicos isso não faz a diferença (BOLTZMANN *apud* BRUSH, 1968, p. 207).

Em *última instância*, todas as teorias são igualmente imagens (fundadas a partir da amalgamação de IFCs e ICNs)⁴⁴, ou modelos, seja esta uma teoria “puramente” fenomenológica, seja esta uma teoria baseada numa imagem hipotética de natureza atomista. Ademais, sobre esta imagem atomística de natureza, Boltzmann disse o seguinte: “Pode-se, naturalmente, denominar aquilo que [...] chamamos de ‘corpúsculos elementares’, ou ‘átomos no sentido mais geral’, ou ‘elementos’, de uma outra maneira qualquer, chamando-os, por exemplo, de ‘unidades de representação’ ou ‘*algos*’” (1897a, p. 87)⁴⁵.

⁴⁴ Esse fato nos remete a ideia de que, apesar de haver diferenças entre tipos de imagens, elas estão relacionadas de alguma forma. Um encadeamento entre tipos de imagens exemplificaria essa relação. Desta forma, p.e., certos valores acerca dos objetivos da Ciência dirimiriam as escolhas, dentre as teorias concebíveis, escolhas aparentemente instintivas ou intuitivas (que são, de alguma forma, pré-concebidas, ou relacionadas com alguma concepção de mundo, ou *Weltanschauung*) dos cientistas acerca de quais imagens de natureza eles deveriam investir seus esforços de pesquisa.

⁴⁵ Embora o atomismo seja “uma antiga hipótese, proveniente já de Demócrito”, em que imaginou-se “os corpos como agregados de numerosos pontos materiais [quais sejam]: os átomos” (BOLTZMANN, 1899a, p. 97), Boltzmann alerta que “a palavra átomo não nos deve confundir”, pois, “ela foi tomada de tempos imemoriais” (BOLTZMANN, 1904, p. 175) de forma metafórica. Destarte, Boltzmann tenta explicar que

Desta forma, o atomismo, enquanto modelo, ou representação teórica, poderia ser denominado de qualquer maneira, conquanto explicasse adequadamente determinados fenômenos físicos; a despeito de o átomo ser uma entidade inobservável, ele poderia existir na Ciência enquanto termo teórico que não necessariamente representasse (ou correspondesse a) algo que exista na natureza, efetivamente, mas que, não obstante, desempenhasse um papel heurístico (e econômico) colaborador em solucionar problemas conceituais e empíricos.

6.2. Sobre a tarefa da teoria científica e da falibilidade

“A teoria [...] levou um susto e saiu de seu repouso em que se encontrava enquanto acreditava já ter conhecido quase todas as coisas [...]; hoje em dia, tudo ainda está, ao contrário, em instabilidade e em agitação.”
Boltzmann (1899a, p. 107)

“As teorias são redes, lançadas para capturar aquilo que denominamos “o mundo”: para racionaliza-lo, explica-lo, domina-lo. Nossos esforços são no sentido de tornar as malhas dessa rede cada vez mais estreitas.”
Karl R. Popper (2007, p. 61-62)

Antes de adentrarmos na discussão desta seção, cabe aqui uma breve revisão da idiossincrática concepção-*Bild* de Boltzmann. *Bilder* equivalem-se a representações ou imagens. A fim de evitar-se confusões com outras acepções, como a de *picture theory*, dada a abrangência do conceito de *Bild*, este último se equivaleria a ideia de modelos, ou, mais especificamente *teorias-como-modelo* (já que a expressão modelo, como veremos no capítulo 7, assume diversas roupagens e tem empregos diferentes para Boltzmann).

Ainda vale dizer que, ancorado em sua *Bildtheorie*, Boltzmann não perde a visão histórica de que certas *Zeitgeister* não deixam de influenciar na elaboração destas imagens, de acordo com os valores científicos de uma determinada época, e que, por fim, só possuímos nossas linguagens, que também são expressões de uma época, para

o seu atomismo não tem, estritamente, o mesmo significado semântico que o atomismo da antiguidade; foi uma escolha léxica, essa entidade teórica poderia ter sido denominada de qualquer outra forma, portanto.

externarmos nossas teorias. Isto posto, podemos prosseguir com a reconstrução da concepção boltzmanniana acerca do papel das teorias científicas.

Como físico teórico e epistemólogo, Boltzmann cria que uma função imprescindível que lhe cabia era dar conta de conceitualizar adequadamente o objetivo das teorias científicas. Acerca deste objetivo, durante um discurso proferido por ele, em 1890, na Universidade de Graz, disse Boltzmann:

Sou de opinião de que a tarefa da teoria consiste na construção de uma imagem, em nós existente [puramente de forma interna], do mundo externo, devendo ela nos servir de guia em todos os nossos pensamentos e experimentos. [...] É um instinto próprio ao espírito humano constituir para si uma tal imagem e ajusta-la continuamente ao mundo externo. [...] A elaboração inicial e o constante aperfeiçoamento dessa imagem são, pois, a principal tarefa da teoria (1890, p. 52).

Para Boltzmann, existe em nós uma imagem, ou modelo, que fazemos do mundo ao nosso redor e que ajustamos constantemente de maneira instintiva para que nos adaptemos a esse mundo; assim sendo, o papel da teoria científica é o de aprimorar estes construtos que elaboramos como mediadores entre nós e o mundo externo: a teoria como processo e a imagem como produto. E, prossegue Boltzmann:

A teoria, no entanto, está longe de sobre-estimar a si mesma. É na sua natureza que estão fundadas também as suas deficiências e é ela mesma quem revela os seus próprios erros, tal como Sócrates, que enfatizava o conhecimento das falhas de seu próprio saber. Todas as nossas representações são puramente subjetivas (1890, p. 55).

Boltzmann cria na existência de uma natureza objetiva, todavia as teorias (enquanto representações) que elaboramos, dada a sua subjetividade (destas representações enquanto *faculdade teórica* ou determinação particular do *eu* que faz a representação de algo via *imagens internas*, no sentido fichteano, vide nota 35), são falíveis, pois nosso entendimento não teria acesso efetivo aos fenômenos. Segundo Boltzmann: “A natureza é objetiva e, portanto, não se sujeita como as definições aos conceitos matemáticos...” (Cf. BOLTZMANN, 1903a, p. 192).

Já que não temos acesso direto, ou imanente, aos fenômenos, nós apenas conseguimos falar algo sobre eles, mas não cobrir estritamente a natureza de tais fenômenos: *nossas teorias são-sobre-algo*, e apenas sobre algo; elas não diriam como a Natureza realmente é em sua essência. Dentro do escopo desta problematização, o conceito de *representação* poderia ser resumido em um tipo de estado mental gerado

quando inferimos *sobre algo* no mundo. E, a partir deste estado mental, construímos nossas imagens e teorias como modelos do mundo.

Disse Boltzmann: “Assim, certamente há processos [físicos] que independem de nosso pensamento [...] e da nossa volição e cuja existência é ‘objetivamente correta’, mas que não são cognoscíveis por nós” (1897b, p. 62). Boltzmann considerava que um mundo independente de nós existiria e que a natureza de nossas teorias seria, no máximo, uma espécie de analogia via inferência entre o nùmeno e o fenômeno, ou seja, a partir de nossas teorias-como-modelo nós apenas desenvolveríamos – e aprimoraríamos – termos e conceitos que tentassem dar conta parcialmente e ordenadamente dos vários fenômenos que se nos cercam. Para Boltzmann a teoria “é apenas uma imagem integral ou uma construção mental que nunca pode coincidir com a multiplicidade dos fenômenos, mas apenas representar certas partes deles de uma forma ordenada” (1899b, p. 106).

Boltzmann entendia que o intelecto humano, por conseguinte, dada a limitação de sua própria condição subjetiva (toda e qualquer representação só pode ser feita dentro da própria capacidade representativa do sujeito cognitivo), não tem condições de definir certos conceitos por não termos acesso direto à essência da natureza: apenas temos a teoria para representar da melhor forma possível os fenômenos e, ademais, tentar fazê-lo da maneira mais simples possível.

Essa problematização nos leva a outra questão levantada por Boltzmann sobre o papel das teorias científicas concernente à tensão entre o caráter explicativo e o caráter meramente descritivo destas. Se nossas teorias apenas refletem *sobre algo mundo* do sem cobri-lo completamente, sendo idealizações, abstrações e simplificações (recortes de um dado domínio de aplicação pretendida), existiria uma maneira mais adequada de nossas teorias dizerem sobre algo do mundo?

A exemplo dos partidários dos imperativos hipotéticos metodológicos da física-matemática da Termodinâmica plena, a preferência se inclinava sobre o modo descritivista de expressão teórica: a partir da mera descrição via formalismo matemático das relações entre os fenômenos, evitar-se-ia a indeterminação que a condição de um *reductio ad absurdum*, ao qual as teorias que se expressavam da forma explicativa, poderiam conduzir. Poderemos verificar, na crítica de Boltzmann, citada abaixo, sua posição contrária à visão meramente descritivista:

Era costume até agora dividir a totalidade das ciências da natureza em dois grupos: um, era denominado de grupo das ciências descritivas; o outro, que incluía a Física, a Química, a Astronomia, a Fisiologia, e na medida em que também abarcava Matemática, Geometria e Mecânica, deveria ser denominado de ciências naturais explicativas. Não devemos ficar surpreendidos que as disciplinas da história natural protestaram contra aquela denominação, que tanto limitou o seu objeto. Desde o potente desenvolvimento da geologia, da psicologia etc., e particularmente desde a aceitação geral das ideias de Darwin, que essas ciências se atreveram, com valente ousadia, a explicar seja as formas minerais, seja a organização das formas de vida. Contudo é surpreendente ver que, quase ao mesmo tempo, no outro grupo de ciências, dava-se o movimento oposto. Kirchhoff propõe, com grande clareza, em sua ampla obra sobre mecânica, que o único objetivo [da Ciência] é descrever os fenômenos naturais do modo mais claro e mais fácil possível, renunciando a toda explicação, de tal forma que, a partir de então, aquilo que em Física era chamado de explicação passaria a ser denominado de mera descrição dos fatos. Isso ocorreu porque se queria evitar uma indeterminação que supostamente existia no conceito de explicação. Caso se queira explicar os movimentos a partir das forças e estas a partir das coisas em si mesmas, parecerá sempre que partimos da opinião de que a explicação necessitará que o explicando se reduza a um novo princípio situado fora dele. Essa maneira de pensar é estranha àquela das ciências da natureza, as quais apenas dissolvem o complexo em seus componentes simples, mas isso de forma articulada, convertendo as leis complicadas em outras mais simples. Se esse processo é, pois, exitoso, isto com frequência se deve fundamentalmente a um hábito de não querermos nos deter no lugar onde se situa o [seu] fim natural. Considera-se normalmente como uma limitação de nosso intelecto que, caso chegássemos a descobrir as leis mais simples, não poderíamos explica-las mais ou fundamenta-las mais radicalmente, ou seja, estas não poderiam se decompor novamente em outras mais simples; nós não concebemos a existência das entidades mais elementares, isto é, não podemos reduzi-las a algo mais elementar. Não estamos, uma vez mais, situados diante da cortina pintada que mencionamos anteriormente [quando não se vê o quadro, pois o que o pintor figurou nele foi a pintura de uma cortina]? Poderemos reter a palavra "explicar" se, desde o início, afastarmos todos os preconceitos semelhantes a esses [que a posição fenomenológica tinha sobre o caráter explicativo poder conduzir a um *reductio ad absurdum*] (BOLTZMANN, 1886, p. 28-29).

Como vimos na seção anterior, Boltzmann, ancorado sem sua plural concepção-*Bild*, tratou de forma homóloga o método descritivo, da fenomenologia da física-matemática, e o método explicativo, como empregava Boltzmann ao utilizar-se da imagem atomística de natureza. Ambos os métodos seriam nada mais que imagens mentais, igualmente representações que não cobririam em absoluto os domínios de aplicação pretendidos, destarte ambos poderiam ser formas adequadas de representar a natureza. A citação acima complementa o ponto de vista de Boltzmann de que teorias são apenas formas de expressão de um intelecto que é falível.

De acordo com a propedêutica do pluralismo boltzmanniano (aliás, de acordo também, com seu antidogmatismo, vide seção 6.4.), o que o cientista precisaria seria superar o sentimento de estranheza que o modo descritivista de se pensar nas ciências naturais desenvolvia frente ao método explicativo. Se superássemos o preconceito que os

descritivistas possuíam frente à condição de possibilidade de uma indeterminação decorrente de uma necessidade de constantes reduções explicativas (p.e., a redução de “coisas” elementares à “coisas” cada vez mais elementares, ou ao “o que é cause de quê”, e assim progressivamente), a Ciência não precisaria limitar a sua forma de expressar, a sua linguagem enfim, a apenas uma forma de expressão matemática de meramente relacionar fenômenos observáveis: poderíamos, portanto, vincular ambos os modos, o explicativo e o descritivo, num mesmo arsenal de modos de expressão científica, sem exclusividades. Muitas outras roupagens representativas, ou modelos, que, por sua vez, poderiam contribuir com a retenção do conhecimento científico, como imagens hipotéticas – tal qual o átomo, mesmo que isso representasse uma ilusão para os descritivista empiristas – não deveriam ser excluídos deste arsenal de modos de expressão, pois “uma ilusão não esvanece quando é explicada” (BOLTZMANN, 1903a, p. 192), enfatizando a importância cognitiva do método explicativo.

Aliás, disse Boltzmann, “Eu estou persuadido de que não existe quebra-cabeças que não possa ser respondido de uma forma clara e não ambígua usando-se a mais apropriada maneira de falar” (BOLTZMANN, 1903a, p. 192), ou de expressarmos nossas imagens mentais na forma de teorias científicas. Salientamos que ambos os modos de expressão científicos arrolados por Boltzmann – o descritivo e o explicativo – podem ser modos válidos dentro do fazer científico e que a *explicação* pode ser empregada, também, de uma forma que não seja ambígua, ou mesmo indeterminada (que não conduza a um *reductio ad absurdum*), para contribuir para a apreensão do conhecimento científico em termos hipotéticos de imagens mentais ou representações, enfim, de modelos, conquanto superássemos as contradições e preconceitos em nossos próprios pensamentos.

Isto posto, poderemos prosseguir com a discussão acerca da natureza das teorias científicas para compreendermos o seu papel dentro da IFC boltzmanniana. Como um tipo de imagem (ou esquema cognitivo), teorias são subjetivas⁴⁶ (enquanto *imagens internas*) e, por conseguinte, falíveis, já que não podem “ser corretamente encaradas como uma certeza apodítica” (BOLTZMANN, 1892, p. 18), posto que resida em sua falibilidade a condição que promova seu depuramento. Ressaltemos que nossa

⁴⁶ Desta forma, teorias científicas não seriam nem verdadeiras ou falsas (enquanto elementos teóricos tivessem ou não uma representatividade real no mundo), mas, dado o caráter pragmático da abordagem de Boltzmann, esse tipo de discussão seria irrelevante, porque o mais importante é a utilidade e a adequação das teorias em relação ao domínio de aplicação com os quais as teorias se relacionam.

falibilidade viria, no contexto boltzmanniano, da imperfeição e limitações de nosso cérebro: “O cérebro de animais e de humanos evoluiu através de interações com o ambiente [...]. Não significa que eles são *perfeitos*. Em todo o caso, eles são, no melhor, adaptados às experiências passadas. A limitação de nossos pensamentos está ao par com a limitação de nosso campo de experiência para com as experiências passadas” (DE COURTENAY, 2002, p. 114).

A falibilidade da compreensão humana, portanto, decorrente de um *work in progress* de uma evolução biológica de construção/constituição de nossos cérebros a partir da relação com o meio ambiente (via sentidos que possibilitam a interação com o mundo exterior) e com suas experiências passadas (memória e aprendizado), é uma chave importante para retermos durante toda a análise do contexto epistemológico boltzmanniano. A ideia de que nossas teorias científicas não acessam verdades tem raízes na ideia de um saber limitado por sua condição biológica que não tem acesso ao absoluto⁴⁷ e, por conseguinte, uma chave importante para a construção da defesa do atomismo por Boltzmann, isto é, já que nossas teorias não são absolutas (são apenas representações de algo) e sim falíveis, deveríamos, portanto, pressupor que o atomismo boltzmanniano tem um papel cognitivo dentro de sua Bildtheorie e não se refira à uma verdade sobre a composição do real no nível microscópico: no máximo é um bom modelo analógico para explicar um recorte do real. Podemos depreender dessa discussão que toda teoria científica é potencialmente falível enquanto saber que, por sua vez, não é o absoluto.

Acerca dessa potencial falibilidade, bem o disse Planck ao alertar que “o que nos engana é nossa inteligência, não são nossos sentidos” (2012, p. 141), ou, em outras palavras, aquilo que nossos sentidos captam pode não ser corretamente interpretado por nosso intelecto e, além do mais, nossas teorias são dependentes da linguagem que as expressa. De acordo com Visser (1999, p. 143), quando relacionamos o conceito de *Bilder* com teorias, também relacionamos as teorias com a linguagem, pois é a forma como podemos expressar nossas teorias, e, ademais, ao menos durante o processo de atualização da ciência em que teorias são substituídas ou redefinidas, a linguagem que a acompanha passa pelo mesmo processo de substituição e redefinição. Em suma, nossas imagens que

⁴⁷ Em suma, “o saber não é o absoluto” (FICHTE, 1801, p. 264). Ele é saber limitado pela própria faculdade da representação e toda representação só pode acontecer dentro dos limites da própria faculdade de representação (enquanto uma faculdade do *eu*): não temos acesso às verdades fora dessa capacidade representativa e todo conhecimento funda-se nesta capacidade.

dependem de uma linguagem, são falíveis e o papel das teorias é o de construir imagens e aperfeiçoá-las a partir de seus próprios erros e deficiências. É desta falibilidade de nossa compreensão que o conhecimento pode ser direcionado ao progresso científico (vide seção 6.7.), no sentido de as teorias serem solucionadoras de problemas a partir “das falhas de seu próprio saber” (BOLTZMANN, 1890, p. 55); enfim, erros e enganos podem ser retificados e hipóteses e teorias ratificadas ou melhoradas, como um “instinto próprio ao espírito humano” (BOLTZMANN, 1890, p. 55).

Boltzmann, em outro momento, numa conferência na Assembleia de Cientistas da Natureza, em 1899, pronunciou o seguinte:

Nenhuma teoria é algo objetivo, algo que se recubra realmente com a natureza: a teoria é, antes, apenas uma imagem mental dos fenômenos [...]. Conclui-se então que nossa tarefa não pode consistir em encontrar uma teoria absolutamente correta, mas sim, antes, uma afiguração [*Abbild*⁴⁸] o mais simples possível e capaz de representar os fenômenos da melhor maneira possível. É mesmo pensável que sejam possíveis duas teorias totalmente distintas, de tal modo que ambas sejam igualmente simples e concordem igualmente bem com os fenômenos, duas teorias que, portanto, embora totalmente distintas, sejam igualmente corretas. A afirmação de que uma teoria seria a única correta pode ser apenas a expressão de nossa convicção subjetiva de que não pode haver nenhuma outra imagem que seja igualmente simples e que concorde igualmente bem com os fenômenos (1899a, p. 111-112).

Aqui fica claro (além do pluralismo boltzmanniano) o limite de nosso saber, quando Boltzmann aproxima as teorias às imagens mentais, ou modelos, a partir de sua concepção-*Bild*, em que as teorias não têm um contato direto com o domínio que elas pretendem cobrir, pois “a totalidade não se deixa explicar completamente” (BOLTZMANN, 1896, p. 59). Teorias, assim, são apenas construtos que cobrem de maneira análoga os fenômenos com os quais relacionam-se. Destarte, uma teoria que fosse simples e mais adequada (vide seção 6.6.), seria aquela mais correta, ao menos naquele momento em que estivesse sendo empregada com sucesso.

A partir dessas premissas, alguém que considerasse “sua” teoria como a mais correta – verdadeira ou mais aproximada da verdade – como a única válida, em detrimento de outras teorias, estaria, portanto, sendo, além de dogmático, contraditório em relação às premissas que consideram as teorias como modelos que não cobrem de fato a realidade, pois equivaleria a assumir a postura de que nem uma outra teoria possível pudesse

⁴⁸ *Abbild*, literalmente, cópia, imagem, retrato. (Fonte: IRMEN, Friedrich. **Langenscheidts Taschenwörterbuch der Portugiesischen und Deutschen Sprache** (Langenscheidt Dicionário de Bolso das Línguas Portuguesa e Alemã). 13ª ed. Berlin: Langenscheidt, 1995.)

adequar-se tão bem quanto a sua escolha a um mesmo domínio e que igualmente pudesse concordar tão bem com o valor cognitivo da simplicidade.

Ainda, a partir do excerto acima, podemos fazer uma conexão entre o evolucionismo epistemológico, o pluralismo e a subdeterminação empírica, ou seja, se o pluralismo preconiza que a competição entre teorias será vantajosa para o *corpus* do conhecimento científico, pois, desta forma, pode-se conhecer mais – além de a condição de possibilidade de descobertas científicas incrementarem-se –, a subdeterminação empírica, i.e., a situação em que existam duas ou mais teorias se adequem igualmente ao domínio de aplicação que pretendam dar conta, deixaria de ser um problema e torna-se proveitosa.

Outrossim, Boltzmann entendia que os dados do mundo ao redor captados pelos nossos sentidos permitiriam que o nosso intelecto processasse uma representação do mundo e nós exteriorizaríamos nossas visões de mundo por meio de uma linguagem (Cf. BOLTZMANN, 1897b, p. 67), fato que Boltzmann usa para sustentar a condição subjetiva das teorias científicas. De mais a mais, pode existir mais de uma teoria-como-modelo que explique coerentemente um mesmo fenômeno sem que uma delas necessariamente tenha de ser incorreta (ou que possamos saber qual seja a correta), afinal de contas “palavras e, portanto, conceitos nós podemos formar como desejarmos” (BOLTZMANN, 1897b, p. 67) quando construímos imagens a partir de nossas teorias. De acordo com Boltzmann, nós apenas possuímos nossas ideias e as palavras para “indicar regras para simplificar nossas maneiras” de representar a riqueza da experiência e “adapta-las à experimentação” (BOLTZMANN, 1897b, p. 57), posto que não possamos definir tudo, ou seja, como o entendimento humano não tem acesso às causas dos fenômenos, segundo Videira, “as representações, ou teorias, não mais procura[ria]m dizer o que é o real” (2006, p. 274).

Podemos depreender, ainda, que o termo subjetivo, contenha não apenas a ideia de que as representações mentais que elaboramos sejam construtos do *eu* a partir de uma faculdade do entendimento, ou *faculdade teórica* particular, mas que também contenha elementos tais como padrões de gosto e um sistema de crenças particulares – o que tenderia a nos direcionar para uma preferência específica. O problema, para Boltzmann, ocorreria quando o cientista estivesse convicto de que a sua representação mental, ou seja, que sua teoria desse conta de explicar o mundo ao redor de maneira objetiva e não

arbitrária, propenso a sustentar uma opinião, por gosto (ou crença), em detrimento de outra que poderia ser, igualmente importante. “A tarefa dos cientistas não pode ser de encontrar uma teoria absolutamente correta, mas, somente, de encontrar uma imagem que represente, o melhor possível, os fatos. A afirmação que uma teoria é a única correta nada mais é que a imposição de uma crença pessoal”, de acordo com Boltzmann (1899a, p.111).

Desta forma, correr-se-ia o risco de cair no dogmatismo. Posturas dogmáticas propenderiam a inviabilizar o progresso da ciência pela exclusão sumária de certas propostas antagônicas aos valores sustentados por tais posições ortodoxas, ou, em outras palavras, o dogmatismo epistemológico e, por conseguinte, metodológico, poderia restringir a capacidade da ciência em solucionar problemas ao cercear certas atitudes heurísticas por não corresponderem às suas axiologias.

Em suma, as teorias científicas (associadas ao conceito de *Bild*, ou de representações/imagens/modelos), para Boltzmann, de acordo com sua própria axiologia, a despeito das influências, deveriam ser *simples* e *úteis*, ao mesmo passo que, dada a condição da *subdeterminação empírica*, questionarmos se as teorias são verdadeiras torna-se supérfluo, i.e., as teorias têm o papel de representar da melhor forma, qual seja, da forma mais *econômica* e *adequada*⁴⁹, os fenômenos a que se prestam dar conta e não de representarem o real enquanto verdades absolutas. Ademais, a despeito da *subjetividade* (imagens mentais internas embebidas em sistemas de crenças e padrões de gosto) das teorias, elas são, então, potencialmente falíveis, embora esta *falibilidade* seja positiva, pois conduz os agentes da prática científica a um movimento em direção a solução de problemas.

⁴⁹ A despeito das diferenças entre Boltzmann e Mach, o primeiro concorda com este último acerca do objetivo das teorias científicas, além de ambos partilharem um ponto de vista evolucionista. Diz Boltzmann: “de fato, o próprio Mach expôs de forma engenhosa que nenhuma teoria é absolutamente verdadeira, mas que também nenhuma pode ser completamente falsa. Em vez disso, toda teoria deve ser feita da forma mais completa pelos meios de se lutar contra seus aspectos menos relevantes e substituindo-os pelo que é mais resoluto, deste modo somente aquilo que satisfaça melhor os nossos fins seja preservado” (1903a, p. 19-193),

e “toda teoria deve ser aperfeiçoada gradualmente, como os organismos, segundo a teoria de Darwin” (1903b, p. 156). Sobre o caráter evolucionista da epistemologia machiana, conferir Loures (2011, p. 35-36).

6.3. Sobre a axiologia cognitiva da IFC boltzmanniana

“É inacreditável como os resultados nos parecem naturais e simples uma vez descobertos, e quão difíceis são os caminhos que a eles conduzem enquanto ainda não são descobertos”.
Boltzmann (1894, p. 331)

A epistemologia antidogmática, evolucionária (vale lembrar, mais lamarckiana que darwinista, conferir nota 39) e pragmática de Boltzmann tem como marcas distintivas a consiliência do pluralismo teórico e sua idiossincrática concepção de *Bild*. Ademais, apresentamos até o momento alguns valores cognitivos caros a Boltzmann, como, p.e., o falibilismo, o naturalismo, a utilidade, a simplicidade, a adequabilidade. O excerto seguinte, em que Boltzmann comenta as tarefas da ciência, consegue reunir os principais valores cognitivos da axiologia da sua IFC. Diz ele:

Esta é precisamente a principal tarefa da ciência: configurar imagens que se prestem à representação de uma série de fatos, de tal modo que, a partir delas, possam ser previstos os comportamentos de outros fatos semelhantes. É certamente compreensível que a previsão ainda tenha que ser testada pelo experimento. Provavelmente ela será apenas confirmada em parte. Existe, então, esperança de modificar e aperfeiçoar as imagens de tal forma que elas também correspondam aos novos fatos. [...] É naturalmente justificado de que (a) não se acrescente à imagem mais arbitrariedades (o que deve ser o mais geral possível) do que é inevitavelmente necessário para a descrição de domínios fenomênicos mais amplos e (b) se esteja sempre disposto a modificar a imagem, não perdendo mesmo de vista a possibilidade de reconhecer alguma vez que no lugar dessa imagem é preciso introduzir uma outra nova e fundamentalmente diferente. [...] Como conclusão, eu queria ir ainda mais longe, quase que me aventurando a afirmar que está inscrito na própria natureza da imagem o fato de ela ter que estar acompanhada de características arbitrárias, para que se dê a afiguração [*Abbildung*⁵⁰], e de ter que, estritamente falando, ultrapassar a experiência tão logo se infira, a partir de uma imagem adequada a certos fatos, um fato novo, mesmo que seja apenas um único (1897a, p. 82).

⁵⁰ *Abbildung*, literalmente, no sentido de *Bild*, ilustração, figura, gravura, estampa; no sentido de *Bildnis*, retrato; no sentido de *Darstellung*, representação; no emprego matemático, diagrama, gráfico. (Fonte: IRMEN, Friedrich. **Langenscheidts Taschenwörterbuch der Portugiesischen und Deutschen Sprache** (Langenscheidt Dicionário de Bolso das Línguas Portuguesa e Alemã). 13ª ed. Berlin: Langenscheidt, 1995.)

Aqui podemos destacar alguns valores cognitivos importantes para Boltzmann e que compõem a axiologia de sua IFC. Logo de início surge a questão da capacidade de *representação*, ou seja, o fato de que um dos ofícios mais fundamentais para o cientista é o de desenvolver modelos teóricos (imagens) que deem conta de subsumir uma série de domínios de aplicação. Além de os modelos serem mediadores entre o fato em si e a maneira como eles são representados, como símbolos cognitivos hipotéticos internos, notamos que os modelos também devem ser *férteis* e *ampliativos*, a fim de darem conta da *previsão* de fatos que guardem algum grau de similaridade entre domínios de aplicação pretendidos, bem como sua aplicação possa ser extensível a novos domínios. Outro valor enfatizado e que está intimamente relacionado com a fertilidade dos modelos é o da *adequação empírica parcial*, i.e., modelos que sejam férteis em prever comportamentos entre domínios semelhantes e entre domínios novos e distintos daqueles, devem ser submetidos ao teste confirmatório, embora seja salientado que o teste empírico seja algo inexato e que não possui a condição de falsear ou corroborar definitivamente, mas apenas sugerir graus de confirmação a uma dada teoria. Em face à essa inexatidão da testabilidade é que as teorias-como-modelos podem e devem ser constantemente aperfeiçoadas frente à esperança de que elas continuem sendo preditivas e férteis, ou seja, se uma dada teoria não foi confirmada com precisão, não significa que ela deva ser rejeitada e sim que sua estrutura possa ser modificada visando sua adequação. Mesmo frente à possibilidade da modificação e aperfeiçoamento das estruturas teóricas, se isso, por qualquer motivo, não for possível, é necessário que estejamos abertos à construção de novas imagens fundamentalmente distintas, evidenciando que Boltzmann entende que o desenvolvimento do conhecimento científico seja um processo dinâmico de transformação, modificação e mesmo de revolução (vide seção 6.7.). Notável também é a tese da inevitabilidade de que as teorias estejam acompanhadas de elementos arbitrários. A partir da inclusão de determinadas arbitrariedades é que o cientista pode *ultrapassar a experiência* e permitir o progresso do conhecimento científico quando inferem-se novos fatos a partir de fenômenos conhecidos. Todavia essas arbitrariedades devem ser empregadas com *parcimônia*, de forma econômica, tomando-se os devidos cuidados a fim de não saturar metafisicamente as teorias. Desta forma, quando o cientista ousadamente ultrapassa a experiência, p.e., ao utilizar entidades inobserváveis na estrutura de suas teorias para dar conta de prever fenômenos conhecidos e ampliar o seu domínio na direção de novos fatos, a introdução de elementos arbitrários deve ser efetuada sob os auspícios de certos critérios, ou seja, que as arbitrariedades que permitam

a abrangência de novos domínios de aplicação devem ser mais genéricas possível e nelas não deveríamos acrescentar elementos arbitrários ou facultativos (sendo que acrescentar ou remover algum elemento arbitrário em teorias não depende de leis determinadas, mas depende de critérios de vontade e um sistema de crenças) além do necessário. Depuramos, a partir dessa tese, outro valor cognitivo, qual seja, o da *simplicidade*, em meio à busca de modelos gerais, unificadores e empiricamente testáveis.

Portanto, dentro da abordagem epistemológica do cientista-filósofo austríaco, hipóteses e teorias: (a) devem ser frutíferas (aqui podemos incluir os valores cognitivos de fertilidade, de previsibilidade e de ampliatividade), (b) devem ser econômicas (aqui temos contidos os valores de simplicidade e de parcimônia), (c) devem ser adequáveis e (d) devem ser ousadas (pois devem permitir espaço para a criatividade do cientista visando a condição de possibilidade de descobertas insuspeitadas), (e) e não são absolutas, i.e., não acessam e expressam verdades do mundo pela inacessibilidade e falibilidade de nosso saber.

Sobre esta última condição (e), tecamos alguns comentários. De acordo com De Courtenay (2002, p. 114), “a frase favorita de Boltzmann é que não há verdade absoluta”. O *valor cognitivo da verdade* deixa de ser um valor relevante predicado às nossas teorias científicas. Entendemos que o naturalismo epistemológico de Boltzmann pressuponha essa negação. No máximo poderíamos imaginar que o *valor de verdade* (no sentido lógico e não no sentido cognitivo) apenas existiria (semanticamente) entre as relações das proposições, internamente à cada teoria. Todavia, mesmo esse valor de verdade lógico também é polemizado por Boltzmann, de acordo com a seguinte afirmação de De Courtenay (DE COURTENAY, 2002, p. 114): “E ele [Boltzmann] torna isso muito claro em sua correspondência com Brentano que, de acordo com ele, não há validade por virtude de conceitos individuais, *mesmo na Lógica* – em outras palavras, que não há nada como uma proposição verdadeiramente analítica”. Isso nos pode revelar que para Boltzmann não exista nada verdadeiro que possamos *representar*, e que mesmo na Lógica a noção de verdade é apenas um *ideal*.

Como aponta Boltzmann (1899b, p. 106), de um fato não há dúvidas, qual seja, “que o homem nunca seria capaz de saber a total essência de toda verdade, [porque] tal conhecimento é apenas um ideal”. Desta forma, para ele, não havendo forma de atingir a verdade, não seria justo nem lícito a pretensão à verdade – e o valor cognitivo da verdade

tona-se irrelevante. O mais adequado, no caso, é a busca pela “ mais perfeita imagem que represente todos os fenômenos do modo mais simples e apropriado” (BOLTZMANN, 1899b, p. 106), ou, ao menos, pragmaticamente, conseguir uma imagem que manifeste, da melhor forma possível, sua utilidade, pois o que está em jogo, afinal “não é a questão se isso ou aquilo é verdade, em vez disso [está em questão] o que é útil [useful]” (BOLTZMANN *apud* HIEBERT, 1992, p. 680) para a Ciência.

6.4. Sobre a característica antidogmática da epistemologia de Boltzmann

*“Em todas as ficções, cada vez que um homem se defronta com diversas alternativas, opta por uma e elimina as outras [...].”
Jorge Luis Borges (2006, p.110)*

Recordemos da discussão na seção 6.2, em que ressaltamos que uma chave importante para entendermos o pensamento epistemológico de Boltzmann e sua defesa ao atomismo ancoravam-se numa naturalização do conhecimento, ideia de que nosso conhecimento progride conforme nossos cérebros evoluem ao se adaptarem ao meio e também às experiências passadas, ideia base para a noção da falibilidade do saber. Essa ideia, de mais a mais, também tornar-se-á uma bandeira antidogmática no debate metacientífico de revisões metodológicas: tanto nossas teorias científicas quanto nossas teorias metacientífica são potencialmente falíveis e, portanto, não podem ser absolutamente, verdades últimas.

Deveria haver uma teoria *sobre o fazer científico e sobre o método aplicado sobre tal fazer verdadeira* em detrimento de outras?

Munido, destarte, dos argumentos que compunham o núcleo forte de sua epistemologia (o naturalismo e o pluralismo, bem como os seus valores cognitivos), Boltzmann, contra os fenomenologistas que pretendiam banir entidades inobserváveis da ciência, assume uma postura metacientífica antidogmática. Ele temia que esta atitude empirista extremada, que se sublevava contra a postulação de hipóteses, por prejuízo filosófico, pudesse inibir o progresso científico, pois Boltzmann entendia que teorias e

hipóteses competindo entre si poderiam instigar o debate crítico na ciência engendrando condições para a solução de problemas e o desenvolvimento de novas teorias (Cf. VIDEIRA, 1997, p. 71-72). Outrossim, muitas hipóteses, competidoras ou não, poderiam vir a ser corroboradas em algum momento futuro por experimentos: conforme a tecnologia avança, permite novas formas de observação.

Boltzmann, acerca desta questão, discorre, usando argumentos históricos⁵¹ sobre situações, dentro da ciência, em que certos fenômenos interpretados pela inquirição científica, como, por exemplo, fenômenos óticos e eletromagnéticos, não puderam ser, num dado momento, observados com os instrumentos disponíveis e que, no entanto, num momento posterior, puderam ser corroborados pela experiência. Diz ele que,

se então é verdade que frequentemente o gênio produz o maior desempenho com os menores meios, vê-se, no entanto, aqui [no âmbito científico], o contrário: muitos desempenhos do espírito humano só são possibilitados pelo aperfeiçoamento dos aparelhos de observação e da técnica experimental (BOLTZMANN, 1899a, p. 107).

Logo, descartar certas proposições hipotéticas (como também aferrar-se a certas suposições diretivas) é uma postura dogmática, além de imprudente; representaria uma postura retrógrada frente ao desejo do progresso do conhecimento pela inibição da criatividade na ciência, de acordo com o seu critério do pluralismo teórico, pois “sempre será possível que surja uma nova estrutura teórica, a qual ainda não foi corroborada pela experiência, mas que representa um domínio fenomênico maior, ainda que momentaneamente desconhecido” (BOLTZMANN, 1904, p. 167). De acordo com as suas considerações metodológicas de índole pragmática, Boltzmann argumenta:

Por isso, parece-me ser completamente errôneo quando se afirma que imagens, como [...] a teoria atômica [...], precisariam desaparecer algum dia da ciência. A única coisa que se pode perguntar é se é mais vantajoso para a ciência a apressada proliferação de tais imagens ou o grande cuidado que recomenda abster-se das mesmas (1897a, p. 85).

⁵¹ Segundo Boltzmann,

“Provou-se por intermédio das descobertas realizadas por Hertz, Röntgen, Rowland e Hall que Faraday havia deixado a seus sucessores algo ainda a ser descoberto. A essas descobertas conectaram-se muitas outras feitas em tempos recentes, das quais gostaríamos de mencionar apenas aquelas realizadas por Zeeman acerca da influência do magnetismo sobre a luz emitida e acerca da influência correlativa sobre a absorção da luz. Todos esses fenômenos, muitos dos quais buscados por Faraday, não puderam de forma alguma ter sido observados com os instrumentos disponíveis à época” (BOLTZMANN, 1899a, p. 107).

Em outras palavras, Boltzmann acreditava que uma atitude dogmática na ciência poderia retardar o seu progresso ao privar o cientista de sua criatividade⁵². Prender-se a um dogma de uma axiologia dada pode ser condição que tolha a criatividade do pesquisador, logo uma abordagem pluralista estaria mais em consonância com um crescimento dinâmico do conhecimento.

Quando o cientista propõe teorias, ele não precisaria ater-se ao emprego de hipóteses diretamente retiradas da observação. Segundo Videira, “a mensagem de Boltzmann é clara: é impossível fazer ciência sem o emprego de hipóteses” (1997, p. 71). A questão levantada por Boltzmann, por sua vez, refere-se ao problema seguinte: talvez seja mais prejudicial o refreamento das proposições hipotéticas do que permitir que imagens, ou teorias, proliferem-se, pois, a partir de uma multiplicidade de proposições hipotéticas é que a ciência depara-se com uma maior condição de progredir (solucionar problemas recalcitrantes, bem como desenvolver novas hipóteses e teorias). Essa condição de o cientista propor hipóteses que não são retiradas da observação direta é o que ele chamou de uma tendência a ultrapassar a experiência e que tem a condição de ser vantajosa. Todavia, essa última condição também conduz o conhecimento para outra via que não a científica: a Metafísica.

⁵² Existem muitas relações que podemos fazer entre Boltzmann e Feyerabend, além de serem polemistas. Embora não seja esse nosso escopo, nos conteremos em comentar a postura pluralista de ambos, que em Feyerabend poderíamos chamar de a abordagem do “vale tudo”. Aliás, é válido dizer que Boltzmann causou admiração e tenha influenciado o pensamento de Feyerabend, tanto que este lhe dedicou a escrita de um verbete na *The Encyclopedia of Philosophy* de Paul Edwards (Cf. 1967, p. 334-337). Todavia, a controvérsia vivida por Boltzmann serve para ilustrar pontos de vista específicos de Feyerabend. Boltzmann recebia críticas constantes, devido à natureza de sua pesquisa, dos empiristas que ecoavam as tradições de IFCs indutivistas do tipo baconianas-newtonianas, incrustrado num momento entre pós-positivismos comtianos e um pré-positivismo lógico (vide APÊNDICE), em que variantes do empirismo pululavam, como sensualismo e o fisicalismo. E a visão demarcatória do *status quo* de sua época, que cria que o método racional não poderia fugir à essa tradição, não tolerava o emprego científico do que não pudesse ser retirado de nossa experiência: e a pesquisa científica de Boltzmann pareceu deveras ousada para os padrões de sua época. Átomos e Mecânica Estatística. Obviamente, dadas as proporções do impacto dessa revolução, a pesquisa científica de Boltzmann incomodou muita gente, sobretudo no âmbito continental europeu – de forma mais impactante sobre os cientistas-filósofos germanófonos e os francófonos. E com sua pesquisa, com sua metodologia, com sua epistemologia, Boltzmann se voltou contra os tradicionalistas, pois ele cria que ser racional em Ciência não é estar aferrado a uma única tradição, acreditando e aceitando que esta tradição é a verdadeira; isso, pelo contrário, é ingenuidade que pode reter a taxa de crescimento do conhecimento científico. Logo, como afirma Feyerabend, “uma maneira de criticar padrões é fazer uma pesquisa que os infrinja”, aliás, “pesquisas interessantes nas ciências [...] muitas vezes levam à uma revisão imprevisível de padrões” (2011, p. 51). E foi exatamente isso que Boltzmann fez: revisar e questionar padrões a partir das críticas recebidas no decorrer do desenvolvimento de sua pesquisa. Neste ponto, ambos concordam que a atitude mais racional na Ciência é aquela pluralista, pois a regra para a Ciência é tolerar a convivência com múltiplas abordagens, com muitas concepções de mundo, pois apenas assim podemos conhecer mais, em meio à uma Ciência livre.

6.5. Da Metafísica e da Filosofia

“Uma filosofia que se afasta do fato nunca produziu nada de útil nem pode fazê-lo.”
Boltzmann (1899b, p. 102)

Antes de discutimos a relação entre Boltzmann, a Metafísica e a Filosofia, procuraremos oferecer uma distinção entre *metafísicas*. Em suma, poderíamos dizer que existe uma Metafísica geral e uma outra Metafísica relacionada com ontologias específicas, *grosso modo*, uma que seria não-científica e a outra científica, respectivamente. Nos apoiaremos na concepção de Metafísica de Joseph Agassi para dar conta dessa taxonomia em Ciência, que não é tão trivial assim.

Antes de ser qualquer coisa, aproveitando-nos da relação entre a construção de imagens mentais da concepção-*Bild* com a linguagem (como já discutimos acima), definindo de uma forma mais genérica possível, Metafísica (enquanto um tipo de conhecimento) é um *conjunto de afirmações sobre o mundo*, ou, são *metafísicas certas proposições (ou imagens) que fazemos acerca do mundo*. Ademais, é importante frisar que a Metafísica não pertence à Ciência, mas sim o que existem são dois ramos do conhecimento que se regulam em um condicionamento recíproco. Diz Agassi: “ideias metafísicas pertencem ao debate científico enquanto ideias reguladoras crucialmente importantes; e a Física científica pertence ao debate racional concernente às ideias metafísicas” (1967, p. 193). Apesar de termos considerado que a Metafísica é um tipo de conhecimento, propomos uma divisão didática, a seguir, para melhor situarmo-nos no contexto boltzmanniano.

Dentro da Ciência deparamo-nos com imprecisões quando procuramos definir o que é metafísico. Podemos encontrar que metafísica, em geral, é aquilo que não faz parte da ciência. Logo, temos algumas tentativas em definir Metafísica como não-Ciência ou como pseudociência. Em meio à essas definições, conceitos como os de misticismo e de superstição se confundem, pois, de uma forma geral, nos remetem à um conjunto de proposições sobre o mundo que, usando um ponto de vista popperiano, seriam irrefutáveis

por não terem condição de ser submetidas a algum tipo de experimento que seja crucial para sua refutação ou corroboração, mesmo que fosse uma corroboração parcial. Em outras palavras, seriam afirmações *ad hoc*⁵³. Esse conjunto de *imagens* é o que poderíamos chamar de Metafísica geral – que Agassi chama de *metafísica ruim* ou *irracional* a partir de uma axiologia empirista, ou, de um ponto de vista “baconiano-positivista”, meramente especulações⁵⁴ (Cf. AGASSI, 1967, p. 192-194). Desta forma, um grande conjunto de imagens fica à margem da Ciência.

Todavia, trata-se de uma margem bastante indefinida⁵⁵, pois as decisões do que deve estar à margem da ciência são histórico-dependentes. Muitos problemas considerados metafísicos podem não suscitar problemas científicos num determinado período; entretanto, num período seguinte, podem se tornar questões de interesse para serem investigadas cientificamente. Como aponta-nos Agassi (1967, p. 189), “esses problemas científicos foram escolhidos entre os que foram relacionados a problemas metafísicos do período; esses resultados científicos foram procurados entre os que poderiam lançar luz sobre um tema metafísico em questão”. Dessa forma, notamos que pode existir um trânsito de questões metafísicas por entre essa fronteira – fluída – ao longo do tempo.

Destarte, *do lado científico dessa fronteira imprecisa*, temos um outro sentido mais estrito de Metafísica, que estaria relacionado com aquela aristotélica, qual seja, de ontologias específicas. Esse sentido aristotélico diz respeito à princípios sob os quais elaboramos nossas imagens de natureza que suscitam problemas científicos, como, p.e., “tudo é água, átomos e vazio, matéria e forma, etc.” (AGASSI, 1964, p. 193). Nesse

⁵³ Vale dizer que o conceito de *ad hoc*idade tem uma outra conotação para Laudan, diferentemente daquela popperiana-lakatosiana, em que o *ad hoc* representaria meros reparos teóricos irrefutáveis, equivalendo a uma atitude anticientífica. Para Laudan (Cf. 2010, p. 160-167), existe um outro lado a ser considerado, qual seja: (1) proposições *ad hoc* podem ser empiricamente progressivas, em vistas delas resolverem, ao menos, certos problemas empíricos particulares, e (2) algo que se afirma ser *ad hoc* pode vir a ser corroborado empiricamente num momento posterior. Exemplo disso é trazido na discussão deste presente trabalho. A imagem atomística, para Mach, seria *ad hoc*, pois estaria além da comprovação empírica; todavia, esse tipo de *ad hoc*idade contribuiu com uma reforma da tradição indutivista-empirista, promovendo, ademais, uma progressão conceitual mais geral da Ciência: a partir dos conflitos em torno dessa visão atomística, muitos fundamentos metodológicos e epistemológicos tradicionais puderam ser revistos. Não só, em poucos anos depois da morte de Boltzmann, Jean Perrin realiza experimentos que confirmam a visão atomística.

⁵⁴ Quando o termo “*especulativo*” torna-se sinônimo de *Metafísica*, “indica a visão [baconiana] de que doutrinas metafísicas são produto da imaginação, em contraste com as teorias científicas que – alegadamente – são produtos da inferência indutiva a partir dos fatos” (AGASSI, 1967, p. 194).

⁵⁵ “A fronteira entre o científico e o filosófico é frequentemente bastante fluída”, como recorda Abrantes (1998, p. 25), e as tentativas de criarem-se linhas arbitrárias que as delimitariam acabam resultando em tentativas estéreis e em mal-entendidos, além de retrocessos epistêmicos.

conjunto poderíamos também incluir as proposições ontológicas que compõem as imagens de natureza de um pano de fundo científico. Dentre essas imagens científicas de natureza, encontramos diversas proposições desta casta que, por sua vez, alicerçam o conhecimento científico e são tidos como existentes *a priori*, como, por exemplo, a crença no *princípio da uniformidade da natureza*, no *princípio da substância*, no *princípio da causalidade* (DILWORTH, 2007, p. 53-61). Se fossemos mais fundo na construção dessa taxonomia didática da Metafísica, poderíamos dizer que o que estamos considerando até aqui como *ontologias específicas de princípios científicos*, poderiam ser divididas em *ontologias mais gerais* e outras *mais particulares* da ciência. Desta forma, certos princípios como o *determinismo*, além dos três citados logo acima como apriorísticos, comporiam um conjunto das proposições que seriam mais fundamentais para a construção de diversas tradições de pesquisa diferentes, as *ontologias gerais*, sendo que, no interior de cada tradição de pesquisa, encontraríamos *ontologias particulares*. Portanto, se nos parece que há algumas imagens que teriam uma ampliatividade maior que outras e seriam compartilhadas por uma gama maior de programas de pesquisa, p.e., tanto a TCG quanto a TD compartilham a suposição diretiva ontológica do princípio da uniformidade da natureza⁵⁶, pois sem esse princípio não teríamos como relacionar e categorizar os fenômenos, tampouco elaborar leis; por outro lado, a TD não compartilhava da imagem atomística de mundo da TCG. Assim teríamos, dentre as ontologias (que são consideradas, a depender das escolhas de um período) específicas da ciência, um conjunto de ontologias mais gerais em face às ontologias particulares. Aqui temos o que Agassi chama de *metafísica boa*. Vale lembrar que não temos aqui uma relação de pertencimento, mas de reciprocidade: esta casta de metafísicas *boas* não pertence invariavelmente e indelevelmente à Ciência, por ter cruzado a divisa difusa desta, mas apenas integra um conjunto de temas que interessam à Ciência em dado momento.

Isto posto, podemos dizer que, de acordo com o pragmatismo de Boltzmann, a Metafísica estaria incluída naquela primeira categoria, pois ele considerava como metafísicas aquelas afirmações sobre o mundo que não são úteis, que não trazem consigo nenhuma relevância prática para o conhecimento científico. Boltzmann, principalmente, queixava-se dos grandes sistemas filosóficos herméticos, dogmáticos, que se creem detentores de verdades absolutas, repletos de argumentações metafísicas demasiadamente

⁵⁶ “A regularidade do acontecimento natural é, pois, a condição fundamental de toda a cognoscibilidade” (BOLTZMANN, 1904, p. 172).

abstratas, inalcançáveis num nível prático. Ao tentar entender a Filosofia, Boltzmann disse: “Eu sempre me sinto como num pesadelo opressivo que é um quebra-cabeças [no qual eu não consigo penetrar] no qual eu estou vivo enfim” (1903a, p. 197). Vejamos o que Boltzmann relata sobre seu processo de aprendizado de Filosofia:

De fato, eu tive muitas oportunidades de estudar Filosofia, mas qual foi a minha introdução? Fracasso em entender o que eles queriam dizer. Eu então voltei-me a Hegel a fim de tornar-me um especialista ‘do mais profundo do profundo’, mas especializei-me em nada exceto o contraste entre sua rasa, superficial verborragia bombástica e a coerência das ciências. Eu voltei-me a Schopenhauer pelo seu estilo vivaz, mas há damas presentes, e então a Herbart, em quem eu observei uma psicologia distorcida. Em relação a Kant, eu pensei que ele teria a melhor filosofia prática, mas mesmo assim ele não era totalmente honesto ou direto. Eu virei-me contra a Filosofia, até comecei a odia-la como se tudo fosse uma farsa... (BOLTZMANN, 1903a, p. 194).

Aliás, essa sensação de ódio pode ser citada em outras passagens de Boltzmann, como, p.e.: “Assim desenvolveu-se em mim, por essa época, uma aversão, até mesmo um ódio, contra a Filosofia” (BOLTZMANN, 1903b, p. 158). No fundo, a aversão e o ódio de Boltzmann não eram contra a Filosofia, mas ao que ele entendia por Metafísica, como veremos a seguir.

Boltzmann, num ensaio destinado à Sociedade Filosófica de Viena, em 1905, no qual ele critica a filosofia de Schopenhauer (1788-1860), bem como, a partir disso, todo pensamento filosófico que tem a pretensão de dar respostas a problemas (potencialmente) insolúveis, deixa claro sua posição em relação à Metafísica:

Assim, devemos mudar todas as leis do pensamento, de tal forma que elas conduzam, em todos os lugares, ao mesmo objetivo, que correspondam à experiência e que superem a marca mantida dentro de limites adequados. Mesmo que este ideal presumivelmente nunca seja completamente atingido, podemos, no entanto, chegar mais perto dele, e isso iria garantir a cessação da inquietação e da sensação embaraçosa acerca do enigma do porque estamos aqui, acerca do mundo ser de algum modo bem como ele ser como é, acerca da incompreensão da justificação de sua regular conexão entre causa e efeito, e assim por diante. Os homens estariam libertos da enxaqueca espiritual que é chamada de metafísica (BOLTZMANN, 1905, p. 198).

Destarte, a Metafísica, sendo equiparável à uma enxaqueca do espírito especulativo, estaria intimamente relacionada com a forma de se fazer Filosofia pura. O que de fato incomodava Boltzmann não era a Filosofia, propriamente dita, mas os filósofos que a praticavam profissionalmente.⁵⁷ Embora ele tenha escrito que “o drama

⁵⁷ Embora Boltzmann não se considerasse um filósofo profissional, pois ele não teve uma formação acadêmica específica em Filosofia, ele, de qualquer forma, se sentia honrado com o título de Filósofo da Natureza, que podemos sentir a partir do excerto citado, escrito num momento em que justamente

da Filosofia é como uma náusea de uma enxaqueca e o desejo de vomitar quando não há nada lá” (BOLTZMANN, 1990, p. 259), Boltzmann diz, em seguida: “Eu respeito a Filosofia, eu odeio os filósofos” (BOLTZMANN, 1990, p. 275).

Segundo Videira, “a sua rejeição dirigia-se a uma certa maneira de fazer Filosofia. Para Boltzmann, a maneira tradicional de filosofar era pernicioso e mesmo perigoso para a ciência” (2005, p. 238), p.e., o problema da forma como os filósofos fazem a Filosofia é o de ficar renovando discussões sobre questões que aparentam não ter resposta, o que, para o cientista-filósofo, é um contrassenso: “Mas mesmo uma questão que não tem sentido por ter sido ultrapassada pela evolução humana e científica ainda pode voltar a aparecer de novo e novamente tornando-se ainda mais sem sentido a cada retorno” (BOLTZMANN, 1903a, p. 196). Isso então levou-o a conjecturar que, pelo motivo dos assuntos metafísicos persistirem, “a Metafísica parece exercer uma magia irresistível sobre o espírito humano, que, apesar de todas as tentativas fracassadas de levantar o véu da mesma, não perde as forças. O instinto para filosofar parece ser inevitavelmente inato” (BOLTZMANN, 1903b, p. 159), e as tentativas de se lutar contra essa forma de se fazer Filosofia, no fim, pareceriam-lhe como se tentássemos vencer uma guerra já perdida.

A despeito de sua notável aversão à (no seu entender) Metafísica da Filosofia pura (que envolver-se-ia com questões mais gerais e frequentemente insolúveis), Boltzmann ainda pareceu, em certos momentos, amenizar o discurso crítico. Ele demonstrou, como podemos conferir no excerto abaixo, não considerar irrelevantes os questionamentos de conteúdo filosófico-metafísico, embora persista em seu espírito crítico a queixa acerca do caráter improdutivo deste tipo de debate em relação à congruência – adequação, justeza ao fim a que se propõem ou se destinam, como o consenso com o empírico – dos questionamentos científicos especializados:

Nas ciências naturais, era habitual o costume de discutir sobre questões gerais de conteúdo filosófico ou metafísico. Mesmo se hoje eu ainda me distancio desse costume, não desejaria provocar a crença de que essas perguntas gerais são, para mim, insignificantes ante as perguntas específicas suscitadas pela atual ciência natural. Apenas considero equivocada a maneira como, em alguns

Boltzmann substituiu Mach na cadeira de *Naturphilosophie* em Viena: “O próprio nome me pasma [com homenagem]: *Philosophia Naturalis* = a Bíblia das ciências naturais [Física Teórica]” (BOLTZMANN, 1903a, p. 195). Boltzmann também se pasmou, ou melhor, se admirou com o fato de ele ter sido indicado para a cátedra de Filosofia da Natureza dada a sua aversão manifesta com a forma tradicional de se fazer Filosofia. Disse ele: “Tendo em vista esses antigos sistemas filosóficos [os quais ele tanto criticou], eu quase poderia dizer que, em meu caso, uma raposa foi colocada no galinheiro” (BOLTZMANN, 1903b, p. 158).

casos, esse tipo de problema foi tratado. Inclusive eu diria que eles são tratados ainda assim hoje em dia, ocorrendo um fenômeno curioso: enquanto o trabalho em questões especializadas frequentemente consegue um grande rendimento, os mais intensos esforços em questões gerais, muitas vezes, não obtêm resultado algum. Enquanto, no primeiro domínio, mesmo nas polêmicas, prevalece um acordo comum, relativo às teses mais fundamentais, em outro âmbito, as opiniões mais contraditórias sempre encontram um defensor, [fazendo] com que ele nunca [consiga] se entender com aqueles que trabalham com questões especializadas (BOLTZMANN, 1886, p. 25-26).

Como vimos, embora Boltzmann rejeitasse a forma perniciosa de se fazer Filosofia (de reiterar discussões sobre questões contraditórias e que aparentam não ter respostas e se encontram “fora” do mundo, transcendentais e insolúveis), ele respeitava a Filosofia. Videira sugere que esse sentimento aversivo que Boltzmann cultivava contra essa forma de se fazer Filosofia foi “abandonado quando ele percebeu que o darwinismo⁵⁸ poderia fornecer uma base naturalista para o sentimento, que era inerente ao ser humano, de fazer Filosofia” (2004, p. 11). Para ele, a Filosofia era um ramo do conhecimento que poderia ser útil, como instrumento heurístico para a resolução de problemas em qualquer outra área do conhecimento, como indicam as anotações de Boltzmann: “Filosofia = o exame das contradições do pensamento”, ou também “um instrumento do pensamento” (1903a, p. 195). Dessa forma, enquanto um instrumento crítico do pensamento, seria “tarefa da Filosofia curar a humanidade dessa enxaqueca” (BOLTZMANN, 1990, p. 295) que é a Metafísica do tipo especulativo.

Não obstante elas parecessem apartadas – vimos que, para Boltzmann, a forma tradicional de se filosofar (sobretudo aquela idealista, deveras transcendental) divergia em muito dos métodos da Ciência –, Boltzmann, clamava pela cooperação entre a Filosofia e a Ciência, já que, em última instância, ambas são produto do conhecimento humano. A fim de enfatizar a unidade entre ambas, o cientista-filósofo indaga: “Caso analisássemos os elementos mais simples [do conhecimento], onde então situar-se-ia a fronteira entre Ciência e Filosofia, na qual deveríamos parar? ” (BOLTZMANN, 1904, p. 164). Com isso, Boltzmann parece entender que a linha demarcatória entre a Filosofia e a Ciência seja algo fluída, embora ele enfatizara uma demarcação para com a Metafísica especulativa. Após questionar a validade de uma tal delimitação entre a Ciência e a Filosofia, Boltzmann enfatiza a seguinte recomendação: “Se o progresso real é possível,

⁵⁸ “A meu ver, toda a salvação para a Filosofia pode ser esperada a partir da teoria de Darwin” (BOLTZMANN, 1905, p.193).

nós apenas podemos esperar que ele ocorra a partir da colaboração entre ambas” (BOLTZMANN, 1904, p. 164).

A despeito do pluralismo e do antidogmatismo de Boltzmann, nós podemos constatar por meio destes vários recortes sobre a sua posição acerca da Metafísica, uma certa aversão quase dogmática para com esta. Além do mais, ele não nos deixa claro entender que a Metafísica também compõe um pano de fundo importante e regulador para a História da Ciência, embora tenha comentado sobre a importância do atomismo para o desenvolvimento da Ciência⁵⁹ e, não obstante, defendesse um tipo de atomismo, que, em última instância, não deixa de ser parte desse pano de fundo conceitual metafísico que sustentou seu programa de pesquisa⁶⁰. Boltzmann apenas comenta, de passagem, e mais de uma vez, que um dia o atomismo já foi uma suposição metafísica e dogmática, não especificando que tipo de atomismo e quando no passado, ao dizer que “a teoria do conhecimento se insurge, com razão, contra o instinto das numerosas construções levianas de hipóteses, as quais esperam, com um mínimo de esforço, encontrar uma hipótese explicativa de toda a natureza” (uma crítica à fenomenologia físico-matemática e ao energetismo), como, “da mesma forma, ela se insurge contra a fundamentação metafísica e dogmática do atomismo” (BOLTZMANN, 1897a, p. 77).⁶¹

Em suma, para Boltzmann, como comentamos na seção 5.3 acerca da sua postura naturalista sobre certas características que são herdadas (enquanto leis mentais), portanto inatas⁶², também parece ser inato no homem a inclinação para o filosofar⁶³, bem como a

⁵⁹ Como aponta-nos Boltzmann:

“Uma vez que nenhum conhecedor não-ingênuo da História da Ciência pode duvidar da utilidade que, durante o seu desenvolvimento, o atomismo teve sobre a Ciência, podemos, então, formular as questões da seguinte forma: Será que o atomismo não possui em sua forma atual uma vantagem sobre a fenomenologia usual hoje em dia?” (BOLTZMANN, 1897a, p. 72).

⁶⁰ Queremos deixar claro que as aparentes conclusões aqui apresentadas sobre a relação entre Boltzmann, a Metafísica e o atomismo não podem ser definitivas. Este estudo sobre Boltzmann não esgota a literatura relacionada, portanto, se nos parece que esse tema é uma questão em aberto e que há ainda muita pesquisa a ser feita para elucidar melhor essa relação.

⁶¹ Ao defender o caráter imprescindível do atomismo contra os fenomenólogos, disse Boltzmann: “Pensei, então, fazer minha parte para prevenir o dano que, segundo vejo, poderia surgir para a Ciência, caso a fenomenologia fosse transformada em dogma, assim como ocorrera antes com o atomismo” (BOLTZMANN, 1897a, p. 72), e, “[...] Não se pode negar que, especialmente na época em que elas [as representações do atomismo] eram muito menos adaptadas aos fatos do que são hoje em dia e em que eram consideradas mais a partir de um ponto de vista metafísico, elas atuavam de maneira obstrutiva e, por isso, [...] apareciam como um fardo desnecessário” (BOLTZMANN, 1897a, p. 86).

⁶² “É certo que nós não poderíamos ter nenhuma experiência caso não fossem inatas certas formas de relação entre percepções, ou seja, formas do pensamento [...] que formaram-se segundo as [...] leis da evolução [...]” (BOLTZMANN, 1904, p. 171).

⁶³ “O instinto para filosofar parece ser inevitavelmente inato” (BOLTZMANN, 1903b, p. 159).

inclinação para a *ultrapassagem da experiência* quando elaboramos qualquer espécie de teoria ou hipóteses. Todavia, essa condição de *ultrapassar a experiência*, a despeito de a prática do método hipotético-dedutivo depender dessa condição, parece sempre nos colocar em risco de nos rendermos ao fascínio perseverante da Metafísica e nos afastar do consenso com o empírico. Esse fato pode tornar-se pernicioso para a ciência sem a sua adequação necessária a certos critérios de escolha teórica, que analisaremos a seguir.

6.6. Das hipóteses aos critérios de escolha teórica

“Na sua promoção do caráter hipotético de todo o nosso conhecimento, Boltzmann esteve à frente de seu tempo e, talvez, mesmo à frente do nosso próprio tempo.”
Paul K. Feyerabend (1972, p. 335)

“Nós não temos o direito de querer derivar a natureza a partir dos nossos conceitos, mas, sim, em adequar os últimos à primeira.”
Boltzmann (1904, p. 173)

Mesmo Boltzmann tendo uma aversão às excessivas proposições abstratas que não gerariam progresso para o conhecimento prático, como vimos acima, provenientes da, por ele assim considerada, Metafísica da Filosofia pura, reputou que existe no homem uma tendência, imperativa, de se ultrapassar a observação (conferir seção 6.3) e usar entidades hipotéticas para explicar os fenômenos e essa condição, quando adequadamente utilizada na ciência como recurso heurístico, torna-se construtiva e cognitivamente progressiva quando submetida a um adequado critério metodológico científico de escolha teórica.

Em geral, cientistas e filósofos da ciência aplicam certos critérios, que são variáveis, a depender da abordagem com a qual estejam comprometidos, tanto para tentar demarcar o território científico do não científico (critérios de admissibilidade científica ou critério de cientificidade), quanto para dirimir situações decorrentes da subdeterminação empírica quando teorias competem por um mesmo domínio de aplicação pretendida (critérios de escolha teórica). Em relação ao caso demarcatório (ou,

como diria Agassi⁶⁴, os critérios de admissibilidade para a seleção de quais *questões* mereçam a atenção dos cientistas e a sua inclusão nos programas de pesquisa), podemos dar alguns exemplos clássicos: a refutabilidade de Popper, a confirmação para Hempel, a verificação empírica para Whewell, etc.

Em nosso caso presente, a partir dos elementos da IFC de Boltzmann que analisamos até aqui, os critérios de excelência seletiva boltzmannianos, sustentamos, têm uma dupla característica: demarcatória, para separar a Metafísica geral daquilo que é útil para a Ciência, e seletivo, para que se escolha entre teorias concorrentes. Neste último caso, o critério não seria exclusivo, senão haveria uma contradição com a propedêutica pluralista e antidogmática de Boltzmann, já que ele sugere que a coexistência entre teorias concorrentes pode ser profícua.

A despeito de seu pluralismo, se nos parece que Boltzmann, intencionalmente, toma partido do seu atomismo como um modelo de exemplo para suas propostas de critérios de escolha teórica – o que se nos parece compreensível dada sua intensa defesa de seu modelo atomista de sua *Bildtheorie*. Como veremos abaixo, sobretudo em *Ct(2)*, ao discutirmos sobre o critério da utilidade, o atomismo boltzmanniano é referido como um modelo exemplar para esse processo de escolha teórica. Mesmo frente à aparente postura parcial de Boltzmann (em relação ao método explicativo e ao atomismo), ao que tudo indica, em se tratando de utilizar critérios de escolha frente à subdeterminação, o pluralismo de Boltzmann pretendia recomendar que o cientista fizesse suas opções e escolhesse com qual teoria trabalhar (ou optasse por trabalhar com mais de uma teoria), como um artesão que recomendasse ao seu pupilo escolher, dentre muitos materiais possíveis para se fazer uma escultura, aquele que ele melhor dominasse, pois assim ele obteria os melhores resultados em seu trabalho (contudo, sub-repticiamente, Boltzmann deixasse a sugestão de que o modelo atomista-mecanicista seria o melhor).

Isto posto, procuraremos, adiante, apresentar os principais critérios de escolha teórica de Boltzmann. Reiterando, se, por um lado, em decorrência da tendência do espírito humano de ultrapassar a experiência em suas explicações acerca da natureza, Boltzmann entendia que algumas proposições circulares metafísicas não têm condição de gerar progresso científico, por outro lado, há a condição de emergirem certas hipóteses

⁶⁴ Conferir Agassi (1964, capítulo 13; 1975, capítulos 9 e 10).

que possibilitem o desenvolvimento do conhecimento científico. Boltzmann afirma o seguinte: “hipóteses que deixam algum lugar para a fantasia e que ousadamente vão além do material existente fornecerão inspiração contínua para novas experiências, transformando-se em guias para descobertas completamente insuspeitas” (1904, p. 166). A sua atitude antidogmática e seu pluralismo teórico, somados aos seus critérios de excelência, teriam a condição de selecionar as hipóteses potencialmente úteis para o progresso científico, como a hipótese do atomismo por ele defendida. Todavia, o cientista-filósofo alerta que “quanto mais ousadamente ultrapassa-se a experiência, tanto mais surpreendentes são os fatos descobertos, embora neste caso também seja mais fácil errar” (BOLTZMANN, 1899a, p. 118)⁶⁵, pois existem hipóteses que, “em certas circunstâncias, ocasionaram danos e impediram o progresso da Ciência” (BOLTZMANN, 1904, p. 167). A despeito do caráter favorável que a condição de se ultrapassar a experiência tem para o fazer científico quando propõe-se hipóteses que não são diretamente derivadas da observação, corre-se o risco de cair na armadilha da Metafísica (ao menos naquele subtipo de Metafísica classificada, didaticamente, como Metafísica geral, de acordo com os padrões da época e da interpretação de Boltzmann), o que implicaria um fazer pseudocientífico ou não-científico, ou, em outras palavras, corre-se o risco de não gerar conhecimento prático e ficarmos presos na circularidade de questões aparentemente insolúveis, do tipo *qual o sentido da vida ou por quê existimos?*, *os unicórnios são reais?*, *qual dentre os inúmeros deuses é o mais onipresente?*, etc. Como já dissemos acima, essa é uma das aplicações dos critérios de cientificidade (e, provavelmente uma das maiores preocupações de Boltzmann dada sua aversão à Metafísica, aversão, por sinal, compartilhada com muitos outros cientistas em sua época e em épocas subsequentes, como se via com os positivistas lógicos). A outra aplicação

⁶⁵ De qualquer forma, não haveria outra maneira de se fazer Física ou qualquer outra ciência, sem nos distanciarmos da base empírica quando desenvolvemos nossos sistemas teóricos. Em consonância com o pensamento boltzmanniano, Einstein (1960, p. 322) afirma que

“a Física constitui um sistema lógico de pensamento que se acha em um estado de evolução cuja base não pode ser, por assim dizer filtrada a partir da experiência, através de um método indutivo, mas somente pode ser atingida pela livre invenção. A justificação (conteúdo de verdade) do sistema se baseia na verificação, pelas experiências sensíveis, das proposições derivadas, por meio da qual, unicamente, as relações entre estas e aquelas podem ser compreendidas intuitivamente. A evolução está progredindo na direção de uma maior simplicidade da forma lógica. Para nos aproximarmos mais deste objetivo, devemos nos conformar com o fato de que a base lógica se afasta cada vez mais dos fatos da experiência, e que o caminho do nosso pensamento, da base fundamental àquelas proposições derivadas, as quais se relacionam com as experiências sensíveis, torna-se constantemente mais longo e mais árduo”.

dos critérios, recordando, era concernente à escolha entre teorias que já teriam sido *classificadas* como científicas (obviamente esse é um ponto extremamente polêmico), como um meio não para conter a “apressada proliferação de imagens” (BOLTZMANN, 1897a, p. 85), mas para que se selecione aquelas imagens que sejam mais adequadas para um determinado propósito, inclusive, a depender do gosto do cientista. Esses critérios são:

Ct(1) Critério da *permissibilidade lógica*: Submeter as proposições hipotéticas à uma análise da linguagem⁶⁶ para evitar, por exemplo, contradições lógicas. É por meio da linguagem que devemos “formular os conceitos fundamentais de uma tal maneira que eles sejam como que instruções sobre o modo de intervenção conveniente no mundo” (VIDEIRA, 2005, p. 241), pois, em última instância, “não podemos pronunciar uma única

⁶⁶ Segundo Blackmore, a despeito de ainda haver muita pesquisa a ser conduzida, existem indícios históricos que trazem à tona a discussão acerca da influência de Boltzmann sobre a Filosofia da Linguagem, em especial sobre seu conterrâneo Ludwig Wittgenstein (1889-1951), bem como sobre o Círculo de Viena, pois alguns de seus membros foram alunos de Boltzmann quando este lecionava na cidade vienense, entre 1903 e 1905 (Cf. BLACKMORE, 1999a, p. 4). Ainda, segundo Smith (Cf. 1987, p. 42), Boltzmann, “cuja visão de uma ciência unitária fez-se sentir não só entre os físicos, mas também na comunidade intelectual mais ampla em Viena”, influenciou Rudolf Carnap (1891-1970) e Moritz Schlick (1882-1936) durante os anos de formação do Círculo de Viena. Verificando-se o manifesto dos positivistas lógicos, *A concepção científica do mundo*, podemos constatar que Boltzmann é citado como um dos inspiradores do movimento, pelo fato de o cientista-filósofo austríaco ser considerado como um defensor de “ideias decididamente empiristas”, enquanto fora catedrático de Filosofia, além de ter dedicado “grande interesse nos problemas lógicos e epistemológicos relacionados com os fundamentos da Física” (Cf. LORENZANO, 2002, p. 108), bem como com questões acerca dos objetivos e dos métodos das ciências empíricas (assim como Mach), o que teria conduzido a lógica a um processo de renovação. Ressaltamos aqui que essas considerações do manifesto dos positivistas lógicos parecem-nos equivocadas e superficiais por não contemplarem, de fato, a sofisticada posição de Boltzmann. Embora ele tenha participado intensamente de debates em prol de uma revisão dos fundamentos metodológicos e epistemológicos científicos aplicados às ciências da natureza, como já discutimos ao longo deste trabalho, as ideias de Boltzmann não podem ser sintetizadas em uma atitude empirista, muito pelo contrário – na concepção científica de mundo de Boltzmann o consenso que as teorias devem ter com o empírico também ocupa um importante papel, mas o contexto da descoberta vai muito além do que os nossos sentidos podem captar. Já a afirmação de Smith, de que a visão boltzmanniana de uma ciência unitária tenha influenciado uma ampla comunidade intelectual vienense, provavelmente tem a ver com a crítica – e a preocupação – de Boltzmann acerca da hiperespecialização do conhecimento científico, que embora seja vantajosa, pode comprometer a visão holista da ciência e limitar o contexto da descoberta científica, qual seja:

“A consequência dessa expansão, enorme e em rápido crescimento, de nosso conhecimento positivo foi uma divisão do trabalho da ciência, uma divisão que atinge até o mínimo detalhe e que quase já lembra a divisão de trabalho em uma fábrica moderna, onde um deve cuidar apenas da medição, outro do corte, um terceiro da fundição dos filamentos de carbono. É verdade que uma tal divisão do trabalho é enormemente profícua para o rápido progresso da ciência, é mesmo indispensável para ele; no entanto, é igualmente verdade que ela também encobre grandes perigos. Com isso perde-se a visão do todo, imprescindível a toda a atividade ideal visando à descoberta de conexões essencialmente novas – visando até mesmo apenas à descoberta de conexões essencialmente novas – dos antigos pensamentos” (BOLTZMANN, 1899a, p. 94).

proposição que realmente seja apenas um fato puro da experiência”⁶⁷ (BOLTZMANN, 1899b, p. 125), ou seja, ao descrevermos os conceitos inseridos em nossas teorias-como-modelo que subsumam um domínio de aplicação específico, nós apenas poderemos fazê-lo de maneira análoga, por não termos acesso pleno ao mundo dos fenômenos físicos. Dessa forma,

o progresso no pensamento deve ser procurado por meio da eliminação de todas as formas equivocadas de inferências e conceitos os quais, segundo nos diz a experiência, não avançam, ao contrário, nos enganam e até nos fazem cair em contradição (BOLTZMANN, 1897b, p. 67).

Em suma, se nem todos os termos teóricos são explicitamente associados à observação e a condição de ultrapassar-se a experiência é algo tanto inevitável quanto necessário para que saltos qualitativos e quantitativos possam ocorrer em prol do progresso científico, o cuidado com a sintaxe torna-se um fator importante no processo de escolha teórica das nossas teorias científicas. Ademais, essa questão relaciona-se diretamente com o problema da *verdade* em nossas teorias, i.e., se nossas proposições não recobrem absolutamente a experiência, elas não são, por fim, afirmações verdadeiras sobre o mundo, mas apenas proposições que devem ser úteis, além de tão simplificadas quanto pudermos⁶⁸, o que nos remete ao próximo critério;

Ct(2) Avaliar a utilidade⁶⁹ das hipóteses das teorias científicas. Esse critério também está intimamente conectado com a noção de verdade em Boltzmann, assim como o anterior, pois, de acordo com uma opinião que é esposada tanto por Boltzmann e Mach, “nenhuma teoria pode ser verdadeira e nenhuma pode ser absolutamente falsa. Em vez disso toda teoria precisa ser melhorada [...] para o que é útil permaneça” (BOLTZMANN,

⁶⁷ Fazendo um contraponto desta afirmação com os valores cognitivos de Boltzmann, temos que: se não podemos fazer uma única afirmação que equivalha absolutamente, ao menos, a um fato do mundo, deve-se à tese da inevitabilidade de que nossas proposições teóricas e hipotéticas venham acompanhadas de elementos arbitrários que ultrapassam a própria experiência a partir da qual apenas conseguiríamos uma adequação parcial de nossas proposições. Ademais, se nossas teorias e hipóteses são representações do mundo enquanto imagens mentais, só temos nossa linguagem para expressá-las. Dadas estas características, resta-nos a tarefa de refinarmos a linguagem que expressa nossas teorias e hipóteses para que elas possam representar os fenômenos da forma mais econômica possível (simples e parcimoniosamente), sem perder de vista que, ao mesmo passo, elas devem ser úteis (férteis, preditivas, explicativas).

⁶⁸ “Por um lado, nós partiremos, antes de tudo, da experiência, mas, por outro lado, nós não teremos outra consideração, quando da formação e conexão de nossos conceitos, senão aquela da intenção de encontrar a expressão mais adequada possível daquilo que é dado” (BOLTZMANN, 1904, p. 175).

⁶⁹ Embora encontremos em Videira (Cf. 1997, p. 72) que um dos critérios de escolha teórica de teorias científicas importante para Boltzmann seja a “fecundidade preditiva” destas, sustentamos aqui que esse critério pode ser incluído num mais amplo, a saber, o *critério da utilidade* que, além de abarcar a fertilidade preditiva, também abarca a condição explicativa das teorias; em suma, teorias têm de ser úteis sendo preditivas e explicativas.

1903c, p. 78). Segundo Hiebert (Cf. 1992, p. 680), esse critério é frequentemente manifestado por Boltzmann “como um critério para a avaliação, elaboração e refinamento de conceitos científicos, teorias e definições, para chegar perto de um programa pragmático para o cultivo das ciências físicas”. Dentro deste critério de escolha teórica, podemos agrupar outros valores para que as teorias sejam úteis, quais sejam, as teorias devem ser explicativas, preditivas e férteis.

Ct(2.a) O caráter explicativo: de uma forma geral, os cientistas podem optar por trabalhar com hipóteses e teorias descritivas ou explicativas, ou ambas as situações – melhor, aos cientistas cabe a escolha de um modo de expressar o conhecimento científico, seja apenas descrevendo via matemática, ou buscando por explicações diversas, via modelos (conferir capítulo 7), por exemplo. Isso é uma questão de preferência, a depender dos valores que orientam os objetivos da pesquisa científica⁷⁰. Boltzmann tinha preferência pelo caráter explicativo “como um exemplo de advertência para a necessidade de preservar continuamente a necessária flexibilidade mental” (BOLTZMANN, 1904, p. 167). As abordagens descritivas (em nome da economia conceitual), que apenas procuraria relacionar os fenômenos por meio dos cálculos diferenciais e funções, e que tomavam certas entidades como dadas⁷¹ (vide discussão da sessão 6.1), e que não precisariam de justificações causais para o seu emprego, seriam menos ricas para o conhecimento científico (e menos didáticas), por fim, não incrementariam a taxa de progresso na Ciência e poderiam trazer menor ganho epistêmico: como se muitas questões potencialmente importantes fossem deixadas à deriva. E Boltzmann se manifesta contra essa característica descritiva com ênfase:

Basta disso! Existe a necessidade do maior aproveitamento possível dos meios de nossa capacidade de concepção. Como nós podemos considerar uma imensa quantidade de fatos [não apenas descritivamente], decorre daí a necessidade de tornar intuitivos [e explicativos] os resultados dos cálculos e não apenas para a fantasia, mas também, de forma visível, para o olho, palpável para a mão, com gesso e papelão (BOLTZMANN, 1892, p. 16).

Ou seja, explicar, para Boltzmann, não necessariamente seria enveredar-se pelas causas, *ad infinitum*, dos fenômenos (o que poderia incorrer em *fazer* Metafísica, o que seria um retrocesso dentro desta concepção boltzmanniana de *Bildtheorie* que também

⁷⁰ Conferir a discussão sobre a tensão entre o descritivismo e o caráter explicativo das teorias científicas entre as seções 6.1 e 6.2.

⁷¹ “Não pode ser nossa tarefa submeter ao [juízo] supremo de nossas leis mentais aquilo que é dado[...]” (BOLTZMANN, 1904, p. 172)

abarca uma noção de *picture theory*). O modo explicativo seria um complemento ao modo puramente descritivo que enriquece nossa forma de expressar nossas teorias e torna-as mais compreensíveis para os sentidos – teremos, assim, teorias cognitivamente mais ricas. Notemos, ademais, que Boltzmann já expressa aqui um dos modos de modelos (físicos) que ele chamará de tangíveis (que podem ser sentidos, tocados, vistos, e que podem ser construídos com gesso ou papelão – vide capítulo 7), muito importantes no contexto educacional (lembramos que Boltzmann também era professor) para o aprendizado e retenção de conceitos da Física para além da pura abstração matemática (que ele entendia como o modo puramente descritivo de expressão teórica).

Para Boltzmann, outrossim, sempre haveria a possibilidade de o cientista ousar e se aventurar para além dos puros fatos observacionais por meio de explicações hipotéticas das relações destes fatos observacionais, como notamos a partir do excerto abaixo. As construções de modelos hipotéticos (e mesmo o seu abandono e substituição), como a de modelos tangíveis (acima), cognitivamente têm o poder de *iluminar* a compreensão enquanto representações didáticas das nossas representações teóricas.

Longe de procurar negar que esta [linha de pesquisa cinético-molecular] contém elementos hipotéticos, eu devo mencionar que esse ramo constitui uma representação que ousadamente transcende os puros fatos observacionais. [...] A minha confiança na *utilidade* dessas hipóteses decorre de que estas últimas *iluminam inovadoramente certos aspectos peculiares dos fatos observados*, representando as relações entre esses últimos com uma clareza dificilmente alcançável por outros meios [como os puramente descritivos]. Certamente nós teremos que recorrer à situação que estamos lidando com hipóteses capazes e carentes de desenvolvimento contínuo ulterior, sendo abandonadas quando todas as relações, por ela representadas, puderem ser compreendidas de uma outra maneira, mais clara que a anterior (BOLTZMANN, 1904, p. 169) (meus itálicos).

A ideia é a de que teorias com capacidade explicativa e também descritivas proporcionem maiores ganhos epistêmicos. Esse era justamente o caso do atomismo, um meio de tornar mais claros conceitos que poderiam, aparentemente, permanecer obscuras para uma maior compreensão dos fatos se se limitassem à apenas uma descrição via equações baseadas em princípios dados. Além do mais, o atomismo, tendo mostrado sua utilidade, serviria como uma explicação para muitos fenômenos: “No entanto, o atomismo consegue, dessa forma, a vantagem de estar capacitado a dar uma imagem simples e compreensível de uma quantidade de fatos muito maior” (BOLTZMANN, 1897a, p. 80). Esse ponto nos remete diretamente ao próximo item;

Ct(2.b) A fertilidade preditiva: a exemplo do seu atomismo, Boltzmann considerava que, para uma teoria ou hipótese serem úteis, elas deveriam ser capazes de dar conta não só de explicar, mas de prever fenômenos de uma gama grande de domínios de aplicação de diferentes programas de pesquisa; com isso, os cientistas poderiam escolher dentre várias teorias e hipóteses, aquela que apresentasse uma maior taxa de utilidade dada sua fertilidade. Boltzmann exemplifica: “É conhecido o quanto as representações do atomismo foram úteis, por intermédio do incentivo de indutibilidade e de compreensão geral, à Física, à Química e à Cristalografia” (BOLTZMANN, 1897a, p. 86). Se por um lado, a partir do caráter explicativo e ousado de muitas hipóteses, poderíamos ter ganhos epistêmicos (como vimos acima) e, com isso, aumentar a possibilidade de novas previsões e de abrir novos caminhos para a pesquisa científica

Por outro lado, desenvolveu-se uma grande desconfiança em relação a todas as hipóteses, ficando a tarefa da teoria reduzida a uma descrição dos fenômenos, sem ultrapassar, em nenhum momento, o que é dado à experiência. Tem-se, pois, a opção entre dois métodos extremos. Se se estabelecem hipóteses demasiadamente especiais, corre-se o risco de aceitar algo supérfluo, e mesmo incorreto, no domínio das representações. Se, ao contrário, se tenta rechaçar qualquer hipótese, a teoria se converte em algo indeterminado e impróprio para *prever fenômenos radicalmente novos* e, assim, conduzir a experiência para novos caminhos (BOLTZMANN, 1900, p. 144) (meus itálicos).

Mais uma vez, fica patente a predileção por Boltzmann pelas teorias explicativas que, por sua vez, teriam maiores condições de serem preditivas que as apenas descritivas. Ademais, se utilizando da hipótese atomística, ele demonstra o seu caráter fértil em muitos exemplos históricos da Ciência⁷²:

Aqui não é o lugar para se proceder a uma enumeração das razões que poderiam ser alegadas em defesa de uma tal afirmação [a de que o atomismo deveria ser substituído]. Não será necessário recorrer à genial conclusão de Thomson, o qual, empregando os métodos mais variados, calculou com absoluta precisão quantos corpúsculos individuais estavam contidos em um milímetro cúbico de água. Tampouco preciso mencionar que, prescindindo da Química, mediante a hipótese atômica, a Ciência logrou predizer antecipadamente a dependência da temperatura da constante de fricção para os gases, as constantes absoluta e relativa de difusão e condução térmica, as quais certamente podem estabelecer-se, assim como os cálculos de Leverrier concernente à existência de Netuno ou à predição de Hamilton sobre a refração cônica (BOLTZMANN, 1886, p. 31).

⁷² Boltzmann, em sua conferência *Sobre o desenvolvimento dos métodos da Física Teórica em tempos recentes* (Cf. 1899a, p. 120-122), lista uma longa sequência de exemplos acerca de avanços obtidos a partir do atomismo (teoria cinético-molecular), que envolvem resoluções de problemas e novas predições, passando por Clausius, Van der Waals, Gibbs, Kundt, Warburg, Lord Rayleigh, Ramsay e Maxwell.

Não obstante os sucessos preditivos e ampliativos do atomismo, o estabelecimento de hipóteses poderia aumentar o risco da superficialidade e da incorreção de nossas representações e, para prevenir tal problema, em última instância, necessitaríamos colocá-las sob o escrutínio da experiência, o que nos remete ao próximo critério; e

Ct(3) Submeter as hipóteses ao teste empírico (critério da adequação).

Segundo Boltzmann, “o melhor resultado será obtido caso se utilizem sempre todos os meios de afiguração [*Abbildungsmittel*⁷³] de acordo com as necessidades, sem, contudo, esquecer de, a cada passo, testar essas mesmas imagens em novas experiências” (1899a, p. 118). Este critério relaciona-se a necessidade de darmos preferência às hipóteses que satisfaçam a exigência da correção, ou de conformidade com os fatos, ou seja, as consequências das hipóteses devem possuir um mínimo de compatibilidade com o domínio de aplicação que elas pretendem cobrir.

Adequando-se, assim, a estes critérios⁷⁴, mesmo as hipóteses que ultrapassassem a experiência teriam o direito de permanecer vivas junto ao debate científico. “Em última instância não é a Lógica, Filosofia ou Metafísica que decide se algo é verdadeiro ou falso, mas a ação” (BOLTZMANN, 1905, p. 192), ou seja, a exemplo da TCG, que lidava com entidades inobserváveis para explicar a relação entre fenômenos, além de descrevê-los matematicamente, seu emprego enquanto teoria científica e não Metafísica seria permitido quando a ação experimental a corroborasse. Ademais, depreende-se, aqui, que Boltzmann considerava a adequação empírica (o teste de nossas hipóteses como a *ação*), o critério mais importante para a validação do grau de adequação de nossas hipóteses e teorias no âmbito científico.

Desta forma, embora na epistemologia boltzmanniana haja espaço para o desenvolvimento de hipóteses que ultrapassem a experiência, ou seja, haja espaço para a criatividade do cientista conquanto sejam levados em conta certos critérios, a realidade é sempre a base desse processo: em primeira instância, não apenas o conhecimento

⁷³ *Abbildungsmittel* (*Abbildung* + *Mittel*). Para *Abbildung*, conferir nota 50. *Mittel*, literalmente, meio, recurso. Logo, *Abbildungsmittel* pode ser traduzido como *meio de representação*, *meio de ilustração*. (Fonte: IRMEN, Friedrich. **Langenscheidts Taschenwörterbuch der Portugiesischen und Deutschen Sprache** (Langenscheidt Dicionário de Bolso das Línguas Portuguesa e Alemã). 13^a ed. Berlin: Langenscheidt, 1995.)

⁷⁴ Dentre os valores cognitivos da axiologia boltzmanniana, lembramos que a *simplicidade* e a *parcimônia* (*Denkökonomie*) também são importantes, embora não pareçam ser tão cruciais quanto os critérios acima descritos, não obstante, não devemos desconsiderá-los.

científico, mas o conhecimento de uma forma geral, parte da experiência empírica, ultrapassa a experiência empírica, e novamente se volta a empiria para confirmar-se. A Filosofia tradicional, como, por exemplo, a metafísica da epistemologia kantiana, que preconizava a necessidade de formas transcendentais *a priori* para que se dê o processo de produção de conhecimento, influenciou Boltzmann de maneira reversa. Boltzmann acreditava que todo conhecimento parte da observação e o conhecimento não é algo que está fora do mundo, logo, ele não compactuava com os filósofos idealistas e dualistas. Desta forma, Boltzmann contrapõe o seu naturalismo às abordagens metafísicas epistemológicas (vide seção anterior). Para ele, “mente e matéria não estão separados; são apenas diferentes lados ou faces da realidade. Nós podemos distinguir, mas nós não podemos separa-los” (BOLTZMANN, 1903a, p. 196). Ademais, “a íntima conexão do mental com o físico em última instância nos é dado pela experiência” (BOLTZMANN, 1897b, p. 68). Para Boltzmann não haveria uma forma transcendental que possibilitasse que o homem desenvolvesse seus modelos teóricos, mas sim a relação do homem com seu meio e o processo evolutivo seriam os responsáveis pelo desenvolvimento de nossas teorias-como-modelo. O atomismo boltzmanniano, de acordo com este critério, por exemplo, seria uma espécie permitida de ultrapassagem da experiência, pois seria mais um tipo de elemento lógico tendo uma função heurística significativa e não algo metafísico: “o átomo era, portanto, uma representação de como compreender o mundo natural” (VIDEIRA, 1997, p. 71) e não uma forma de representar factualmente o que existe no mundo. Como modelo, o atomismo era um produto do conhecimento humano, uma visão de mundo, que já se mostrara eficaz em diversas teorias, historicamente.

Mesmo que o progresso do conhecimento dê-se a partir da relação entre observação e a condição de se ultrapassar a experiência, que, por sua vez, nos leva a ganhos epistêmicos, ou seja, a relação entre o empírico e o extra empírico, em uma última instância é, mais uma vez, o teste experimental que procurará ratificar os argumentos hipotéticos baseados no inobservável (seguindo o seguinte fluxo: da experiência → à ousadia → de volta à experiência) garantindo o grau de adequação de nossas teorias científicas.

6.7. Do progresso em Boltzmann

*“Porém, mudam-se os tempos, mudam-se vontades e qualidades,
o que foi perfeito deixou de o ser, por razões em que as vontades não podem,
mas que não seriam razões sem que o tempo as trouxessem. ”*
José Saramago (2010, p. 12)

“A Ciência é expressão da cultura. É difícil definir suas fronteiras. ”
Ilya Prigogine (2009, p. 85)

Após termos analisado as ICN e IFC boltzmannianas, o que nos salta aos olhos é que praticamente todo o esforço de conceitualização despendido por Boltzmann esteve voltado para a solução de problemas empíricos e conceituais concernentes à sua busca por uma unificação entre a Teoria Cinética dos Gases e a Termodinâmica e a criação da ME, bem como para a solução de problemas conceituais dos embates filosóficos com seus pares, em prol de uma revisão metodológica e epistemológica da tradição científica em seu tempo. Também podemos dizer que ele almejava uma aproximação entre a Ciência e a Filosofia, que poderia vir por meio de uma naturalização desta última.

Vimos que, com o emprego desta concepção-*Bild* no âmbito didático, científico e filosófico, Boltzmann pôde sustentar sua defesa do atomismo frente aos excessos empiristas (demonstrando que o estatuto do atomismo também é fluído e não representava os ecos metafísicos de uma antiga visão atomística de mundo) e sua visão mecânico-estatística de natureza; apoiar suas críticas acerca dos excessos da Metafísica desvinculando sua visão atomista desta; fundamentar sua abordagem naturalista frente aos princípios apriorísticos idealistas; assegurar suas afirmações acerca do imperativo de ultrapassagem da experiência e, por conseguinte, licitar o método hipotético-dedutivo.

Boltzmann também pôde mostrar que a Ciência se assenta sobre um terreno instável em que não há verdades, sujeitado a mudanças – portanto dinâmica – e que os métodos não podem ser fixos caso queiramos garantir o progresso científico: “A continuidade do desenvolvimento do método científico é, por assim dizer, o esqueleto que sustenta o progresso da Ciência como um todo” (BOLTZMANN, 1899a, p. 96). Sua epistemologia pluralista e antidogmática, enquanto propedêutica, tenderia a propiciar este

desejado progresso, e umas das condições essenciais para que isso ocorra dependeria de uma aliança entre a Ciência e as ferramentas conceituais da Filosofia, que contribuiriam com uma mudança de perspectiva, pois, o “progresso no pensamento deve ser procurado por meio da eliminação de todas as formas equivocadas de inferências e conceitos” (BOLTZMANN, 1897b, p. 67) (Conferir *Ct(1)* na seção 6.5 e também a seção 6.6).

Mas, enfim, qual o conceito de progresso, ou como se dá o processo do progresso científico, para Boltzmann? Qual é o indicador (ou o valor) em relação ao qual se avalia a presença de progresso para Boltzmann?

Embora, em Boltzmann, não encontremos um indicador sistemático, que nos aponte como ele avalia as taxas de progresso científico, assim como temos elementos para um critério de escolha teórica ou de cientificidade (seção 6.6), a presença desse tipo de progresso dentro de seu pensamento apenas poderá ser analisada pelo cotejamento do termo *progresso* a partir de seus escritos e das análises até então realizadas neste trabalho.

Para concluir este capítulo, procuraremos investigar brevemente a posição de Boltzmann sobre essa questão. Uma das vias para entendermos a sua concepção de progresso científico pode ser alcançada quando Boltzmann reflete sobre a controvérsia entre os métodos da Física Teórica e sobre as suplantações teóricas. Diz Boltzmann:

Se considerarmos mais de perto o processo de desenvolvimento da teoria, saltará aos olhos inicialmente o fato de esse processo não ocorrer de forma tão contínua como se poderia esperar e, ao menos aparentemente, não seguir o caminho mais simples e indicado de uma perspectiva lógica. Certos métodos produziram, não raro ainda há pouco tempo, os mais belos resultados, e muitos acreditavam que o desenvolvimento até o infinito não consistiria em nada senão contínua aplicação desses métodos. Ao contrário disso, esses métodos mostraram-se repentinamente esgotados, e esforçou-se para buscar métodos díspares bastante novos. Produz-se, então, uma luta entre os seguidores dos métodos antigos e mais novos. O ponto de vista dos primeiros será qualificado por seus opositores como antiquado e superado, enquanto os defensores dos métodos antigos difamarão os inovadores como corruptos da genuína ciência clássica (BOLTZMANN, 1897b, p. 67).

Como vimos anteriormente, o processo do *contínuo* desenvolvimento do método científico é o esqueleto que sustenta a condição do progresso da Ciência. Todavia, ao observarmos o primeiro período do excerto acima, notamos que, internamente a esse processo de contínuo desenvolvimento metodológico, *tensões* e *rupturas* podem acontecer, pois esse processo não se daria de forma tão contínua. Boltzmann sugere-nos, então, a ideia de que, ao longo da continuidade histórica do desenvolvimento científico,

o progresso do método científico ocorra de forma descontínua, por meio de saltos. É notável a grande semelhança do processo conflitivo da transição entre *escolas*, como constatamos no excerto descrito por Boltzmann e aquele descrito por Kuhn (Cf. KUHN, 2004, p. 192-195), no que se refere à tensão entre os adeptos do antigo modelo e os adeptos do novo modelo, até que, paulatinamente, o novo método satisfaça a aceitação da maioria e a transição ocorra. Não obstante, as rupturas, para Boltzmann, entre um método antigo, que se mostre problemático, e um novo, que se mostre mais adequado que aquele, não parecem acontecer, como já sugeriu Kuhn, de forma revolucionária com a substituição de um *corpus* teórico (ou *paradigma*) em crise, inteiramente, por outro *extraordinário* (enquanto não se transforma num novo paradigma) que procura solucionar as anomalias daquele, de uma maneira radicalmente incomensurável, como poderemos constatar no próximo excerto citado:

É certo que uma tal teoria poderá ser naturalmente modificada, ocorrendo o desmoronamento de uma estrutura teórica complicada e sua substituição por outra mais nova e eficiente. A antiga teoria encontra, então, por via de regra, um lugar, assim como se dá quando o domínio restrito de fenômenos continua usualmente a encontrar um lugar dentro da estrutura da nova teoria (BOLTZMANN, 1904, p. 166)

Poderíamos dizer que a incomensurabilidade seja parcial para Boltzmann, pois há a preservação, no novo paradigma, dos domínios de aplicações pretendidas do paradigma antigo (Boltzmann parece buscar uma conciliação entre uma visão *revolucionária* com uma visão *gradualista* de progresso científico). Com isso, temos em Boltzmann que o progresso científico depende de um processo dinâmico de substituição e renovação de teorias e métodos por outros mais simples e eficazes acerca da solução de problemas enfrentados, e parcial em relação aos domínios de aplicação. Apesar de procurarmos descrever o processo do conhecimento científico boltzmanniano tendo Kuhn como comparação, uma diferença importante entre ambos é que Kuhn se nos parece mais radical, pois paradigmas diferentes não coexistiriam em períodos de ciência normal, a não ser durante os períodos de transição; como já analisamos previamente, o pluralismo de Boltzmann sugere que muitas teorias coexistam num mesmo período e que a competição entre elas seja uma das condições para o progresso⁷⁵. Em relação a esse ponto, poderíamos

⁷⁵ Apesar da diferença posta em relevo, outra semelhança que poderíamos arrolar aqui é a analogia com a evolução darwinista. Vimos no início deste capítulo, que a influência das ideias de Darwin (*viz.* darwinismo-lamarckista) levou Boltzmann a propor uma epistemologia com um caráter evolucionário e pluralista, em que as teorias coexistindo, competiriam pela sobrevivência da mais adaptada. Kuhn, por sua vez, utiliza o modelo evolucionista de Darwin como analogia para a estrutura de sua tese acerca do progresso, que é linear, porém não teleológico (fase pré-paradigmática → ciência normal → crise →

fazer uma aproximação entre Boltzmann e Laudan (e, por conseguinte, a Lakatos e Feysabend): “Numa ciência, a coexistência de conjuntos rivais de suposições diretivas é a regra e não a exceção. O debate sobre conjuntos rivais de suposições não alterna com períodos de assentimento universal a um conjunto, mas ocorre constantemente” (LAUDAN *et al.*, 1993, p. 21).

Destarte, de acordo com o que vimos sobre Boltzmann até o momento, entendemos que uma forma de progresso científico se daria via ganhos epistêmicos, para que a Ciência possa ampliar seu *corpus* de conhecimento, de acordo com um conjunto de valores cognitivos que possam nortear esse progresso (vide seção 6.3). Isso se daria por meio de um aperfeiçoamento constante das imagens do mundo externo pela regulação positiva das teorias e dos métodos científicos (via critérios de seleção teóricos, vide seção 6.6), num cenário de competição teórica. Seria, a partir desse cenário que a Ciência como um todo pode *saber mais* sobre o mundo, sobre seus domínios de aplicação pretendidos, e mesmo alcançar descobertas novas e insuspeitadas. Isso não se daria sem uma revisão metacientífica de crenças em favor de uma suplantação do dogmatismo frente às abordagens (como àquelas de viés empirista de tendências ortodoxas, que Boltzmann se refere como fenomenologia físico-matemática descritiva, dentre outras) que tolheriam a criatividade do cientista em *ultrapassar a experiência*, posto que “hipóteses que deixam algum lugar para a fantasia e que ousadamente vão além do material existente fornecerão inspiração contínua para novas experiências, transformando-se em guias para descobertas completamente insuspeitas” (BOLTZMANN, 1904, p. 166).

Isso permitiria, por seu turno, às teorias abarcarem “um domínio fenomênico maior, ainda que desconhecido” (BOLTZMANN, 1904, p. 167). Todavia, essa condição de *ultrapassagem da experiência* só seria progressiva sob os auspícios de critérios de cientificidade, que demarcariam o terreno do metafísico e do científico “por meio da eliminação de todas as formas equivocadas de inferências e conceitos os quais, segundo nos diz a experiência, não avançam, ao contrário, nos enganam e até nos fazem cair em contradição” (BOLTZMANN, 1897b, p. 67), já que questões de ordem metafísicas da

revolução → nova ciência normal → nova crise → nova revolução → ...), do conhecimento científico. Diz ele: “a analogia que relaciona a evolução das ideias científicas pode ser facilmente levada longe demais. Mas [...] ela é quase perfeita” (KUHNS, 2004, p. 217).

Filosofia pura “em certas circunstâncias, ocasionaram danos e impediram o progresso da Ciência” (BOLTZMANN, 1904, p. 167).

Em suma: por meio deste processo, as teorias, num processo contínuo, são melhoradas em formas mais simplificadas, porém mais abrangentes (com a capacidade de unificar outras teorias, vide exemplo da unificação da TCG e TD na ME).

A despeito da discussão acima, em que evidenciamos que, para Boltzmann, a Ciência desenvolver-se-ia via conflitos metodológicos e teóricos em um cenário de competição, em que lidamos com suplantações e revisões, a partir do excerto seguinte, notamos que a velocidade desse processo de *avanço* científico é variável com o tempo, embora ocorra de forma constante, conforme a percepção de Boltzmann sobre as mudanças pelos séculos e a comparação metafórica com o desenvolvimento civilizatório urbano. De mais a mais, esse processo de progresso é tido não apenas como sendo estritamente científico, mas também como um processo social e cultural, pois o progresso científico está associado ao progresso geral humano, como podemos notar abaixo, como avanços tecnológicos, como a telegrafia e as máquinas a vapor, que contribuíram para uma aceleração deste progresso geral:

Nos primeiros séculos, a ciência avançou de forma constante, mas lentamente, pelo trabalho das mentes mais seletas, assim como uma cidade antiga cresce constantemente através de novos edifícios construídos por cidadãos industriais e empreendedores. Em contraste, nosso atual século de vapor e telegrafia definiu seu selo de atividade nervosa e precipitada no progresso científico também. Especialmente o desenvolvimento da ciência natural nos últimos tempos se assemelha ao de uma cidade americana moderna que em poucas décadas cresce de uma aldeia para uma cidade de milhões. (BOLTZMANN, 1899c, p. 77).

Notamos, ainda como esta relação entre o avanço científico e o progresso geral humano vai além das contribuições tecnológicas que promovem cada vez mais rapidamente o desenvolvimento geral; mudanças científicas afetam visões de mundo de forma mais abrangente ao romper as fluídas barreiras científicas. Esse olhar histórico e cultural de Boltzmann se faz patente a partir das seguintes afirmações sobre o progresso do conhecimento: “De resto, esse é um processo que de forma alguma está restrito apenas à Física Teórica, dando a impressão de ocorrer rapidamente na história do desenvolvimento de todos os ramos da atividade espiritual humana” (BOLTZMANN, 1899a, p. 96-97), pois, “com efeito, os progressos ocorridos no domínio das ciências da

natureza transformaram fundamentalmente até mesmo todo o modo de pensar e sentir da humanidade” (BOLTZMANN, 1902a, p. 149).

Outro elemento que encontramos em Boltzmann que relacionamos à noção de progresso é a ideia de que a Ciência não poderia perder de vista uma visão holística de seu próprio fazer científico. Embora Boltzmann via que a hiperespecialização científica pudesse trazer avanços e progressos específicos, quando o cientista se profunde substancialmente em sua linha de pesquisa, pode, por outro lado, sofrer perdas cognitivas caso não mantenha a atenção voltada para os demais programas de pesquisa científicos, o que poderia gerar estímulos para novas conexões e descobertas, como podemos notar a partir do excerto abaixo:

A consequência dessa expansão, enorme e em rápido crescimento, de nosso conhecimento positivo foi uma divisão do trabalho da ciência, uma divisão que atinge até o mínimo detalhe e que quase já lembra a divisão de trabalho em uma fábrica moderna, onde um deve cuidar apenas da medição, outro do corte, um terceiro da fundição dos filamentos de carbono. É verdade que uma tal divisão do trabalho é enormemente profícua para o rápido progresso da ciência, é mesmo indispensável para ele; no entanto, é igualmente verdade que ela também encobre grandes perigos. Com isso perde-se a visão do todo, imprescindível a toda a atividade ideal visando à descoberta de conexões essencialmente novas – visando até mesmo apenas à descoberta de conexões essencialmente novas – dos antigos pensamentos (BOLTZMANN, 1899a, p. 94).

A partir desta visão holista, Boltzmann também entende que o progresso da Ciência não ocorreria, de mais a mais, sem o apoio da Filosofia. Segundo Boltzmann, “se o progresso [do conhecimento] real é possível, nós apenas podemos esperar que ele ocorra a partir da colaboração entre ambas [Ciência e Filosofia]” (BOLTZMANN, 1899a, p. 94). Como vimos na seção 6.5, esses progressos em vários níveis não poderiam ocorrer apenas em dependência da Ciência, mas também com o auxílio da Filosofia, embora de uma Filosofia liberta de seu idealismo transcendental e de seu vínculo com a Metafísica (que, por seu turno, não favoreceriam o progresso, pelo contrário, de acordo com a visão preconceituosa de Boltzmann para com a Metafísica): “A meu ver, toda a salvação para a Filosofia [de seu vínculo metafísico] pode ser esperada a partir da teoria de Darwin” (BOLTZMANN, 1905, p.193).

Desta forma, procurando aproximar a Ciência a uma Filosofia de tipo naturalista (via um olhar evolucionário), em prol do progresso do conhecimento em geral, Boltzmann não se mostrou um presentista, preocupado em resolver os problemas que cercavam-lhe,

mas mantinha os olhos no futuro, como se lançasse uma mensagem, atemporal e ampliativa, numa garrafa ao mar para as futuras gerações. Para ele era “particularmente estimulante conectar a uma representação histórica um olhar sobre o desenvolvimento da Ciência em um futuro que, em função da brevidade da existência humana, nos é interdito” (BOLTZMANN, 1899a, p. 96).

Portanto, como ressaltamos, Boltzmann não nos oferece um olhar sistemático acerca do progresso científico, mas sim um olhar romântico em que ele imiscui o progresso científico ao progresso geral humano em termos mudanças de *visão de mundo*, como um empreendimento em movimento constante, ora lento, ora em ritmo nervoso, mas rumo a um conhecimento crescente, estimulados pela união positiva entre Ciência e Filosofia, sem a *enxaqueca* da Metafísica!





Figura 10: Boltzmann aplicando os princípios da mecânica, em charge de K. Prizbram (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 166)

7. O MODELO E SEUS DIVERSOS CONTEXTOS EM BOLTZMANN

“Modelo [...], uma representação tangível [...] de um objeto que tenha existência real ou que tenha sido construído de fato ou em pensamento. De maneira geral denota uma coisa que pode existir realmente ou ser apenas concebida mentalmente [...].”

Boltzmann (1902b, p. 381)

Antes de discorrermos sobre o papel da noção de modelo em Boltzmann – de uma forma multicontextualizada para entendermos (a *Leitmotiv* de Boltzmann a partir de sua concepção-*Bild* e) o desenvolvimento deste conceito, de *modelo*, de uma forma plural e multinivelada, desde sua aplicação teórica até a aplicação prática – façamos uma súmula do que vimos até agora.

Até o momento, pudemos apresentar as principais realizações de Boltzmann e as principais componentes de suas ICN e IFC via uma análise *à la* Abrantes, entre elementos constitutivos de imagens de natureza e de imagens de ciência.

Em um primeiro movimento, vimos as principais realizações de Boltzmann através de uma breve biografia científico-acadêmica.

Em um segundo momento, vimos Boltzmann consolidar sua visão mecânico-estatística de natureza a partir dos conflitos interteóricos e objeções às suas teorias, ao analisarmos por esta via a ICN boltzmanniana.

Num terceiro movimento, analisamos algumas componentes que consideramos intersecta às ICN e IFC de Boltzmann: o atomismo (análogo-aritmético) e seu naturalismo (filosófico/epistemológico). Em seguida, vimos como, por meio de uma breve revista da literatura acerca do tema realismo em Boltzmann, pode ser difícil tentar classificar seu pensamento, que é multifacetado.

Destaquemos o seguinte: que durante aquele terceiro movimento nos ativemos mais detalhadamente na discussão do atomismo em Boltzmann. Vimos que esse ponto nos revelou uma discussão em muitos níveis: da metodologia à epistemologia e à ontologia. Foi por meio desta discussão que tivemos uma primeira aproximação a um tipo

de modelo em Boltzmann, do tipo *analógico-aritmético*: viz. uma *equação* que tenha algum grau de correspondência com algo que ela procure modelar, como um fenômeno físico (real ou hipotético).

Num quarto movimento, mostramos os principais valores cognitivos que subjazem à sua epistemologia pluralista, naturalista e antidogmática por meio da análise de suas ideias metacientíficas e seu posicionamento filosófico por meio de uma reconstrução parcial de sua IFC. A partir deste momento, tivemos mais uma aproximação ao modelo em Boltzmann, mas desta vez tratado não apenas como *equação-como-modelo-analógico-aritmético*, mas tratado como *teoria-como-modelo*.

Retenhamos estas duas imagens que estamos propondo de modelo em Boltzmann. Elas serão muito importantes para uma análise fina que revele as texturas da concepção-*Bild* boltzmanniana, que fundamenta o *Leitmotiv* de sua atitude científica e filosófica, para entendermos o papel da noção de *modelo* em Boltzmann.

Todavia, para Boltzmann, o termo *modelo* tem outras significações e aplicações que apenas aquelas imagens acima destacadas, como veremos neste capítulo, embora a própria paráfrase de Boltzmann que abre este capítulo já nos revele que a ideia de modelo pode ser tratada sob dois grandes grupos: um de tipo mental (ou que poderíamos chamar de modelo teórico), outro de tipo concreto (ou que poderíamos chamar de icônico).

Ainda, no presente capítulo, além de apresentarmos um breve panorama histórico dos tempos de Boltzmann, também apresentaremos uma breve revisão de como a *noção de modelo em Ciência* é entendida pela Filosofia da Ciência. Em seguida, trataremos de apresentar com um maior detalhamento, via uma análise filosófica, não apenas a forma como Boltzmann classifica as diversas acepções do termo modelo (e os seus devidos empregos), mas, propriamente, o papel da noção de modelo em sua ecologia cognitiva global; isto revelar-nos-á como sua concepção-*Bild* representa um elo crucial dentro de seu sistema de pensamento, ou de sua *Weltanschauung*.



Se, nos dias de hoje, as visões filosóficas (e científicas) acerca *do fazer científico* consideram os modelos como parte constituinte desse mesmo fazer, o cenário nos tempos

de Boltzmann era outro. Ao mesmo tempo em que seu emprego ocorria na Física, sob os nomes de *analogias*, *imagens* ou *representações*, esse emprego, por sua vez, passou a ser analisado sob diversos ângulos. A inclinação para o debate das bases epistemológicas e metodológicas da Ciência nos idos do século XIX também pode ser razão para os modelos fazerem parte do debate crítico e inquiridor deste momento.

“O final do século XIX caracterizou-se como uma época de dúvidas” (VIDEIRA, 2006, p. 273). O final do século XIX correspondeu a um período de profundas transformações nas Ciências da Natureza e é nesse contexto que uma ponderação sobre a noção de modelo começa a tornar-se relevante para a Ciência.

A partir de meados do século XIX começou-se a duvidar que uma formulação de modelos e teorias de tipo estritamente mecânico fosse suficiente para explicar o mundo⁷⁶. Passa a acontecer uma revisão da mecânica clássica newtoniana. O debate científico mescla-se à Filosofia envolvendo problemas epistemológicos, metodológicos e ontológicos. Questões são levantadas, como, por exemplo: (a) qual o papel de uma teoria científica; (b) se é lícito o uso de hipóteses; (c) deve-se obrigatoriamente partir do empírico ou há lugar para a criatividade na prática científica; (d) como devemos recorrer à experiência; (e) as teorias atingem o nível essencial ou só o nível fenomênico (Cf. VIDEIRA, 2006, p. 272).

A virada do século XIX para o XX também foi um momento de transformação da noção de modelo; enquanto a visão mecanicista de natureza perdia sua força, a noção de modelo ainda encontrava-se deveras impregnada pelo senso-comum que o entendia como uma efígie (maquete) em tamanho reduzido do objeto físico a ser representado.

O que queremos ressaltar é que o termo “modelo” começou a ganhar novos sentidos também representando *algo de valor científico* na virada do século XIX para o século XX e nesse momento notamos que os debates filosóficos sobre seu emprego na Física, e, por conseguinte, nas Ciências, ganhavam corpo.

Esse período, portanto, marca a *caracterização* própria que o conceito de modelo passa a ter para a Física, reconhecida sua importância – ou criticada sua valia ou necessidade para o fazer científico. Boltzmann destaca-se nesse sentido: de dar uma

⁷⁶ Cf. Bezerra (2006), Klein (1973b) e Renn (2008).

caracterização mais técnica para o termo “modelo”. Segundo Hesse (2001, p. 299) as “análises sérias do conceito de ‘modelo’ ingressaram a Filosofia da Ciência apenas no século XIX”.

Desde o seu emprego, portanto, *científico* na Física por Maxwell, no contexto das teorias eletromagnéticas, o conceito de modelo passou, logo em seguida, a ser utilizado por diversos cientistas, como Hertz e, propriamente, por Boltzmann (Cf. VIDEIRA, 2013, p. 283), ao mesmo passo em que essas concepções de modelo passaram a ser alvo de críticas.

Destaquemos o seguinte: o termo “modelo” não era empregado, inicialmente por estes cientistas exemplificados. Maxwell, por exemplo, empregava os termos “analogia” (associado à teorias) e “*pictures*” (por exemplo, para descrever diagramas físicos, vide abaixo), Boltzmann e Hertz empregavam o termo “*Bild*”, “imagens” (como vimos no capítulo 6), para descrever estruturas mentais como as teorias que, por sua vez poderiam vir a ser reificadas em outros tipos de modelos, como os modelos (de tipo *mecanismos*) de Boltzmann, dos quais veremos alguns exemplos mais à frente. Ao menos, até Boltzmann escrever sobre o verbete *Modelo*, em 1902, para a *Encyclopaedia Britannica*, ele não empregava literalmente esse termo metacientificamente/cientificamente, mas ao se referir a *Bild*, o fazia nesse sentido de modelo. Segundo de Regt (2005, p. 215):

Maxwell e Boltzmann não usaram o termo “modelo” [inicialmente]. A razão é que o uso do termo “modelo” no século XIX diferia do uso de hoje: para Maxwell e Boltzmann, um modelo é uma representação material ou concreta (real ou imaginária) de algo. Um exemplo é o famoso modelo de vórtice de Maxwell do éter,

Como visto, a noção de modelo nesta época estava fortemente relacionada a objetos de tipo maquete, e.g., miniatura, mas cientistas como Maxwell e Boltzmann contribuíram para a ampliação dessa noção de modelo. Apresentamos abaixo (Fig. 11), a figura clássica de Maxwell referida no excerto acima, para exemplificarmos como essa noção de modelo era tratada pelo próprio Maxwell, embora ele não empregasse a palavra modelo nesse período, reiterando.

Maxwell procurou, por meio deste diagrama que ele próprio desenhou, levar aos seus pares um entendimento das novas ideias associadas às forças eletromagnéticas. Entendamos esse diagrama como uma representação visual de um modelo analógico matemático do conceito de campo eletromagnético (Cf. NERSESSIAN, 1999, p. 13).

Vale lembrar que esse diagrama, embora assim representado seja uma imagem estática, Maxwell queria que ele fosse ‘visto’ como uma animação mental (Cf. MAXWELL, 1861, p. 477); com isso, o desenho vinha acompanhado de instruções para que o observador imaginasse movimentos⁷⁷. Um ‘modelo’ complementar à teoria, com caráter pedagógico-cognitivo proeminente.

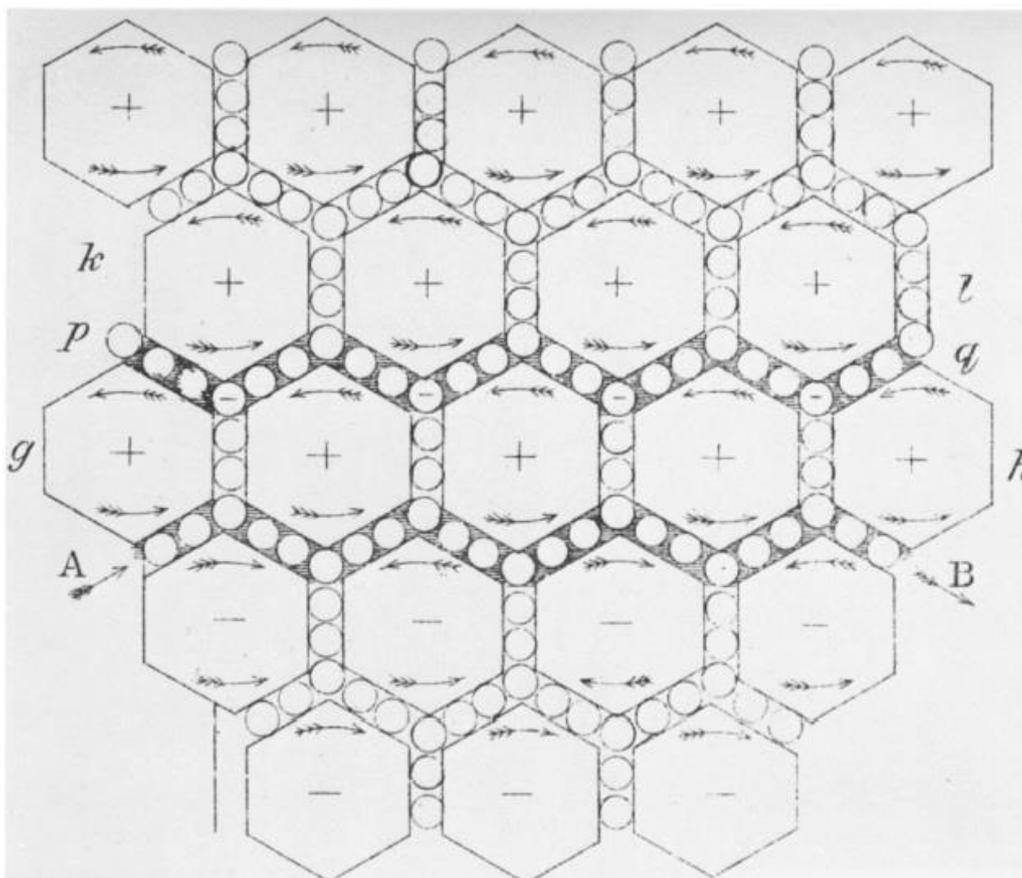


Figura 11: Diagrama original de Maxwell enquanto analogia visual para um modelo mecânico do eletromagnetismo (fonte: HARMAN, 1982, p. 90)

⁷⁷ De acordo com Harman (1982, p. 91), o desenho de Maxwell (Figura 11) representa um “modelo físico [...] de vórtices moleculares e partículas elétricas (1861). Neste modelo do éter, Maxwell postulou uma estrutura de vórtices embutidos em um fluido incompressível. Cada vórtice foi separado de seus vizinhos por uma camada de partículas esféricas, girando em direções opostas aos vórtices. Essas partículas de rolamento foram identificadas com eletricidade. A corrente elétrica fluía de A para B, e a linha de vórtices *gh* acima de *AB* era acionada no sentido anti-horário (+), engatando a camada de partículas *pq*, que agia na próxima linha de vórtices *kl*. A transmissão da ação elétrica foi explicada em termos do processo de comunicação da velocidade rotatória dos vórtices de uma parte do campo para outra. As partículas de rolamento (eletricidade) permitiram que os vórtices adjacentes girassem na mesma direção. A figura contém um erro de desenho: os vórtices abaixo de *AB* girariam no sentido horário (-), apesar das direções em algumas das setas. Maxwell enfatizou que esse modelo de partículas inativas era provisório. No entanto, ele continuou a argumentar que a rotação magneto-óptica implicava que a rotação dos vórtices representava a realidade física. Esta representação de 1861 da estrutura mecânica do campo foi concebida como uma ilustração heurística, não como um dispositivo mecânico do tipo posteriormente inventado por Boltzmann (e também pelo próprio Maxwell), que forneceu análogos mecânicos específicos para fenômenos eletromagnéticos”.

A seguir, daremos mais um exemplo de como Maxwell procurava dar uma visualização às teorias:

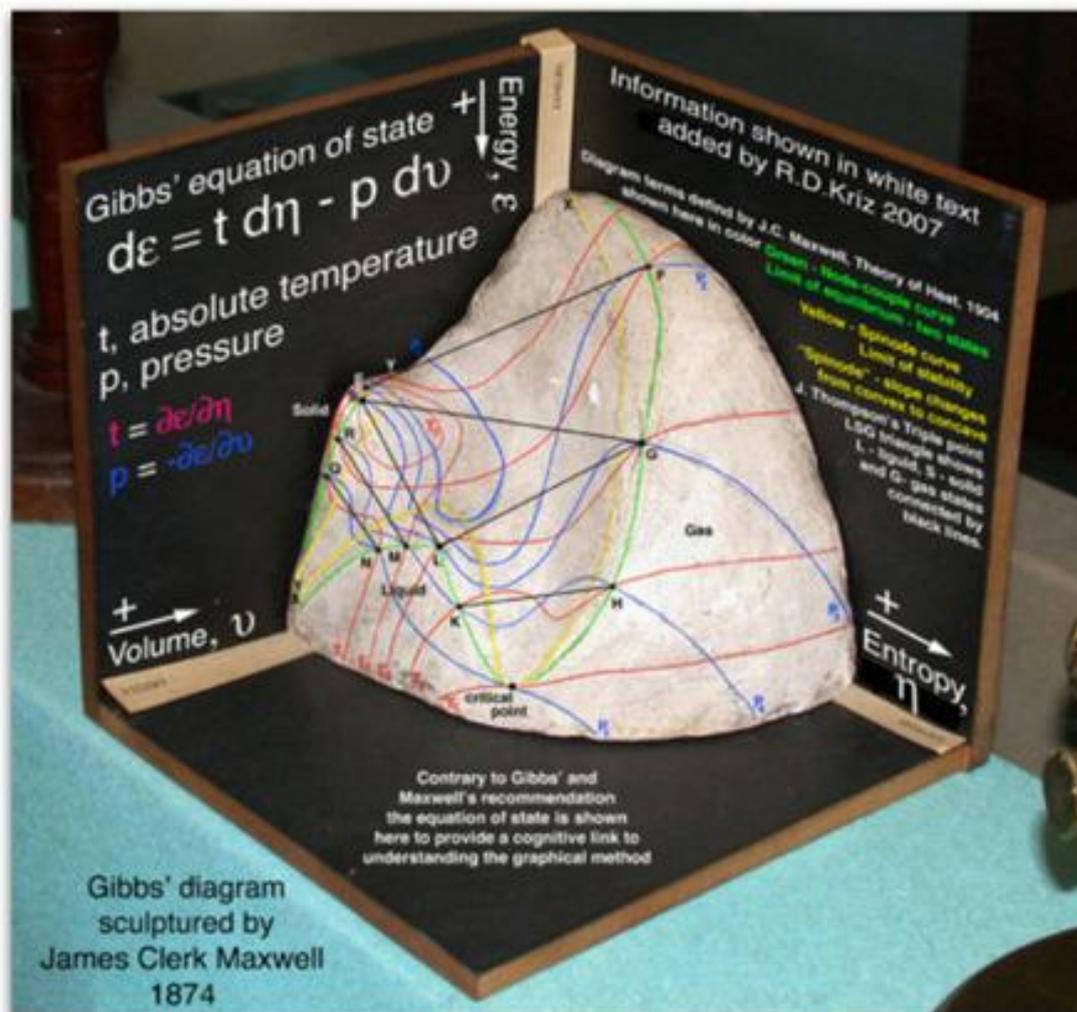


Figura 12: Modelo esculpido em 1874 em gesso por Maxwell representando uma superfície termodinâmica a partir da teoria de Gibbs, de 1873 (fonte: <http://dataphys.org/list/thermodynamic-surfaces/>)

Maxwell preocupava-se em dar uma melhor compreensão às analogias teóricas via representações visuais com uma escultura vista acima, realizada por ele para representar as superfícies termodinâmicas a partir das equações de Gibbs. A forma moldada representa a geometria da superfície termodinâmica tridimensional dos vários estados de existência de água: sólido, líquido e gasoso, mostrado nas coordenadas cartesianas da entropia (η), volume (v) e energia (ϵ) do corpo. Maxwell construiu-o em Cambridge e enviou-o para Gibbs em 1875 como um presente de agradecimento por seu trabalho.

Paulatinamente, os modelos passaram a ter um valor científico mais significativo, superando-se as noções do senso-comum. Podemos observar que, de uma aceção física dos modelos do tipo maquete, um novo ponto de vista de modelo abstrato surge, em que destaca-se a relação de analogia física entre estruturas teóricas, como empregada por Maxwell⁷⁸. Segundo Maxwell (MAXWELL *apud* KARGON, 1969, p. 432): “Por analogia física, refiro-me à semelhança parcial entre as leis de uma ciência e a de outra que faz com que cada uma delas ilustre a outra”.

Maxwell referia-se sobretudo às analogias físicas enquanto método: “Devemos descobrir, Maxwell insistiu, um método de investigação que permita à mente compreender uma concepção física clara a cada passo, sem a afasia das fórmulas ou o preconceito de uma hipótese favorecida”. Esse método, ele sugeriu, é o *método da analogia física*. ” (KARGON, 1969, p. 432). Acompanhando a analogia física, vinha o método clarificador de ideias que as ilustrações científicas propiciariam: “uma ilustração verdadeiramente científica é um método para capacitar a mente a apreender alguma concepção ou lei em um ramo da ciência, e direcionar a mente a tomar posse dessa forma matemática que é comum às ideias correspondentes nas duas ciências, deixando de lado a conta para o presente a diferença entre a natureza física dos fenômenos reais” (KARGON, 1969, p. 434).

Segundo Maxwell, (1856, p. 376): “ Que as analogias parecem existir é claro em face das coisas, pois todas as parábolas, fábulas, símiles, metáforas, tropos e figuras de linguagem são analogias, naturais ou reveladas, artificiais ou ocultas. A questão é inteiramente da sua realidade”. E prossegue Maxwell (1856, p. 387) “Existe uma analogia, mas acho que não uma identidade, entre essas duas ordens de pensamentos e coisas”. Segundo Turner (1955, p. 227) “Maxwell caracterizou a analogia física como uma semelhança na forma matemática entre dois ramos da ciência que diferiam na natureza física dos fenômenos que descreviam. Ele também se referiu à analogia física como ilustração científica e como metáfora científica”. Portanto temos aqui dois tipos de conceitos, o de analogia física, em que cotejando as propriedades de duas teorias distintas, poderíamos inferir, por similaridade, propriedades de uma projetada em outra teoria. Já a

⁷⁸ Em hipótese alguma queremos que o leitor seja levado a crer que o termo “*analogia*” e seu emprego origina-se em Maxwell. O conceito de analogia, tanto sua definição quanto seu emprego, remontam a Aristóteles (384-322 a.C.), em obras como *Ethica Nicomachea*, *Poetica*, *Rhetorica* e nos *tratados biológicos* (Cf. VÁZQUEZ, 2010, p. 92-93).

analogia, propriamente, poderia ser um diagrama (mental ou desenhado), destinado a representar algum sistema material, ou seja, o sujeito da investigação científica (e.g., desde uma única partícula até o universo inteiro): “a configuração de sistemas de materiais pode ser representada em modelos, planos ou diagramas. O modelo ou diagrama deve se assemelhar ao sistema material apenas na forma, não necessariamente em qualquer outro aspecto [...] assim, quando falamos da configuração de um sistema, a imagem que formamos em nossas mentes é a de um diagrama, que representa completamente a configuração, mas que não possui nenhuma das outras propriedades do sistema material” (MAXWELL, 1925, p 3). O recurso é heurístico, sendo que os aspectos *analogia e similaridade* são propriedades fundamentais do modelo (como veremos na seção seguinte).

Por meio disso, é importante ressaltarmos que Maxwell, em seu tempo, “ofereceu à comunidade científica um pluralismo metodológico raro na história” (KARGON, 1969, p. 435). (Lembremos, isso já fora descrito no capítulo anterior: o pluralismo de Maxwell teve forte influência sobre a construção da epistemologia de Boltzmann, lá vimos a configuração de um pluralismo de tipo teórico, aqui, um pluralismo de tipo metodológico.)

De acordo com esse contexto, os modelos foram empregados na Física não apenas de forma pedagógica, por meio de figuras, diagramas, gráficos, mecanismos e artefatos que contribuíssem para o entendimento de teorias científicas, mas também na análise de estruturas matemáticas interteoreticamente (como na analogia física), de modo que era ressaltado seu valor cognitivo e heurístico.

Nesse período de transformações, muitos cientistas mantinham-se deveras circunspectos: não obstante o emprego dos modelos estivesse popularizando-se, esse emprego era criticado, especialmente por alguns cientistas que objetavam ao uso de entidades inobserváveis/imponderáveis. Havia uma forte influência positivista. Segundo Abrantes, os

[...] positivistas adotaram, no século XIX, a *hypoteses non fingo* de Newton como uma bandeira contra a Metafísica, que se imiscuiria na Ciência por meio da busca de explicações causais para os fenômenos observados. Para o positivismo, o conhecimento científico deveria limitar-se a formular leis (correlações funcionais) a respeito dos fenômenos observados (1998, p. 18).

Portanto, mesmo em se tratando de modelos analógicos aos quais podemos associar valores pedagógicos e heurísticos, muitos cientistas, sob influência desta tradição positivista, não consideravam esse emprego como uma forma adequada de se lidar com as teorias que aquela puramente fenomenológica, ou descritiva.

Não obstante muitos cientistas reconhecessem esses valores associados aos modelos de então, seu emprego na Física não passou sem críticas nesse período. Duhem destacou-se entre os críticos, sobretudo em relação à *física vitoriana*, da qual fazia parte Maxwell. De acordo com Bailer-Jones (Cf. 1999, p. 24-25), a forma como os físicos ingleses procuravam, por meio de imagens visuais e objetos palpáveis (a exemplo das figuras 11 e 12), dar uma inteligibilidade às leis matemáticas abstratas, essas últimas ainda deveriam ser a melhor maneira de representarmos (descritivamente) as teorias. Duhem mantinha essa posição categoricamente⁷⁹.

Já Mach, por seu turno, a despeito de sua importante influência intelectual sobre os positivistas de seu tempo, não mantinha posições tão severas quanto estes últimos. Segundo Neuber (2002, p. 192), Mach “não era um iconoclasta físico”, como Ostwald, que pensava, assim como Duhem, que não haveria a necessidade de imagens, analogias e modelos e que o aspecto matemático-descritivo bastasse. Como afirma Mach (1986, p. 334), a própria representação aritmética dos números reais é analógica:

Eu não posso concordar ... que as forças maravilhosas que as pessoas atribuem às noções usadas na física mecânica são agora meramente transferidas para fórmulas algébricas, e que no lugar da mitologia mecânica nós podemos simplesmente substituir uma algébrica. A validade de uma fórmula da mesma maneira denota uma analogia entre a operação de um cálculo e um processo físico. Se esta analogia se mantém ou não, em cada instância particular, tem que ser testada.

Embora Mach mantivesse sua epistemologia assentada em seu monismo sensorial, ou “monismo neutro” (Cf. WOLTERS, 2001, p. 253), mantinha uma “metodologia [...] sistematicamente independente de sua epistemologia, embora possa ser considerada como uma aplicação dela”. Mach aceitava que imagens e analogias “podem ter um grande valor heurístico no desenvolvimento de hipóteses e, ao mesmo tempo, um valor desprezável quanto ao seu conteúdo epistêmico” (MACH, 1986, p. 445n). Não obstante Mach

⁷⁹ “Para Duhem, a teoria física é um sistema escrito na linguagem da matemática cujo objetivo é organizar leis experimentais. Como mera classificação de leis experimentais, a teoria é restrita à esfera do fenômeno, e qualquer poder explicativo no sentido de explanação das causas é negado a ela” (DION, 2018, p. 34).

mantivesse uma postura epistemológica antimetafísica, sua metodologia aplicada à pesquisa científica era mais tolerante ao emprego de métodos diversos, posto que “ao investigador não só é permitido, mas espera-se que empregue todos os meios que possam ajudá-lo” (MACH, 1986, p. 445n) na investigação científica, conquanto tais métodos não fossem saturados metafisicamente e pudessem ser substituídos por uma metodologia mais econômica, sem esquecermos da importância de nos voltarmos ao teste empírico para aferirmos nossas hipóteses e métodos. Obedecendo estas regras, modelos em geral, como analogias, eram permitidos (incluindo a analogia aritmética dos números reais de tipo atomista de Boltzmann – vide seção 5.1).



Como já dissemos acima, este foi um período de reforma conceitual dos fundamentos científicos e Boltzmann participou ativamente deste processo. Sofreu críticas diversas e, para defender suas ICN e IFC, elaborou sua abordagem epistemológica baseada em sua concepção-*Bild* de modo a sustentar suas teses (e preferências) contra os críticos de suas concepções.

Segundo Videira (2013, p.376), ele “não economizou esforços para defender a permanência de modelos [...] apesar da [...] dificuldade enfrentada por esse domínio na Física”. Destarte, para Boltzmann, os modelos “não apenas seriam inevitáveis, mas necessários, uma vez que tornavam possível o aperfeiçoamento contínuo da Ciência” (VIDEIRA, 2013, p. 379) e, conseqüentemente, “a Ciência não teria como dispensar o uso dessas estruturas” (Cf. ROQUE & VIDEIRA, 2013, p. 286).

Deste momento em diante, a noção e o emprego dos modelos científicos ramificaram-se e passaram a ser reinterpretados a partir de diversos pontos de vista. Como destaca de Regt (2005, p. 215), “hoje, o termo ‘modelo’ adquiriu um sentido mais geral na Ciência, o qual inclui as analogias do século XIX; pensemos, por exemplo, nos modelos matemáticos e nos modelos computacionais”. Das Ciências Exatas às Ciências Humanas, e não apenas nas Ciências da Natureza, como na Física, o conceito de modelo é de crucial importância. Os modelos assumem, desta forma, uma multiplicidade de empregos e uma polissemia de significados nas diversas áreas do conhecimento. Ainda de acordo com de Regt (2005, p. 215), “cientistas usam o termo ‘modelo’ de uma maneira

solta, sem exatamente definir seu significado. Em particular, eles não demarcam nitidamente modelos de teorias”. Mas, acima de tudo, como asseverou Suppe (2000, p. S109), “hoje, modelos são o principal veículo do conhecimento científico”.

Os modelos, via de regra, são considerados como parte essencial das teorias científicas e têm crucial importância enquanto mediadores entre teoria e experimentação. Já que os cientistas em sua prática não têm a preocupação em definir nitidamente o significado e o emprego dos modelos, cabe a Filosofia da Ciência tal papel a partir da atividade cognitiva da Ciência, sendo que uma das manifestações dessa atividade se dá por meio de construção de modelos.

É sobre isso que trataremos na sessão seguinte, em que faremos uma breve revisão sobre como a Ciência emprega os modelos em sua prática a partir de um ponto de vista filosófico.

7.1. Breve revisão filosófica do modelo em Ciência

*“Modelos são o coração da experimentação científica,
da observação, instrumentação e do desenho experimental.”
Frederick Suppe (2000, p. S110)*

Daniela Bailer-Jones divide as concepções acerca dos modelos na Filosofia da Ciência em dois grandes grupos, aquele cuja **abordagem formal** (*Af*) e abstrata procura criar modelos para a análise das teorias científicas (modelos para análise de outros modelos) e outro de **abordagem pragmática** (*Ap*) que se volta para a análise de como os cientistas empregam seus modelos em sua prática científica (Cf. BAILER-JONES, 1999, p. 32).

Nas abordagens contemporâneas da Filosofia da Ciência que analisam as teorias científicas, os modelos têm uma aplicação fundamental, como àquelas de tipo (*Af*), em que destacamos duas grandes frentes: uma ‘escola’ axiomática (*visão recebida*, em que as teorias são tidas como conjuntos de sentenças) à denominada família semântica (que

contém, por sua vez, várias outras ‘escolas’, p.e., *conjuntista, de espaço de estados, de espaço de fases, baseada em modelos, metateórica estruturalista, etc...*) (Cf. LORENZANO, 2013, p. 605).

Teses epistêmicas, como as apresentadas pela visão semântica (em que as teorias deixam de ser reconstruídas a partir do entendimento de que elas sejam conjuntos de sentenças), por exemplo, dentre as abordagens instanciais mais contemporâneas em Filosofia da Ciência sobre a dinâmica da Ciência (suplantando a visão axiomática pela sua capacidade em realizar análises mais apuradas, levando em conta, p.e., a tentativa de bordar as mudanças conceituais pelas quais a Ciência passa, cuja importância não era relevante para aquela chamada *visão recebida*), entendem as teorias científicas como sendo, propriamente, uma família de modelos, ou, mais especificamente, uma *classe de modelos*, no sentido abstrato do termo “*modelo*”. Segundo Moulines (2010, p. 20), “ainda outra forma de colocar é que um modelo é uma estrutura construída por meio de conceitos da teoria [axiomas], que *cobrem* o domínio empírico que nós pretendemos estudar (de um modo mais ou menos idealizada) ”.

Os modelos em uma *Af*, em termos da visão semântica (ou abordagem instancial), isto posto, são considerados como *modelos instanciais*. Dito de outra forma, um modelo nestes termos, pensando em estruturas abstratas da Lógica e da Matemática, é uma instância de uma estrutura teórica, ou, modelos são “as *estruturas nas quais se cumpre o que diz a teoria*” (BEZERRA, 2011, p. 589). Os modelos correspondem aos axiomas. Os axiomas são as instâncias que estruturam uma teoria científica: a estrutura de uma teoria é conformada pela sua classe de modelos. Conforme Giere (Cf. 1999b, p. 43), uma teoria científica é um conjunto de axiomas e um *modelo* é um conjunto de objetos (ou termos formais de uma linguagem lógica) que satisfazem os axiomas. Portanto, em *Af instancial*, modelos têm um significado e um emprego específico na análise metateórica das teorias científicas.

Todavia esses *modelos instanciais* tenham grande importância na análise metateórica, restringiremos o escopo de nossa revisão, senão teríamos um trabalho hercúleo se fossemos buscar uma representação, mesmo resumida, *Ap* das discussões filosóficas do significado e utilidade dos modelos científicos e *Af* do encadeamento de escolas filosóficas da ciência que empregam a noção de modelo no sentido lógico como uma ferramenta metateórica para a análise das teorias científicas.

Esse escopo, portanto, restringe-se ao tipo *Ap* de análise do emprego dos modelos em Física sob a ótica da Filosofia da Ciência de viés pragmático e historicista. Isso se nos parece ter mais a ver com o escopo deste trabalho, e, não obstante, a bem da simplificação. Vamos procurar lidar não com a prática epistemológica de interpretar as teorias científicas da *Af*, mas sim com uma concepção pragmática de como os modelos dos cientistas representam coisas do mundo.

Acerca do emprego dos modelos em Física, vamos partir de uma premissa posta por Boltzmann, logo na paráfrase do começo deste capítulo, qual seja, os modelos, de uma forma geral têm duas apresentações: os modelos teóricos e os modelos icônicos (assim os consideraremos, por ora, mas em breve procuraremos mostrar uma tessitura sutil nesta classificação). A partir da revisão que faremos, ficará mais fácil confrontarmos a visão de Boltzmann com a de outros nomes da Filosofia da Ciência, como, por exemplo, Carnap, Hesse, Nagel, Hempel, Giere, Cartwright, Bailer-Jones, dentre outros.

Começemos, pois, esta breve revisão com **Duhem**. Como destaca Bailer-Jones (1999, p. 24), embora Duhem reconhecesse algum valor nos modelos científicos, sobretudo no âmbito da Física, quando confrontava suas ideias com o modo vitoriano de lidar com modelos analógicos nas teorias (como auxiliares cognitivos), Duhem (1914) acaba, mesmo em sua negação ao emprego dos modelos em seu criticismo, nos dando uma primeira definição destes e deferindo-lhes uma função em Física. Segundo Duhem: “O objeto dos físicos ingleses é o de ‘criar uma visível e palpável imagem de uma lei abstrata cuja mente [dos ingleses] não pode compreender sem a ajuda deste modelo” (DUHEM *apud* BAILER-JONES, 1999, p. 25).

Em **Rudolf Carnap** (1939), temos que os modelos, como aplicados pelos cientistas, embora não fossem essenciais para a compreensão de uma teoria, os modelos ao menos teriam um valor estético, didático e, no melhor dos casos, um valor heurístico. Carnap tinha em mente os modelos visuais do século XIX, que ajudariam ao cientista a interpretar suas teorias. Na verdade, enquanto empirista-lógico, estava mais interessado naqueles modelos de tipo *Af*, assim suas observações filosóficas sobre modelos aplicados em Física não vão muito além desses valores (Cf. BAILER-JONES, 199, p. 25-26; ABRANTES, 2004, p. 230-231).

Em **Mary Hesse** (1953, 1966) e **E. H. Hutten** (1954) temos já uma busca por uma definição filosófica dos modelos mais próxima daqueles aplicados pelos cientistas, mas a partir de um viés *hipotético-dedutivo* das teorias científicas. De um ponto de vista de Norman Campbell, a partir de Maxwell como paradigma (veja acima, o método de analogia física), as teorias científicas seriam de tipo hipotético-dedutivas (HD) e modelos seriam interpretações de termos inobserváveis, e esta forma, os modelos seriam de essencial importância para a Filosofia da Ciência compreender as teorias a partir de um outro ponto de vista que não apenas o formal da VR, em que informações significativas perder-se-iam (Cf. HESSE, 2001, p. 300).

Hesse, a partir dessa visão HD, começa a traçar uma classificação dos modelos em Ciência mais sofisticada. Para ela, “modelos serviram para introduzir entidades e processos inobserváveis na teoria física por analogia com entidades e processos observáveis familiares, fornecendo assim imagens das entidades explicativas sustentadas pelos fenômenos” (HESSE, 2001, p. 300). Segundo Abrantes (2004, p. 241), “o ponto importante a ser enfatizado aqui é que a construção de modelos sempre envolve abstração”. Ao modelo, Hesse atribui dois aspectos. Um dos aspectos é o metafórico, já que um modelo oferece explanação que equivale-se à uma releitura metafórica de um dado domínio (Cf. BAILER-JONES, 1999, p. 34). O outro aspecto também fundamental é o da *analogia*; ou seja, a analogia atribui ao modelo uma *relação de similaridade ou de diferença* entre o modelo e o mundo, já que os modelos não são “descrições literais da natureza, mas estão em relação de analogia com a natureza” (HESSE, 1953, p. 201). Desta forma definida a analogia, Hesse subdivide-a em três tipos: *analogia positiva* (e.g., a ideia de bolhas de bilhar está em analogia de similaridade positiva com a ideia de átomos em colisão), a *analogia negativa* (e.g., as cores das bolas de bilhar não estão em analogia de similaridade com os ‘átomos’) e a *analogia neutra*. Este último tipo de analogia, a neutra, tem um papel heurístico fundamental: é ela que leva-nos à descoberta, ou seja, mesmo que esta analogia fosse neutra em relação a alguma teoria, ou alguma propriedade de uma teoria, é por meio dela que o cientista pode vislumbrar relações novas, insuspeitadas, e fazer predições. As analogias negativas, ou irrelevantes ao processo, são abstraídas; já as demais, em acordo com Abrantes (2004, p. 241):

A analogia positiva sugere inferências analógicas da descrição da fonte (teoria ou representação) para uma (tentativa de) descrição do domínio de destino. Ou seja, a partir da percepção de similaridades em um nível observacional, inferimos (analogicamente) que ambos os sistemas provavelmente

compartilham outras características também, compreendendo sua “analogia neutra”. Em casos não-triviais, os recursos inferidos não são observáveis no domínio de destino e, portanto, fornecem explicações *prima facie* (teóricas) do comportamento manifesto do sistema de destino.

Poderíamos colocar de outra forma: quando vamos operar uma analogia, de forma positiva, associamos propriedades que achamos relevantes; de forma negativa, removemos propriedades que não achamos relevantes e construtivas ao processo, e é das neutras, remanescentes, que podem surgir as possibilidades de enxergarmos relações insuspeitadas. Desta maneira, analogias sempre têm um elemento neutro presente neste processo de tentarmos descrever uma teoria ‘alvo’ a partir dos termos de uma teoria ‘origem’: é o atributo heurístico que torna um modelo verdadeiramente científico, rumo ao desconhecido. De acordo com Bailer-Jones (1999, p. 31), “Hesse enfatiza o papel heurístico dos modelos, na medida em que os identifica como indicadores para um maior progresso. Uma das principais motivações de Hesse para explorar modelos é a questão da descoberta científica, induzindo-a a levantar a questão da imaginação criativa”.

Em suma, para Hesse, portanto, as analogias seriam atributos intrínsecos aos modelos que, por sua vez poderiam ser divididos em *modelos de tipo teórico* (referem-se a entidades reais ou imaginárias) e *icônico* (diagramas, dispositivos, etc., enquanto recurso pedagógico). Os modelos teóricos, por seu turno, seriam divididos em *modelos materiais* (descrevem uma entidade física, semanticamente) e em *modelos formais* (e.g., equações, que expressam de forma sintática objetos e propriedades). Todavia, a analogia, é um atributo destes dois últimos tipos de modelos, mas apenas as analogias dos modelos materiais é que podem dar significado racional às teorias científicas e promover, destarte, uma teoria preditiva (Cf. HESSE 2001, p. 299-301; BAILER-JONES, 2001, p. 29-34; ABRANTES, 2004, p. 240-241; DUTRA, 2006, p. 258).

Poderíamos esquematizar os tipos de modelo em Hesse como se segue, simplifcadamente:

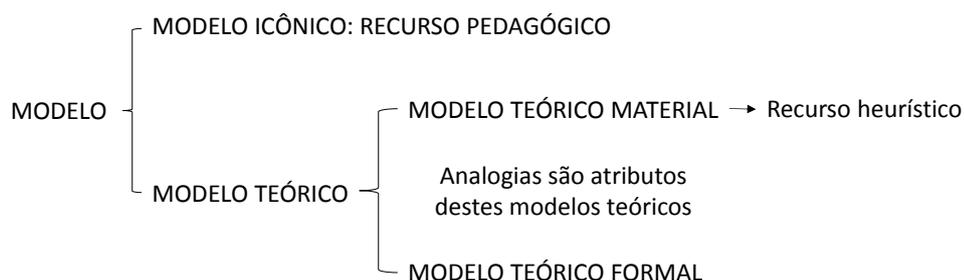


Figura 13: Esquema para modelos em Hesse

Já Hutten foi um dos primeiros filósofos da ciência a enfatizar a importância psicológica dos modelos para os cientistas: o modelo seria empregado pelos cientistas em termos de entendimento científico e os modelos apenas dariam interpretações parciais às teorias, não representando uma cópia destas (de forma similar às analogias em Hesse, acima). Dentre suas funções, na Ciência, portanto, teríamos aquela heurística e pragmática para os cientistas: (a) os modelos ajudariam ao entendimento científico provendo uma interpretação, p.e., fornecendo imagens, figuras, diagramas (bidimensionais ou tridimensionais); (b) os modelos serviriam de link entre a teoria e o experimento, posto que as teorias são testada em termos de seus modelos; (c) bem como os modelos serviriam para o desenvolvimento de novas terminologias científicas em analogia com conceitos e justificações pré-existentes. Já para a Filosofia da Ciência, os modelos teriam a utilidade de serem explorados em estudos de casos do empreendimento científico. (Cf. BAILER-JONES, 1999, p. 28-31).

Em **Max Black** (1960), encontramos três acepções para o termo “modelo”. Temos (a) modelo em escala (que representa, construído em relação de congruência, os objetos originais que eles modelam, como o protótipo em menor escala de um avião); (b) modelo de tipo analógico (construído para representar parcialmente as relações mais importantes entre as partes de um objeto real, um tipo de correspondência abstrata, como mapas cartográficos), e (c) modelo teórico. É este terceiro tipo de modelo que interessaria para a Filosofia da Ciência analisar, pois seria o tipo de modelo que os cientistas utilizam: este modelo também é abstrato, mas ele não precisa ser construído como os anteriores (e.g., modelo de um átomo, um plano inclinado ideal, etc.). Embora as distinções sejam apresentadas, os modelos devem ter o atributo da *similaridade* com a estrutura que ele modela (similaridade de estrutura) (Cf. DUTRA, 2006, p. 257).

Em **Ernest Nagel** (1961), o modelo de tipo científico aparece como sendo um dos componentes do sistema explicativos das teorias científicas. Esse sistema explicativo é composto de três partes: (a) a parte matemática; (b) um conjunto de regras (conteúdo empírico dos cálculos); e (c) o modelo, que fornece a visualização/interpretação do conceito abstrato a partir dos cálculos. Nagel parece restringir aos modelos um papel heurístico que, assim como Hesse, existem a partir de uma relação de analogia – destarte, estes tipos de modelo são analógicos – porém, para Nagel, os modelos, assim como a

testabilidade, a confirmação, a explicação dedutiva-nomológica, etc., são características, ou componentes, subsidiárias das teorias científicas, ou seja, caminham em função das teorias. Por seu turno, os modelos analógicos de Nagel podem ser divididos em analogias *substantivas* e *formais*, que segundo Dutra (2006, p. 259-260):

As primeiras são aquelas que, a partir de nosso conhecimento das propriedades de determinado sistema, nos permitem formular uma teoria sobre as propriedades de um outro sistema, daquela forma, por exemplo, como temos com a analogia entre as bolas de bilhar e as moléculas de um gás ideal. As analogias formais, por sua vez, diz Nagel, são bem diferentes. Por exemplo, há uma analogia formal na comparação entre as noções de massa na mecânica clássica e na teoria da relatividade geral. Nesse caso, não há nenhum elemento visualizável ou icônico, mas apenas, como diz Nagel, uma “estrutura de relações abstratas” [que representam o comportamento de um sistema].

Em **Rom Harré** (1970), os modelos científicos são um análogo da estrutura das coisas (*viz.* o domínio de aplicação de uma teoria científica). Os modelos têm duas funções, uma criativa e outra ilustrativa. Em outros termos, ambas as funções são *processos* elaborados pelos cientistas: (a) de criar modelos (para mecanismos desconhecidos) e de ilustrar (usar modelos para coisas conhecidas, em que temos outro processo associado que é o de criar imagens – *pictures* – para que possamos usar os modelos ilustrativos). Segundo Harré, os cientistas em sua atividade teórica “estão tentando formar uma imagem dos mecanismos naturais os quais são responsáveis pelos fenômenos que observamos” (HARRÉ *apud* BAILER-JONES, 1999, p. 36). Por sua vez, o processo criativo serve a preencher as lacunas de nossas teorias científicas quando “as estruturas e constituições das coisas” (HARRÉ *apud* BAILER-JONES, 1999, p. 36) são desconhecidas. De qualquer forma, assim configurados os modelos em Harré, via processos, ambos têm função heurística e cognitiva, fundamentais à prática científica (Cf. BAILER-JONES, p. 35-36).

Em **Carl Hempel** (1977), temos uma forma bastante semelhante à de Nagel sobre como interpretar os modelos científicos. Em vez de modelo substantivo e formais, temos em Hempel modelos *analógicos* e *nômicos*. Aos modelos analógicos atribui-se um papel pedagógico e heurístico, de forma similar à aplicação dos modelos substantivos em Nagel. Já aos modelos de tipo nômicos, Hempel atribui a função de comparar comportamentos entre dois sistemas físicos em cotejamento, indicando um isomorfismo entre leis (isomorfismo nômico) que regem os processos comparados (similaridade de comportamento). Para Hempel, esse é o tipo de modelo mais representativo da prática científica, pois “faz referência direta a determinadas leis científicas, pois são elas que, por

assim dizer, são responsáveis por aquela similaridade de comportamentos dos sistemas considerados na comparação” (DUTRA, 2006, p. 261) e têm um papel heurístico no processo da descoberta e na compreensão de novos fenômenos e de novas teorias (Cf. ABRANTES, 2004, p. 236; DUTRA, 2006, p. 260-261).

Em **Ronald Giere** (1990, 1999a) encontramos os *modelos teóricos*, fundamentais para a prática científica. De acordo com a interpretação de Dutra (Cf. 2006, p. 264), os modelos teóricos de Giere são *objetos abstratos* ou *entidades abstratas*. Por sua vez, são *representações* que têm certas propriedades que satisfazem determinadas leis de uma teoria científica. Enquanto representações, tornam-se *estruturas cognitivas*, mas não no sentido material ou físico, e sim, no sentido psicológico. Segundo Giere:

O conceito fundamental em minha compreensão particular da prática científica é a de um modelo. Modelos, para mim, são as entidades representacionais primárias na ciência. Cientistas, normalmente eu assevero, usam modelos para representar os aspectos do mundo. A classe de modelos científicos inclui representações diagramáticas e maquetes físicas, mas os modelos de maior interesse são modelos teóricos. Estes são os objetos abstratos, entidades imaginárias, cuja estrutura pode ou não ser semelhantes a aspectos de objetos e processos no mundo real. Os cientistas são mais propensos a falar sobre a **adequação** entre seus modelos e o mundo, uma terminologia que eu adoto alegremente. Argumento que as chamadas leis da natureza funcionam ambigualmente na prática real da ciência. Por um lado, eles podem ser considerados princípios, tais como o princípio de covariância explicitamente nomeado, o princípio da incerteza ou o princípio da Seleção Natural. Como tal, eu reclamo, eles [os princípios ou leis] não são mesmo candidatos a ser verdades sobre o mundo. Não são afirmações, mas as regras gerais para a construção de modelos. Incorporada na caracterização de modelos particulares, no entanto, eles funcionam como declarações verdadeiras, mas não como declarações sobre o mundo. Eles então são verdades apenas sobre um modelo abstrato. Neste contexto, tais declarações são verdadeiras da forma como as definições explícitas são verdadeiras. A questão empírica – a questão do realismo – é quão bem o modelo resultante se encaixa nos aspectos pretendidos do mundo real. E aqui a minha reivindicação central é que o ajuste é sempre parcial e imperfeito. Não há nenhuma tal coisa como um modelo perfeito, completo em todos os detalhes. Que não, no entanto, impede os modelos de fornecer-nos insights profundos e úteis sobre o funcionamento do mundo natural (GIERE, 1999a, p. 5-6).

Para Giere, os modelos, enquanto estruturas cognitivas, teriam duas funções: (a) os modelos descrevem os comportamentos de um sistema a partir das leis expressas pelas equações das teorias científicas, e (b) os modelos têm um papel fundamental para o entendimento da prática científica que não apenas aquele papel de interpretar teorias científicas via modelos matemáticos abstratos de tipo (Af), embora fizesse parte dessa abordagem em seu viés semântico.

Em **Nancy Cartwright** (1983, 1999), por seu turno, temos que os modelos científicos são, por conveniência, tomados como *simulacro*. São modelos de tipo abstrato, comparados à uma réplica da *realidade*, ou seja, os modelos elaborados pelos cientistas em comparação com o objeto modelado a partir da realidade possuem similaridade, mas não equivalência; fora o atributo da semelhança, os modelos não possuem as mesmas propriedades e qualidades do objeto, i.e., não são feitos da mesma substância, portanto são tidos como simulacro abstrato – representam as coisas não concretamente, mas de forma genérica. Segundo Cartwright, a partir de (Ap) os modelos são tidos como *representativos*, a partir de (Af), os modelos são tidos como *interpretativos* (os modelos filosóficos utilizados na análise das teorias científicas). Interessa-nos os modelos representativos, pois são os modelos de tipo empregados pelos cientistas, aqueles que representam (simulam) as propriedades físicas pré-existent das coisas; esse tipo de modelo representativo é aquele que, como um “projeto de um experimento” (DUTRA, 2006, p. 265), tem a função de uma *máquina nomológica*, i.e., a partir de um modelo projetado idealmente, pela e na imaginação do cientista, poderá ser projetado na prática em seguida, via experimento que testará os modelos, por conseguinte, testar-se-á as implicações das leis e princípios modelados nas teorias científicas.

Daniela Bailer-Jones (1999), parte de uma abordagem de (Ap) de viés cognitivo-psicológica e de uma epistemologia naturalizada para compreender os modelos elaborados pelos cientistas. Segundo ela, a partir dessa abordagem os “modelos científicos podem agora não apenas ser considerados como uma importante ferramenta da cognição, eles podem mesmo ser usados como uma fonte de informação [para a Filosofia da Ciência] de como os cientistas raciocinam” (BAILER-JONES, 1999, p. 38). Destarte, os modelos científicos são abordados como *estruturas cognitivas* (modelos mentais, representações) que têm função explicativa e de prover conhecimento (no âmbito científico e para a Filosofia da Ciência) e, além do mais, assumindo que a criação de modelos pelos cientistas é um processo cognitivo “é por isso que é tentador inverter a questão e perguntar, em vez de qual papel a cognição desempenha na modelagem científica, o que a modelagem científica nos diz sobre a cognição humana” (BAILER-JONES, 1999, p. 37).

Em **Nancy Nersessian** (1999) também temos uma abordagem de viés cognitivista que a aproxima a Giere e Bailer-Jones. De uma forma genérica, os modelos são *recursos*

cognitivos que Nersessian chama de “abstrações genéricas” (1999, p. 16), posto que sejam idealizações e representações, “uma estrutura análoga ao mundo real ou a uma situação imaginária” (NERCESSIAN, 1999, p. 11). “Isto é, os recursos cognitivos [modelos] que os cientistas recorrem para a solução criativa de problemas não são diferentes em espécie do que os humanos usam em circunstâncias mais comuns” (NERCESSIAN, 1999, p. 14), assim operam, de uma forma genérica, os modelos.

Assim configurados, Nersessian classifica os modelos em três tipos: (a) *analógicos* (e.g., teorias, equações, proposições, em relação); (b) *visuais* (e.g., o diagrama de Maxwell, dão corpo às teorias científicas, têm função pedagógica e cognitiva, quando acompanham a analogia, favorecem o entendimento quando ultrapassam os constritores da linguagem verbal), “uma poderosa ferramenta para a Ciência” (NERCESSIAN, 1999, p. 20) enquanto modelos que podem ser perceptualmente compartilhados; e (c) *experimentos de pensamento* (modelos de simulação, estímulos à criatividade ultrapassar a experiência), que vinculam as dimensões conceitual e experiencial do processo cognitivo humano” (NERCESSIAN, 1999, p. 21).

Ainda, em acordo com Nersessian, para a Filosofia da Ciência a principal função dos modelos, enquanto ferramenta analítica, assim, é o de evidenciar a dinâmica do raciocínio científico. Para os cientistas, os modelos são interpretações de sistemas, processos, fenômenos e situações e uma ferramenta para solução de problemas, para previsões e hipotetizações. Para ambas, Ciência e Filosofia da Ciência, a função mor dos modelos é cognitiva e representativa (*modelagem construtiva*): “as práticas de modelagem são empregadas tanto em ambientes experimentais quanto teóricos. O modelo é o modo de *representação* entre os fenômenos e a expressão em uma linguagem (incluindo a matemática)” (NERCESSIAN, 1999, p. 15).



Façamos alguns comentários finais a esta seção, sumariando alguns traços comuns e fundamentais sobre *a natureza* dos modelos e sobre suas funções na Ciência, a partir desta brevíssima revisão da literatura acerca do termo “modelo” em consonância com *Ap*. De uma forma geral dentre as funções que os modelos representam para a prática científica a partir de diversos ‘olhares’ da Filosofia da Ciência, destacamos o papel

cognitivo (para a compreensão do raciocínio científico), o **heurístico** (voltadas para a *descoberta*) e o **pedagógico** (ensino de Ciência).

Sejam puramente **modelos ideais** (analogias, experimentos de pensamento...), sejam **modelos icônicos** (diagramas, gráficos, mapas, esculturas técnicas....), nós podemos identificar algumas propriedades que parecem ser intrínsecas aos modelos: **analogia** e **similaridade** (e.g., para compararmos os elementos {as proposições, leis, equações, princípios, etc.} de duas estruturas de teorias científicas independentes e inferir leis de uma à outra; ou mesmo entre os elementos das teorias científicas e algo do mundo {sistemas físicos, processos fenomênicos, situações}, que tenha existência real ou suposta); **metáfora** (para podermos relatar, via *catacrese*, elementos imponderáveis dentro destas correlações analógicas) e **abstração** (para que, por conveniência, possamos remover algumas propriedades atribuídas a algo que pareçam ser irrelevantes nesses processos de cotejamento *teoria-teoria* e *teoria-mundo*).

Portanto, analogia, similaridade, abstração, idealização e metáfora são condições fundamentais que os modelos devam apresentar para serem funcionais. Ou seja, elementos que vão sendo atribuídos aos modelos pela Filosofia da Ciência para que possamos configurar um tipo de **isomorfismo parcial** entre o *modelo* e o *modelado*, caso contrário, os modelos seriam disfuncionais, posto que eles pareceriam entidades sem propósito, pois, sem significado. Sendo funcionais, os modelos transformam-se em **máquinas nomológicas**.

Acima nós consideramos como funções dos modelos àquelas cognitivas, heurísticas e pedagógicas. Consideremos também mais uma dimensão, a da **explicação**, que por sua vez relaciona-se com estas anteriores. Por seu turno, “a vantagem explanatória dos modelos teóricos é frequentemente vinculada ao uso de analogia [...] se as explicações são vistas como fornecendo entendimento [...] onde o entendimento é uma atividade cognitiva” (BAILER-JONES, 1999, p. 35). É sempre bom lembrar que o modelo precisa de confirmação experimental. Segundo Giere, a analogia é um processo em que

Os cientistas têm à sua disposição um inventário de vários fenômenos conhecidos e os tipos de modelos que se encaixam nesses fenômenos. Quando confrontados com um novo fenômeno, os cientistas podem procurar por fenômenos conhecidos que sejam, de várias formas, semelhantes, ou seja, análogos, ao novo fenômeno. Uma vez encontrados, os tipos de modelos que explicaram com sucesso os fenômenos conhecidos podem ser adaptados ao novo fenômeno. No processo, os recursos dos modelos antigos podem sugerir

características desconhecidas do novo fenômeno. Então raciocinar por analogia pode ser um meio frutífero para novas descobertas. Eu diria, entretanto, que tais analogias são apenas sugestivas, e fornecem muito poucas razões para acreditar que as características sugeridas serão de fato encontradas no novo fenômeno. Isso, eu acho, sempre requer confirmação independente (GIERE, 1999, p. 56).

Por sua vez, as analogias precisam ser aplicadas em termos de similaridade e de metáfora, i.e., de alguma forma, por via de alguma linguagem, a analogia característica de um modelo precisa ser expressa.

A similaridade pode ser tomada como ferramenta cognitiva (DUTRA, 2006, p. 251) na classificação e organização das analogias e dos modelos que elaboramos. Por seu turno, a função da metáfora é a de relacionar as similaridades na analogia, por catacrese (via termos metafóricos já incorporados à linguagem pelo uso) pois, frequentemente, uma teoria que propõe entidades que não têm correlatos a partir da observação (dissimilaridade), deve ser modelada metaforicamente (a bem da similaridade para valer a analogia e, por conseguinte, o modelo), posto que “o vocabulário teórico nas teorias científicas referem-se a coisas e propriedades que estão além de nossa experiência ordinária” (ABRANTES, 2004, p. 244). Destarte, podemos destacar os valores cognitivos e pedagógicos dos modelos via metáforas:

A abordagem metafórica dos modelos científicos também se baseia no potencial da analogia. Com metáfora, introduziu-se uma perspectiva cognitiva sobre a modelagem científica, segundo a qual os modelos (ou metáforas) moldam criativamente os modos de pensar sobre um objeto ou fenômeno e, portanto, têm um efeito duradouro sobre as maneiras pelas quais seus usuários pensam (BAILER-JONES, 1999, p. 35).

Embora tenhamos ressaltado as funções positivas para o fazer científico baseado em modelos, notemos, acompanhando Abrantes (2004), que alguns problemas devem ser identificados neste método analógico. Notemos, aliás, como a noção de analogia, via modelagem em Hesse, traz consigo até os dias de hoje um paradigma maxwelliano lembrando que, segundo Turner (1955, p. 227) “Maxwell caracterizou a analogia física como uma semelhança na forma matemática entre dois ramos da ciência que diferiam na natureza física dos fenômenos que descreviam”. O problema emerge deste tipo de relação analógica entre áreas do saber diversas em termos de similaridade:

Um problema central para qualquer explicação do raciocínio analógico diz respeito à noção de “semelhança”. Quaisquer dois sistemas podem ser percebidos como “semelhantes” em um número indefinido de aspectos e em vários graus. Concedendo, no momento, que selecionamos um análogo de origem, precisamos distinguir os aspectos (por exemplo, propriedades) que são

relevantes daqueles que não são mapeados para o destino. Essa é certamente uma pré-condição para a transferência plausível de conceitos dessa representação de origem específica para o destino [indução] (ABRANTES, 2004, p. 245).

Como podemos perceber, a questão *do que é similar ao quê* (como na analogia positiva) parece uma escolha arbitrária e carente de critério para determinarmos com segurança a justificação da indução que fazemos nesse processo (até a analogia neutra). A necessidade de *um* critério de seleção de similaridades poderá ser algo problemático, posto que “critérios de relevância para avaliações de similaridade são, portanto, sempre relativos a um contexto, isto é, a compromissos ontológicos e pragmáticos da comunidade científica em um período histórico particular” (ABRANTES, 2004, p. 245).

Em consonância com Abrantes, encontramos em Giere uma problematização acerca da similaridade semelhante, porém Giere procura minimizar o problema, como podemos ver no excerto abaixo:

Não apenas os filósofos suspeitam do conceito de similaridade. Eles tipicamente afirmam que não há como dar uma explicação *geral* satisfatória da noção de similaridade [pois, uma objeção padrão é que, uma vez que qualquer coisa é semelhante a qualquer outra coisa em alguns aspectos ou outros, as alegações de similaridade são vazias]. Mas não há necessidade de procurar uma descrição geral da similaridade entre um modelo e o que é modelado. Similaridade é *dependente do contexto*. Em qualquer contexto particular, o que é dito ser semelhante ao quê, de que maneira e em quais graus, pode ser especificado. Claro, não há especificação única. Existem muitas especificações possíveis, dependendo dos interesses particulares daqueles que fazem a modelagem (GIERE, 1999b, p. 46).

Outro problema que podemos, por fim, relacionar também a Hesse é sobre a plausibilidade das inferências analógicas postas dessa forma em termos maxwellianos. Abrantes (Cf. 2004, p. 247) o considera como um problema central em Hesse além do problema da justificação da indução:

Não é suficiente responder que argumentos analógicos - como argumentos indutivos e outros tipos de argumentos plausíveis - não podem sustentar conclusões logicamente necessárias e, portanto, que essas conclusões devem ser defendidas *a posteriori* [...]. Alguma justificativa deve ser fornecida da plausibilidade *a priori* das inferências analógicas.

Isso pode levar a conclusões de que a plausibilidade não seja confiável, funcionando apenas como sugestões sobre relações baseadas em um sistema de crenças em um dado contexto.



A *grosso modo*, podemos dizer que a Ciência elabora modelos e os confronta com o mundo. Ora, pensamos que o *Bild* de Boltzmann, sob seu olhar metacientífico, tem afinidade com o modelo de tipo *Ap* da Filosofia da Ciência sobre a prática científica— trataremos de analisar esta tese adiante. A seguir, a partir do verbete *Modelo* de 1902 escrito por Boltzmann, apresentaremos uma tipologia sugerida para classificar o conceito de modelo.

7.2. Os tipos de Modelo em Boltzmann

Boltzmann, desde a última década do seu tempo, defendia uma concepção de teoria científica como modelo (BOLTZMANN, 1902b, p. 378). “Os modelos são de grande importância nas ciências matemáticas, físicas e mecânicas” (BOLTZMANN, 1902b, p. 382), asseverou Boltzmann. Dada essa importância, ele tratou de classificar e categorizar as acepções do termo “modelo” a fim de oferecer uma maior precisão para os seus diversos empregos. *Modelo*, para Boltzmann, seria “[...], uma representação tangível [...] de um objeto que tenha existência real ou que tenha sido construído de fato ou em pensamento. De maneira geral denota uma coisa que pode existir realmente ou ser apenas concebida mentalmente [...]” (BOLTZMANN, 1902b, p. 381). Tendo previamente definido desta forma o termo “modelo”, Boltzmann ampliou seu horizonte cognitivo de aplicação, i.e., os modelos tanto representariam desde *coisas com real existência* física até *representações mentais*, ou também, os modelos poderiam ser representados tanto por objetos físicos assim como pelos pensamentos que representam elementos do mundo (já fizemos uma breve digressão sobre alguns problemas relacionados à amplitude de elementos que podem ser incluídos sob tal definição e sobre aparentes ambiguidades, mas vimos também que essa ambiguidade dilui-se quando temos em mente o que o termo “modelo” significava no século XIX, ou seja, algo do tipo ‘maquete’). Nesse caso, segundo Boltzmann (1902b, p. 382-383), quando empregamos os modelos, “estamos

simplesmente estendendo e continuando o princípio por meio do qual compreendemos os objetos no pensamento e os representamos na linguagem e na escrita”. Ademais, os modelos seriam uma forma econômica e didática de se transmitir os fatos complexos da Ciência.

Este artigo *Modelo*, pode ser visto não apenas como uma tipificação, ele é mais que isso. Podemos considerá-lo um retrato dos tempos de Boltzmann. Além do seu caráter técnico, muito de concepção-*Bild* de Boltzmann subjaz neste artigo, bem como algumas réplicas pontuais às críticas de seus pares com as quais que Boltzmann lidou.

Uma outra observação: não consideramos o texto *Modelo* uma classificação sistemática e organizada do verbete em questão, pelo contrário, é uma narrativa truncada em que elementos diversos (críticas, conceitualizações, tecnicismos) se imiscuem à tipificação de modelo. Mas talvez essa diversidade de elementos é que torna o texto atrativo. Tentaremos organizar e esquematizar esta tipologia, a seguir.

Partamos, portanto, da premissa colocada no início deste capítulo, qual seja, a de que a ideia de modelo pode ser tratada sob dois grandes grupos, um de tipo imagem mental (*Bild*), outro de tipo físico, ou material (que chamaremos de icônico), para elaborarmos a tipologia de modelo em Boltzmann. Começemos, a bem do caráter cognitivo-pedagógico, apresentando um esquema visual bem simplificado da divisão dos modelos a partir do texto analisado de Boltzmann:

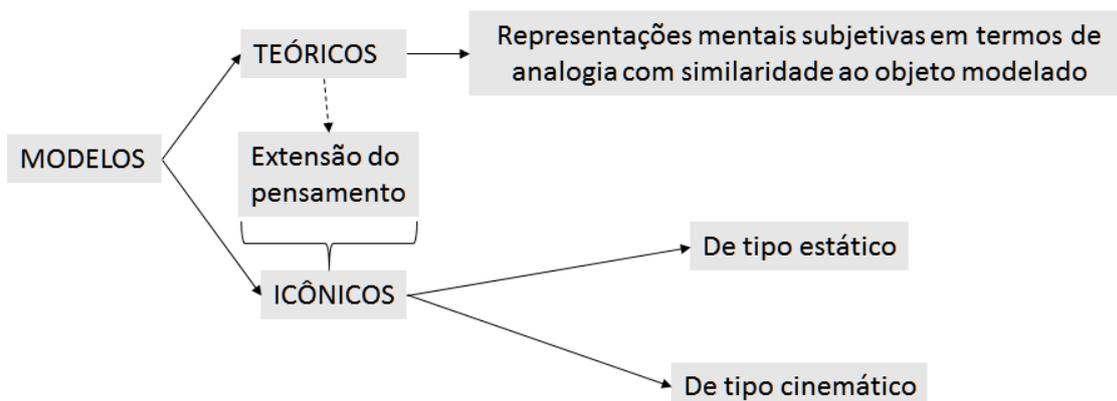


Figura 14: Esquema simplificado para modelos em Boltzmann



Modelos icônicos

Começemos, em primeiro lugar, pelos modelos “que podem existir realmente” (BOLTZMAN, 1902b, p. 381), que doravante, de acordo com a terminologia canônica da Filosofia da Ciência, chamaremos de modelos icônicos.

Os modelos icônicos têm diversas funções, as quais podemos destacar as técnica e a pedagógica; mas também, de uma forma geral, a função cognitiva. Por exemplo, tornam mais claros e intuitivos conteúdos teóricos, sendo que “essas condições⁸⁰ [teóricas], que são tão difíceis de expressar adequadamente pela linguagem são autoevidentes [assim que um modelo icônico] encontra-se diante de nossos olhos” (BOLTZMANN, 1902b, p. 384).

Uma passagem já citada anteriormente por nós, em Boltzmann, reitera esse caráter cognitivo pedagógico que os modelos podem ter quando Boltzmann critica aqueles que, por sua vez, criticam o emprego dos modelos em Física a bem de uma pura descrição matemática fenomênica:

Basta disso! Existe a necessidade do maior aproveitamento possível dos meios de nossa capacidade de concepção. Como nós podemos considerar uma imensa quantidade de fatos [não apenas descritivamente], decorre daí a necessidade de tornar intuitivos [e explicativos] os resultados dos cálculos e não apenas para a fantasia, mas também, de forma visível, para o olho, palpável para a mão, com gesso e papelão (BOLTZMANN, 1892, p. 16).

Para Boltzmann, os modelos icônicos seriam como uma extensão do pensamento. Isso se nos fica claro em duas passagens. Na primeira, diz Boltzmann (1902b, p. 382), “quando, portanto, empenhamo-nos para instrumentalizar [reificar] nossas concepções

⁸⁰ “Na ciência física, igualmente, modelos de forma imutável são amplamente empregados. Por exemplo, a operação de refração da luz em cristais pode ser descrita se imaginarmos um ponto no centro do cristal de onde a luz é disseminada em todas as direções. O conjunto de lugares em que a luz chega a qualquer instante após o início dessa operação é chamado de frente de onda (*wave-front*). Essa superfície é composta por duas ventosas (*cups*) ou lâminas (*sheets*) que se ajustam firme e exatamente uma à outra. Os dois raios em que um raio simples é dividido são sempre determinados pelos pontos de contato de certos planos tangentes representados naquelas lâminas. Com os cristais possuindo dois eixos, essas superfícies de onda apresentam singularidades peculiares no sentido já mencionado do termo: a lâmina interna tem quatro protuberâncias, enquanto a externa tem quatro depressões semelhantes a funis, sendo que o ponto mais baixo de cada depressão encontra o ponto mais alto de cada protuberância. Em cada um desses funis há um plano tangente que é tocado não em um único ponto, mas em um círculo que limita a depressão, de modo que o raio de luz correspondente seja refletido não em dois raios, mas em um cone inteiro de luz. Esta é a chamada refração cônica, prevista teoricamente por Sir W. R. Hamilton e detectada experimentalmente por Humphrey Lloyd. Essas condições, que são difíceis de expressar adequadamente pela linguagem, são autoevidentes assim que a superfície de onda formada na argamassa encontra-se diante de nossos olhos” (BOLTZMANN, 1902, p. 384).

[...] estamos simplesmente estendendo e continuando o princípio por meio do qual compreendemos os objetos no pensamento e os representamos por meio da linguagem ou na escrita”. Citamos também, (BOLTZMANN, 1902b, p. 386) outra passagem em que Boltzmann reitera essa posição, na qual ele diz “que esses modelos de madeira, metal e papelão são realmente uma continuação e integração de nosso processo do pensamento”. Esse grupo foi dividido por Boltzmann em dois subtipos: os modelos icônicos estáticos, que ele chama de imóveis, e os cinemáticos.



Modelos icônicos estáticos ou imóveis

Uma primeira exemplificação de modelos icônicos imóveis refere-se aos *modelos técnicos* empregados em fundições. Por sua vez, estes modelos podem ter aplicação em diversas áreas, como em tecnologia (engenharia) ou em fins artísticos (e.g., produção de moldes vazados a partir da técnica de cera perdida):

Em fundições, quer seja para fins de engenharia ou artísticos, o objeto do qual se deve tirar um molde normalmente é criado primeiro em algum material que pode ser facilmente trabalhado, em geral madeira. A forma desse modelo é reproduzida em argila ou argamassa e derrama-se o metal fundido no molde assim obtido. O escultor faz inicialmente um modelo do objeto que deseja esculpir em algum material plástico, como cera, e depois emprega artifícios engenhosos e complicados para transferir esse modelo de cera, fiel à natureza, para a pedra em que o trabalho final será executado (BOLTZMANN, 1902b, p. 381-382).

Boltzmann prossegue citando mais alguns tipos de modelos de ordem técnica, dentre os de tipo icônicos imóveis, mas agora com fins pedagógicos, configurando mais uma subclassificação de alguns tipos de *modelos técnicos*, agora, *didáticos* (e.g., peças anatômicas ou histológicas) aplicados ao ensino e estudo, portanto de ordem cognitiva:

Em anatomia e fisiologia, os modelos são empregados especialmente como auxiliares no ensino e nos estudos, e o método de modelagem ou cromoplastídio produz impressões excelentes de organismos vivos e permite a cópia de formas e cores em preparações anatômicas e médicas. Usa-se também um método especial para fazer modelos plásticos de objetos microscópicos. Para que sua natureza e estrutura internas possam ser mais facilmente estudadas, eles são divididos em vários cortes transversais paralelos, com seções extremamente finas, usando-se um micrótomo. Cada uma dessas fatias é modelada em uma escala ampliada em lâminas de cera ou polpa que são fixadas juntas para formar uma reprodução do objeto (BOLTZMANN, 1902b, p. 382).

Daremos agora exemplos de modelos de ordem cognitiva dentro desta categoria, dos icônicos imóveis, que acompanham suas teorias a fim de ajudar ao intelecto, intuitivamente, pelo contato visual, a compreender os termos teóricos de uma dada ciência. Outros modelos dessa mesma ordem cognitiva são configurados por Boltzmann para aplicação equivalente em geometria-descritiva e em topografia “quando, portanto, empenhamo-nos para instrumentalizar nossas concepções de espaço com figuras, usando os métodos da geometria descritiva e vários modelos de linha e objeto, nossa topografia, com plantas, mapas e globos” (BOLTZMANN, 1902b, p. 382).

Boltzmann cita mais alguns exemplos para ressaltar o caráter pedagógico-cognitivo do emprego de modelos icônicos imóveis, por exemplo

Na matemática pura, especialmente na geometria, os modelos construídos de papel machê e argamassa são empregados, sobretudo para apresentar aos sentidos a forma precisa de figuras geométricas, superfícies e curvas. As superfícies de segunda ordem, representadas por equações de segundo grau entre as coordenadas retangulares de um ponto, são muito simples de classificar e, portanto, todas as suas possíveis formas podem ser facilmente apresentadas com alguns modelos. Isso fica um pouco mais complicado quando linhas de curvatura, loxodrômicas e geodésicas, precisam aparecer em suas superfícies. Por outro lado, a multiplicidade de superfícies de terceira ordem é enorme e, para transferir seus tipos fundamentais, é necessário empregar vários modelos de construção complicada, para não dizer arriscada. No caso de superfícies mais complexas, basta apresentar aquelas singularidades que apresentam variação do tipo usual de superfície com curvaturas, sinclástica ou anticlástica, como uma borda ou ponta afiada, ou uma interseção da superfície com ela mesma. A elucidação de tais singularidades é de importância fundamental na matemática moderna (BOLTZMANN, 1902b, 383-384).

E também na Física, como aquele exemplo que demos na Figura 12, em que temos um modelo esculpido em gesso por Maxwell para representar as superfícies termodinâmicas de Gibbs:

Na termodinâmica, modelos similares também servem, dentre outros fins, para representar superfícies que apresentam a relação entre as três variáveis termodinâmicas de um corpo, por exemplo, entre sua temperatura, pressão e volume. Uma olhada no modelo de tal superfície termodinâmica permite perceber imediatamente o comportamento de uma determinada substância sob as mais variadas condições. Quando a ordenada corta a superfície somente uma vez, apenas uma fase do corpo é concebível, no entanto, onde há uma interseção múltipla, várias fases são possíveis, podendo ser líquidas ou gasosas. Nos limites entre essas regiões encontram-se as fases críticas, onde a transição ocorre de um tipo de fase para outro. Caso se escolha uma quantidade que ocorre na calorimetria para um dos elementos, a entropia, por exemplo, também são obtidas as informações sobre o comportamento do corpo quando o calor é calculado ou abstrato (BOLTZMANN, 1902b, p. 384).

Embora Boltzmann comece a apresentar tais exemplos de modelos icônicos técnicos e cognitivos de tipo imóveis, ele se mostra reticente em tomar alguns destes exemplos como modelos de fato, já que os considera como “uma analogia especial concreta em três dimensões”, a exemplo também das “analogias aritméticas”, mas que ainda preservam aquela condição de serem *como extensões de nosso pensamento* (BOLTZMANN, 1902b, p. 383):

Exatamente da mesma forma o microscópio ou o telescópio continua e multiplica as lentes do olho e o caderno de notas representa uma expansão externa do mesmo processo que a memória realiza de modo exclusivamente interno. Há também um óbvio paralelismo com a representação por meio de modelos quando expressamos a longitude, a milhagem, a temperatura etc. com números, que deveriam ser considerados como **analogias aritméticas**. De um tipo semelhante é a representação de distâncias com linhas retas, da trajetória de eventos no tempo com curvas etc. Entretanto não podemos falar legitimamente de modelos nem nesse caso, nem no de mapas, diagramas, notas musicais, figuras etc., já que eles envolvem uma analogia espacial concreta em três dimensões.

Esse ponto merece algumas elucubrações. Boltzmann fica reticente em assumir que os números, que por sua vez expressam propriedades e grandezas físicas (longitude, milhagem, temperatura), a partir de modelos mentais formalizados em nossas teorias, e.g., via funções e equações; e mesmo gráficos que podem ser representados a partir dos números, possam ser tomados como modelos de fato. Boltzmann diz que eles, os números, deveriam ser tomados como **analogias aritméticas**. Da mesma forma, mapas, figuras, diagramas e notação musical não deveriam ser tomados como modelos de fato, mas como **analogias espaciais concretas em três dimensões**.

Queremos destacar um detalhe: ao se mostrar reticente em considerar números, gráficos, mapas, etc., como modelos, Boltzmann já dá pistas de que eles poderão vir a ser considerados como modelos, já que modelo, enquanto representação, é representação de *algo*, real ou imaginário.

Tomemos o exemplo de números em termos de equações (a exemplo da discussão da sessão 5.1). Equações, por sua vez, podem ser tomadas então como um tipo específico de analogia (analogia aritmética). Ora, como veremos, quando Boltzmann fala de modelos enquanto representações mentais, *viz.* teorias, veremos como aos modelos ele associa a analogia, operacionalmente. Queremos dizer que os modelos funcionam via analogia, pois os modelos teóricos referem-se a algo, real ou imaginário, por analogia. O mesmo princípio pode ser estendido às equações (enquanto uma combinação de símbolos

numéricos orientados para um fim, qual seja, de descrever *algo*) e números, enquanto analogias aritméticas (e às analogias espaciais), eles podem ser tomados como modelos. Colocado de outra forma, tomando que números e equações são análogos a algo (e são também a expressão de uma teoria científica), e que a analogia é uma condição para termos um modelo operacional, pensamos que poderemos configurar números e equações em termos de modelo (enquanto modelos formais), no contexto Boltzmanniano.

Aliás, números e equações, tidos como um tipo específico de analogia (analogia aritmética, pois fazem referência a *algo*, por representarem *algo*), podem ser tomados como modelos que transitam entre os dois níveis de modelos que aqui falamos, os modelos puramente mentais, quando nos referimos a modelos teóricos formais (*viz.* equações, por exemplo) elaborados em pensamento. Também podem ser tomados como modelos icônicos, quando os números, via equações e gráficos, podem ser visualizáveis quando expressos, por exemplo, em livros textos, assim como “o caderno de notas representa uma expansão externa do mesmo processo que a memória realiza de modo exclusivamente interno” (BOLTZMANN, 1902b, p. 383). Ou seja, podemos representar as equações num ‘caderno’, reificando uma representação elaborada em nossas mentes. Segundo Nersessian (1999, p. 15): “A prática de modelagem é empregada tanto em um cenário experimental quanto em um teórico. O modelo é o modo de representação entre o fenômeno e a expressão numa linguagem (incluindo a matemática)”. Por fim, entendemos que equações e números, sendo algo análogo, podem ser tidos como tipos especiais de modelo. Em seu caráter reticente, Boltzmann começa a dar tais pistas de que números potencialmente podem ser modelos de algo.

Assim, aparentemente, a partir do verbete *Modelo*, os modelos dessa categoria de tipo icônicos imóveis parecem estar configurados. Ressaltamos aqui o valor cognitivo da maioria destes modelos enquanto extensão de nossos pensamentos, o que também valerá para o próximo subgrupo de modelos icônicos que veremos a seguir, “quando, [também], empenhamo-nos para instrumentalizar nossas [...] ideias mecânicas e físicas, com modelos cinemáticos” (BOLTZMANN, 1902b, p. 382).



Modelos icônicos cinemáticos

De acordo com Boltzmann:

Depois dos modelos imóveis até aqui considerados, seguem-se as formas complexas de modelos móveis, como as que são usadas na geometria para mostrar a origem das figuras geométricas a partir do movimento de outras – por exemplo, a origem das superfícies a partir do movimento das linhas. Isso inclui modelos de linha em que as linhas são desenhadas firmemente entre objetos móveis, tais como barras, fios, rodas, cilindros etc. (BOLTZMANN, 1902b, p. 385).

Vemos acima como os modelos icônicos cinemáticos ou dinâmicos também tem valor cognitivo para a Matemática e para a Geometria, o que valeria igualmente para a Física Teórica, abaixo:

Na mecânica teórica, os modelos são usados frequentemente para exibir as leis físicas do movimento em casos interessantes ou especiais – por exemplo, o movimento de um corpo em queda ou de um pião, o movimento de um pêndulo em função da rotação da Terra, os movimentos em vórtices dos fluidos etc. Assim como esses, há também os modelos que executam mais ou menos exatamente os movimentos hipotéticos por meio dos quais se pretende explicar os vários fenômenos físicos – por exemplo, as complicadas máquinas de onda (*wave-machines*) que apresentam o movimento das partículas como ondas de som (agora verificadas com mais precisão), ou o movimento hipotético dos átomos de éter em ondas de luz (BOLTZMANN, 1902b, p. 385).

O próprio Boltzmann idealizou alguns desses tipos de modelos⁸¹, como poderemos conferir nas figuras seguintes, enquanto complexos dispositivos mecânicos análogos a fenômenos eletromagnéticos (Figura 15) e termodinâmicos (Figura 16), para contribuir com a descrição e explicação destes fenômenos, no nível experimental e pedagógico:

⁸¹ “O próprio Maxwell e seus seguidores planejaram muitos modelos cinemáticos, projetados para oferecer uma representação da construção mecânica do éter como um todo, bem como dos mecanismos separados que funcionam nele: esses modelos são parecidos às velhas máquinas de ondas, até onde eles representam os movimentos de um mecanismo puramente hipotético” (BOLTZMANN, 1902b, p. 386).

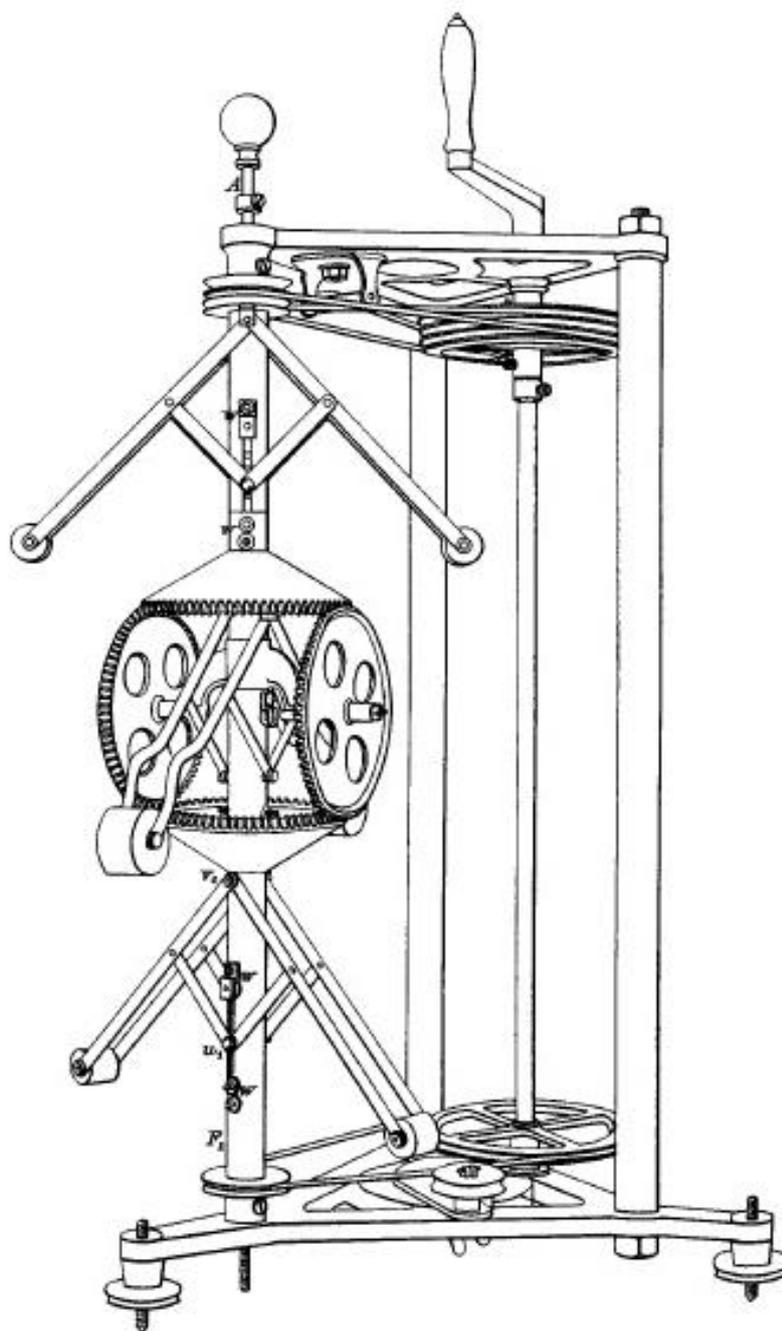


Figura 15 - Modelo mecânico de Boltzmann para a indução entre circuitos elétricos, de 1891⁸² (fonte: HARMAN, 1982, p. 150)

⁸² “Boltzmann inventou este modelo mecânico de trabalho [a partir do artigo de Maxwell de 1861, *Linhas físicas de força*] construído de acordo com suas especificações, para representar circuitos indutivamente acoplados. O fluxo de correntes elétricas e as interações entre os circuitos elétricos foram representados pela rotação de discos de malha, sendo a energia de uma corrente elétrica interpretada como dependente da velocidade de um disco rotativo. Boltzmann estabeleceu a identidade das equações de seu sistema mecânico e as de indução entre circuitos. [...] Boltzmann procurou descrever um modelo mecânico de trabalho, explicando sua estrutura e movimento em grande detalhe. Ele argumentou que as analogias mecânicas possuíam grande valor heurístico para esclarecer o significado da teoria da eletricidade de Maxwell” (HARMAN, 1982, p. 151).

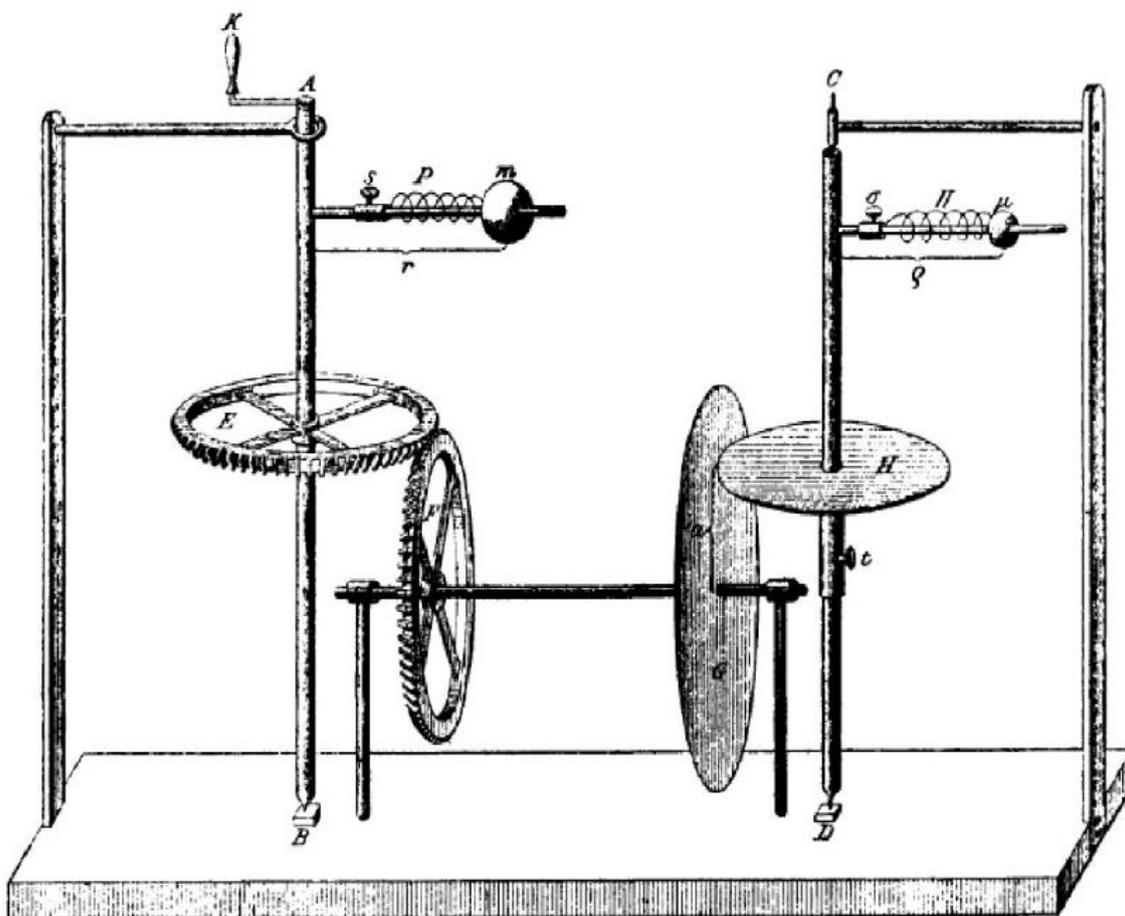


Figura 16 - Modelo mecânico de Boltzmann para ilustrar a 2ª lei da termodinâmica⁸³, de 1884 (fonte: HARMAN, 1982, p. 144)

⁸³ “Este modelo foi uma ilustração de um argumento desenvolvido por Helmholtz em 1884 para demonstrar a convertibilidade limitada de calor em trabalho como implica a segunda lei da termodinâmica (que afirmou que em um processo cíclico em que o calor de um corpo foi convertido em trabalho, o calor passaria do corpo quente para um mais frio). Helmholtz supôs que os movimentos moleculares em um gás eram análogos às rotações de uma roda sobre um eixo fixo, e que a energia da roda dependia apenas da sua velocidade angular. Se os dispositivos mecânicos estivessem conectados à roda, a energia do sistema também seria dependente de outras coordenadas, que poderiam ser variadas a uma taxa lenta comparada à velocidade de rotação. Helmholtz estabeleceu que a energia fornecida ao sistema como o calor, representado por uma mudança na energia cinética da roda (correspondendo a movimentos moleculares em um gás), não poderia ser completamente convertida em trabalho, representado por uma mudança lenta nos outros parâmetros do sistema mecânico (correspondente ao volume do gás). Embora Helmholtz tenha desmentido qualquer autoria em ter fornecido uma explicação mecânica da segunda lei da termodinâmica, afirmou que forneceu uma **analogia mecânica** para Termodinâmica baseado nas equações de um sistema mecânico. Ao ilustrar o argumento de Helmholtz em um modelo mecânico, Boltzmann explorou as implicações do análogo mecânico de Helmholtz para a termodinâmica. Por volta de 1877 Boltzmann formulou uma completa interpretação estatística para a segunda lei da termodinâmica, e ao elaborar uma interpretação mecânica a partir de Helmholtz, Boltzmann não recuou de sua visão de que esta lei seria irredutivelmente estatística. Ele queria explorar um análogo mecânico como uma maneira de analisar aspectos problemáticos de sistemas termodinâmicos, tais como a distinção entre calor e trabalho a nível molecular, enfatizando a distinção de Helmholtz entre as coordenadas moleculares de um sistema (correspondendo ao calor) e variação lenta de parâmetros (correspondendo ao trabalho) (HARMAN, 1982, p. 145).

Notamos, outrossim, como essa categoria de modelos também têm um valor cognitivo-experimental de ordem técnica quando

Na mecânica e engenharia [viz. engenharia mecânica], emprega-se uma variedade sem fim de modelos de trabalho para que seja possível visualizar o funcionamento das máquinas como um todo ou de seus componentes e peças secundárias (BOLTZMANN, 1902b, p. 385).

Estes tipos de modelos experimentais poderiam ser tomados como protótipos (modelos de prova), assim como já citamos quando Boltzmann comenta sobre a aviação falando sobre *modelos em escala* (ou congruentes): “Parece-me assim que o princípio do aeroplano movido a hélice é, teoricamente, o mecanismo com maiores chances de sucesso e o único até o momento capaz de realmente fazer decolar tanto *modelos* em pequena quanto em grande escala” (1894, p. 331).

Ainda em se tratando de modelos experimentais, dessa ordem icônica dentre os cinemáticos, Boltzmann cria, ao término de seu artigo, uma subdivisão própria, os *em escala tipo modelo de prova*:

Deve-se observar uma distinção entre os modelos que foram descritos e aqueles modelos experimentais que apresentam, em escala reduzida, uma máquina que será posteriormente finalizada em uma máquina maior, de modo a oferecer uma prova de suas capacidades. É necessário notar aqui que uma mera alteração nas dimensões normalmente é suficiente para causar uma alteração material na ação, já que as diversas capacidades dependem de maneiras variadas das dimensões lineares. Por exemplo, o peso varia como o cubo das dimensões lineares, a superfície de qualquer peça simples e os fenômenos que dependem de tais superfícies são proporcionais ao quadrado, ao passo que outros efeitos – tais como o atrito, a expansão, a condução de calor etc. – variam de acordo com outras leis. Uma máquina voadora, portanto, que quando feita em pequena escala é capaz de suportar seu próprio peso, perde seu poder quando suas dimensões são aumentadas. [...] Em condições simples, pode-se afirmar frequentemente que, em comparação com uma máquina grande, uma máquina pequena tem a mesma capacidade em relação a um padrão de tempo que deve ser reduzido em uma certa proporção (BOLTZMANN, 1902b, p. 388).

E outros tipos de mecanismos, que ele também considera como modelos experimentais com finalidade de pesquisa e de instrução (portanto igualmente guardando um valor cognitivo), embora não sejam desse tipo em escala como protótipo, quais sejam, diz Boltzmann (BOLTZMANN, 1902b, p. 388-389):

É claro que os modelos experimentais não são apenas aqueles em que se empregam exclusivamente forças mecânicas, mas também incluem modelos de mecanismos térmicos, eletromagnéticos e outros, por exemplo, dínamos e máquinas telegráficas. A maior coleção de tais modelos encontra-se no museu do Escritório de Patentes de Washington. Às vezes, para fins de pesquisa e instrução, os modelos funcionam com forças que não são exclusivamente

mecânicas. Regularmente, uma série de processos naturais – tais como o movimento de líquidos, o atrito interno dos gases e a condução de calor e eletricidade em metais – pode ser expressa pelas mesmas equações diferenciais e é possível, com a mesma frequência, seguir um desses processos em questão por meio de medições – por exemplo, a condução de eletricidade mencionada. Se um modelo revelar um caso particular de condução elétrica no qual as mesmas condições mantêm-se no limite, como em um problema de atrito interno dos gases, poderemos determinar imediatamente, por meio de uma medição da condução elétrica no modelo, os dados numéricos que se obtêm para casos análogos de atrito interno, e que, de outro modo, só poderiam ser verificados por cálculos complexos. Ademais, os cálculos complicados podem ser dispensados frequentemente com a ajuda de dispositivos mecânicos, tais como as engenhosas máquinas de calcular que realizam adições e subtrações, além de multiplicações e divisões bastante elaboradas, com velocidade e precisão surpreendentes, ou os mecanismos para resolver equações mais complexas, determinar o volume ou a área de figuras geométricas, realizar integrações e desenvolver uma função em uma série de Fourier por meios mecânicos.

Colocados dessa forma os modelos icônicos cinemáticos, enquanto analogias espaciais tridimensionais móveis, poderiam ser reorganizados nos seguintes em dois subgrupos: (a) os em escala (protótipos de prova, que também podem ser tomados como experimentais); e (b) os não congruentes, em que poderíamos considerar (b₁) aqueles puramente pedagógico (e.g., dispositivo de linhas usado em geometria) e (b₂) aqueles mecanismos também de tipo experimental, porém não-escalares (para teste de teorias; e.g., Fig. 15 e 16). Consideremos que todos estes modelos, a depender da finalidade de sua aplicação, têm sentido pedagógico-cognitivo quanto heurístico.



Ao configurarmos os *modelos icônicos* dessa forma, ressaltamos que todos apresentam um forte componente cognitivo, assim que associados à pesquisa científica teórica e experimental, da mais abstrata a mais técnica, seja em nível pedagógico quanto heurístico, incluindo aqueles modelos exemplificados inicialmente, como os modelos tipo-réplica com aplicações em engenharia e aplicações artísticas específicas (como a de fazer um molde para obtermos sucessivas réplicas partir de um modelo inicial – em cera, em madeira, etc. – para tais fins), que embora possam parecer, à primeira vista, pouco heurísticos e de alta tecnicidade, se aplicados, por exemplo, ao processo de instrução, também podem ser tidos como modelos de valor cognitivo em sentido pedagógico quanto heurístico, pois, uma das funções cognitivas dos modelos icônicos é a de serem, enquanto componente explicativo, um complemento às teorias.

Passemos agora ao próximo grupo de modelos, quais sejam, aqueles modelos de tipo *representações mentais* (considerados também como idealizações, simulacro, potencialmente modelos nômicos) que, em acordo com a classificação canônica, poderiam ser tomados como modelos teóricos, aos quais atribuímos as propriedades de analogia e similaridade.



Modelos teóricos ou representativos

De forma homóloga ao tratamento que Boltzmann dá aos modelos dos engenheiros e dos artistas, que são aqueles modelos tipo-réplicas de algo (e.g., um padrão em cera que modelará uma escultura), Boltzmann considera nossas representações em pensamento como modelos. “Nessa perspectiva, os pensamentos representam coisas na mesma relação pela qual os modelos representam objetos”, diz Boltzmann (BOLTZMANN, 1902b, p. 382)

Ao procurar descrever esta classe de modelos, não falamos no sentido *Af*, mas no sentido *Ap*, inevitavelmente Boltzmann envereda pela Filosofia com sua *Bildtheorie* entrincheirada no texto do artigo. Ou seja, ‘enxergamos’ como a sua concepção-*Bild* ‘exala’ intensamente do verbete *Modelo*.

Boltzmann, tendo por base sua concepção-*Bild*, enxerga a importância dos modelos para a Ciência, e também reflete sobre seu tempo: “A importância variável que recentemente se associa a modelos desse tipo está intimamente ligada às mudanças que vêm ocorrendo em nossas concepções de natureza” (BOLTZMANN, 1902b, p. 385). Ou seja, entendemos por importância variável, as tensões entre posições filosóficas e metacientíficas e o momento de revisão metodológica, ontológica e conceitual que as Ciências da Natureza vinham passando.

Boltzmann (1902b, p. 386) comenta que “no entanto, embora antigamente se acreditasse que era tolerável assumir com um grande indício de probabilidade a existência real de tais mecanismos na natureza, atualmente os filósofos postulam que não há nada além de uma semelhança parcial entre o fenômeno visível em tais mecanismos e aqueles que aparecem na natureza”, ou seja, se por um lado antigamente tinha-se uma visão mais

realista ingênua, em seu tempo, as teorias já não mais eram consideradas como reflexos verdadeiros do mundo.

Lembremos, a ideia de que nossas representações mentais são subjetivas está entrincheirada na *Bildtheorie* de Boltzmann. Representações são subjetivas, pois só podem existir dentro do próprio eu. Uma representação deste tipo não cobre em absoluto a natureza e não revela verdades do mundo. A busca pela essência deixaria de ser uma questão relevante e relevante seria nossos modelos teóricos representarem por analogia, *algo* no mundo. ou seja, nossas representações mentais como imagens subjetivas não refletem a realidade e são, portanto, analógicas: nossas teorias são análogos. Diz Boltzmann: “Quando a questão deixa de ser a verificação da estrutura interna real da matéria, muitas analogias mecânicas ou ilustrações dinâmicas tornam-se disponíveis com diferentes vantagens.” (BOLTZMANN, 1902b, p. 385).

Portanto, imbuído do seu *espírito Bild*, Boltzmann procura configurar o que os modelos representacionais teóricos *são*, sob o conceito de analogia, uma conjunção de conceitos:

Os modelos são de grande importância nas ciências matemáticas, físicas e mecânicas. Há muito tempo a filosofia percebeu a essência do processo de pensamento, que consiste no fato de que, **aos vários objetos reais à nossa volta, associamos atributos físicos particulares – conceitos – e, por meio deles, tentamos representar os objetos nas nossas mentes.** Outrora, os matemáticos e físicos consideravam tais visões como nada além de especulações improdutivas, mas recentemente eles foram levados por J. C. Maxwell, H. v. Helmholtz, E. Mach, H. Hertz e muitos outros a uma proximidade maior com o conteúdo integral das teorias matemáticas e físicas. Nessa perspectiva, os pensamentos representam coisas na mesma relação pela qual os modelos representam objetos. A essência do processo [de analogia] é a associação de um conceito que tem um conteúdo definido a cada coisa, mas sem implicar uma similaridade completa entre a coisa e o pensamento. Naturalmente só podemos saber pouco da semelhança de nossos pensamentos com as coisas às quais os associamos. A semelhança que há encontra-se, sobretudo, na natureza da conexão, sendo a correlação análoga àquela que se obtém entre o pensamento e a linguagem, a linguagem e a escrita, as notas na pauta e os sons musicais etc. É claro que aqui a simbolização da coisa é o ponto importante, embora se vise, onde exequível, a máxima correspondência possível entre os dois – um exemplo é a escala musical, que é imitada quando se usam as notas mais altas ou baixas (BOLTZMANN, 1902b, p. 382).

Notemos que para definir analogia (um processo de associação – ou correlação análoga – sem similaridade completa entre as partes, o modelo e o modelado), e, por conseguinte, qual a natureza dos modelos teóricos, Boltzmann recorre à Filosofia para embasar o representacionalismo de sua concepção-*Bild* (quando Boltzmann diz que a

Filosofia *percebeu a essência do nosso pensamento*, sob um viés psicologista, na verdade expressa um ponto de vista seu que não necessariamente é compartilhado por toda a Filosofia) em termos de sua visão mecânico-estatística de natureza. Diz Boltzmann:

De acordo com a perspectiva em questão, a teoria física é meramente uma construção mental de modelos mecânicos, cujo funcionamento nós mesmos planejamos por meio da analogia com mecanismos que seguramos em nossas mãos, e que, por terem tanto em comum com os fenômenos naturais, podem ajudar-nos a compreendê-los (BOLTZMANN, 1902b, p. 386).

Aqui, também fica claro o aspecto cognitivo dos modelos sob a ótica mecanicista de Boltzmann (os fenômenos naturais, aparentemente mecânicos, seriam melhor representados por analogias mecânicas)⁸⁴. Depois de configurar a analogia, Boltzmann, ademais, nos dá exemplos de como a ciência funciona, mostrando breves estudos de caso sob este viés *analógico-representacionista* das teorias (revelando, de mais a mais, como os filósofos e cientistas podem entender a dinâmica da ciência – e não só sua história – e as mudanças conceituais, de forma crítica, via análise dos modelos analógicos teóricos). Boltzmann fala, em seguida, de uma primeira fase (meanicista) na Física, que seria uma fase realista, para depois mostrar uma mudança de abordagem conceitual via uma postura maxwelliana de tratar as teorias como análogos:

O primeiro método pelo qual se tentou resolver o problema do universo estava totalmente sob a influência das leis de Newton. Em analogia com as suas leis da gravitação universal, todos os corpos eram concebidos como compostos de pontos materiais – átomos ou moléculas – aos quais era atribuída uma ação direta a distância. As circunstâncias dessa ação a distância, entretanto, foram concebidas diferentemente daquelas da lei de atração newtoniana, na qual elas poderiam explicar as propriedades não apenas de corpos elásticos sólidos, mas também de fluidos tanto líquidos quanto gasosos. Os fenômenos do calor eram explicados pelo movimento de partículas minúsculas absolutamente invisíveis a olho nu, enquanto para explicar os fenômenos da luz assumia-se que um meio impalpável, chamado de éter luminífero, permeava todo o universo. A ele foram atribuídas as mesmas propriedades dos corpos sólidos e também se supunha que era constituído de átomos, embora de uma composição bem menor. Para explicar os fenômenos elétricos e magnéticos, admitiu-se uma terceira espécie de matéria – fluidos elétricos, que eram concebidos como sendo mais da natureza dos fluidos, mas ainda compostos de partículas infinitesimais, também atuando diretamente umas sobre as outras a distância. Essa primeira fase da física teórica pode ser chamada de direta, já que toma como principal objeto a investigação da estrutura interna da matéria como ela realmente existe. Ela também é conhecida como teoria mecânica da natureza, já que busca remontar às origens de todos os fenômenos naturais até os movimentos das partículas infinitesimais, ou seja, até os fenômenos puramente mecânicos (BOLTZMANN, 1902b, p. 385-386).

⁸⁴ Lembremos que no momento histórico de Boltzmann ocorria uma revisão do mecanicismo enquanto imagem de natureza adequada e que Boltzmann era um defensor de uma imagem mecânico-estatística de natureza. Mais um problema de seu tempo refletido no artigo via defesa ao mecanicismo.

Pelo método da analogia (ou, dito de outra maneira, via modelos teóricos), Boltzmann mostra como uma teoria pôde projetar um princípio em outra teoria. Vemos um encadeamento histórico de analogias, ou seja, como uma teoria pode desenvolver outras teorias via analogia, a assim sucessivamente. No exemplo de Boltzmann, a partir dos princípios de gravitação de Newton, postulou-se entidades – como átomos e moléculas – enquanto veículos para explicar a ação à distância. Por sua vez, por analogia, inferiu-se que algum tipo de fluido poderia ser o veículo, ou o meio, para explicar a transmissão de calor (o calórico). Para o eletromagnetismo, inferiu-se um fluido elétrico, para a luz, o éter luminífero. Isso em um momento da Ciência quando se levava em conta a preocupação com as essências sob uma ótica realista e ingênua, que ele chama de primeira fase mecanicista⁸⁵ da Ciência, que postula sobre o imponderável. Em seguida, Boltzmann mostra a mudança conceitual de uma fase subsequente da Ciência e, por conseguinte, metodológica da Ciência, propriamente, a partir de Maxwell:

Ao explicar os fenômenos magnéticos e elétricos, é inevitável recair em hipóteses um tanto artificiais e improváveis, e isso induziu J. Clerk Maxwell, adotando as ideias de Michael Faraday, **a propor uma teoria de fenômenos elétricos e magnéticos que não só era nova em substância, mas também essencialmente diferente na forma.** Se os átomos e moléculas da teoria antiga não eram para ser concebidos como pontos matemáticos exatos no sentido abstrato, então suas verdadeiras natureza e forma deveriam ser consideradas como absolutamente desconhecidas, e seus agrupamentos e movimentos, exigidos pela teoria, deveriam ser estimados simplesmente como um processo mais ou menos parecido com o funcionamento da natureza e representando mais ou menos exatamente certos aspectos incidentais desse funcionamento. Com isso em mente, Maxwell propôs determinadas teorias físicas que eram exclusivamente mecânicas até onde elas se originavam de uma concepção de processos puramente mecânicos. Mas ele estabeleceu de modo explícito que não acreditava na existência de agentes mecânicos assim constituídos na natureza, e que os considerava apenas como meios pelos quais os fenômenos poderiam ser reproduzidos, guardando certa similaridade com aqueles que realmente existem, e que também servem para incluir maiores grupos de fenômenos de uma maneira uniforme e para determinar as relações que possuem em seu caso (BOLTZMANN, 1902b, p. 386).

⁸⁵ Abrantes procura esclarecer que a tese que se tem da ciência moderna como sendo fundamentada numa visão mecanicista da Natureza, sobretudo na Física, durante e após a Revolução Científica, é algo incompleta e simplificadora. O autor evidencia que duas imagens de natureza coexistiram, a saber: o **mecanicismo** e o **dinamismo**. Essas duas imagens tinham muitos aspectos antagônicos. Um notório exemplo é o caso de Isaac Newton, que não deveria ser categorizado como um mecanicista estrito. Segundo Abrantes, Newton, na verdade, foi um dinamista que criticou (assim como outros muitos cientistas do século XVII) a visão estritamente mecanicista da natureza. *Grosso modo*, o dinamismo entendia que a matéria e todos os fenômenos naturais são manifestações de uma *força*, enquanto o mecanicismo entendia a matéria como essencialmente passiva. Logo, a crítica newtoniana diz respeito ao fato desta passividade não dar conta de “explicar a diversidade de fenômenos materiais que constituem manifestações inequívocas de atividade na natureza” (Cf. ABRANTES, 1998, p. 73). De mais a mais, ao largo do Renascimento, uma visão de mundo animista sobreviveu sob o modo mecanicista de se entender o mundo, permitindo que princípios de atividade na forma de partículas especiais ou fluidos fossem introduzidos para dar conta de explicar as atividades espontâneas do mundo físico que o mecanicismo não conseguia abarcar (ABRANTES, 1998, p. 77).

Mais uma vez apoiado sobre os ombros de Maxwell, Boltzmann nos apresenta outra versão mais detalhada do método de analogia física e mostra essa mudança de visão científica de um realismo para um tipo de instrumentalismo (e.g., átomos e moléculas passam a ser concebidos como pontos matemáticos exatos no sentido abstrato), em que enxergamos ademais, ecos de sua defesa ao atomismo analógico-matemático (vide seção 5.1). Ressaltamos, aliás, mais um papel que Boltzmann e Maxwell atribuem às teorias científicas, o de conseguirem incluir maiores grupos de fenômenos, e, por conseguinte, a criação de novos modelos, sob os auspícios de uma teoria mais geral e frutífera: “Na verdade, Maxwell empregou primeiro arranjos mecânicos especiais e complicados, embora depois eles tenham sido tornados mais gerais e indefinidos. Essa teoria – assim são chamadas as analogias mecânicas – conduz à construção de vários modelos mecânicos” (BOLTZMANN, 1902b, p. 386).

Isto posto, Boltzmann nos oferece exemplos de modelos teóricos via diferentes abordagens, a saber a abordagem fenomenológico-matemática, a fenomenologia pura e o energetismo. Teríamos, assim, em primeiro lugar, modelo teórico fenomenalista-matemático como aquele que deu um passo maior que o de Maxwell (em que subjaz uma crítica ao movimento de matematização da Física – de construir modelos puramente matemáticos dos fenômenos – e a já discutida tensão entre métodos, o explicativo e o descritivo⁸⁶):

Kirchhoff definiu seu próprio objetivo como sendo descrever, e não explicar, o mundo do fenômeno, mas, dado que ele não explica como fazer isso, sua teoria difere um pouco da teoria de Maxwell tão logo recorre à descrição usando modelos mecânicos e analogias. Agora que os recursos da matemática pura vêm sendo ajustados particularmente à descrição exata das relações quantitativas, a escola de Kirchhoff deu grande ênfase à descrição por meio de expressões e fórmulas matemáticas, e o objetivo da teoria física passou a ser considerado, sobretudo, como sendo a construção de fórmulas por meio das quais os fenômenos nos vários ramos da física devem ser determinados com a maior aproximação da realidade. Essa visão da natureza da teoria física é conhecida como fenomenologia matemática; trata-se de uma apresentação do fenômeno por meio de analogias, embora somente por meio de analogia possa ser chamada matemática (BOLTZMANN, 1902b, p. 387).

A crítica implícita no excerto acima é sobre a discussão da necessidade de os cientistas usarem modelos icônicos e teóricos diversos para tentar explicar e tornar mais

⁸⁶ “Entretanto, a controvérsia entre Boltzmann e os fenomenalistas (por exemplo, Mach e Kirchhoff) não diz respeito apenas à interpretação epistemológica das teorias, mas também à questão de se o objetivo da ciência é explicativo ou descritivo. Enquanto Mach e Kirchhoff consideravam que o objetivo da ciência era a mera descrição (econômica) dos fenômenos observáveis, Boltzmann sustentava que a ciência deve se empenhar atrás das explicações dos fenômenos” (DE REGT, 1999, p. 118).

intuitivo o conhecimento científico, e não apenas em termos de analogia teórica formal descritiva.

Em seguida Boltzmann apresenta o modelo de Mach, que ele chama de fenomenologia geral:

Outra fenomenologia no sentido mais amplo do termo, defendida principalmente por E. Mach, concede menos importância à matemática, mas considera que foi muito rapidamente adotada a concepção segundo a qual os fenômenos de movimento são essencialmente os mais fundamentais de todos. Ele também enfatiza a maior importância da descrição nos termos mais gerais das várias esferas de fenômenos e sustenta que se apliquem sua própria lei fundamental e as noções daí derivadas a cada esfera. Essa teoria considera o uso de analogias e elucidaciones de uma esfera por outra – por exemplo, calor, eletricidade etc. por concepções mecânicas – como meros auxiliares à percepção, que são necessários ao desenvolvimento histórico, mas que, ao longo do tempo, dão lugar a outros ou desaparecem totalmente do domínio da ciência (BOLTZMANN, 1902b, p. 387).

E contrapõe esses modelos ao energetismo:

Todas essas teorias são contrárias a outra que se chama energética (no sentido mais restrito), que considera a concepção de energia, e não a matéria, como a noção fundamental de toda a pesquisa científica. Ela se fundamenta essencialmente nas similaridades que a energia apresenta em suas várias esferas de ação, mas ao mesmo tempo toma uma posição firme sobre uma interpretação ou explicação dos fenômenos naturais por analogias que, entretanto, não são mecânicas, mas lidam com o comportamento da energia em seus vários modos de manifestação (BOLTZMANN, 1902b, p. 387).

Entendemos que, com isso, Boltzmann queria mostrar ao leitor exemplos de modelos, tomados como teorias. Portanto aqui, ele tipifica o que já chamamos de *teoria-come-modelo*. Mas não apenas, vemos como Boltzmann mostra como a Ciência é plural e como teorias diferentes convivem.

Outro ponto que gostaríamos de ressaltar. Quando Boltzmann relaciona aqui abordagens concorrentes à sua abordagem mecânico-estatística, ao tipificar toda teoria científica como uma representação no pensamento - analógica, abstrata, idealizada - do mundo, todas, enquanto modelos teóricos, encontram-se num mesmo patamar em que nenhuma teoria teria a palavra final, posto que nenhuma poderia ser uma representação verdadeira do mundo e apenas poderiam descrever mecanismos por meio de uma forte analogia com o fenômeno o natural. Desta forma, também conseguimos enxergar aqui, ecos de sua defesa ao modelo atomista que Boltzmann sustentava.

Com estas análises de Boltzmann de teorias-como-modelo, sob a parcialidade de sua concepção-*Bild*, ele pôde mostrar mais três coisas: (a) como um modelo pode suplantar outro, desde aquele modelo mais ingênuo e realista que começaria com Newton até um modelo mais sofisticado, porém mais útil e simples, da analogia física de Maxwell; e (b) um retrato da Física de seu tempo; (c) e também mostrar como a Ciência é; um cenário de competição teórica entre modelos. Ou seja, Boltzmann, de uma forma geral, mostra que, via modelos, podemos interpretar o raciocínio científico e entender as mudanças conceituais pelas quais a Ciência passa, revelando como os modelos podem ser ferramentas metacientíficas úteis.

Conforme o cenário científico vai sofisticando-se e as ciências ampliando os seus domínios de aplicação pretendidos e transformando-se, se faz recomendável o emprego de modelos. Com os exemplos acima, Boltzmann pôde mostrar como a Ciência progride, como se desse a ideia de suplantações e competições. Por seu turno, a fim de defender o emprego dos modelos em Ciência, ele argumenta que os modelos seriam os melhores representantes para dar conta de uma quantidade de dados cada vez mais crescente, em consonância com os valores cognitivos de economia e simplicidade, ressaltando o poder cognitivo que os modelos, em geral, como os icônicos e os teóricos, conferem às teorias como complemento às concepções abstratas (*viz.* matemáticas):

Enquanto o volume de material com o qual a ciência lidava era insignificante, a necessidade de empregar modelos era naturalmente menos imperativa; na verdade, há vantagens evidentes em compreender as coisas sem recorrer a modelos complicados, que são difíceis de fazer e não podem ser alterados e adaptados a condições extremamente variadas de maneira tão fácil quanto são os símbolos do pensamento, da concepção e do cálculo. No entanto, conforme os fatos da ciência aumentaram em número, foi necessário observar uma maior economia de esforço para abrangê-los e transmiti-los aos outros, e o sólido estabelecimento de demonstrações visuais foi inevitável, em vista de sua enorme superioridade sobre o simbolismo exclusivamente abstrato, para obter uma rápida e completa exibição de relações complicadas. Atualmente é desejável, por um lado, que o poder de deduzir resultados de premissas puramente abstratas, sem recorrer à ajuda de modelos tangíveis, seja mais aperfeiçoado; por outro lado, é desejável que concepções puramente abstratas sejam auxiliadas por modelos objetivos e abrangentes nos casos em que a quantidade de material não possa ser direta e adequadamente tratada (BOLTZMANN, 1902b, p. 383).

Aliás, mais um ponto deve ser destacado. Os modelos seriam uma forma econômica, além de úteis, da Ciência lidar com os seus dados empíricos crescentes, ou seja, os modelos estariam em consonância com o princípio filosófico aplicado à Ciência da *Denkökonomie*.

Vide Fig. 17, em que fazemos uma atualização do esquema de modelos em Boltzmann apresentado na Fig. 14, agora com maiores detalhes que naquela versão simplificada.

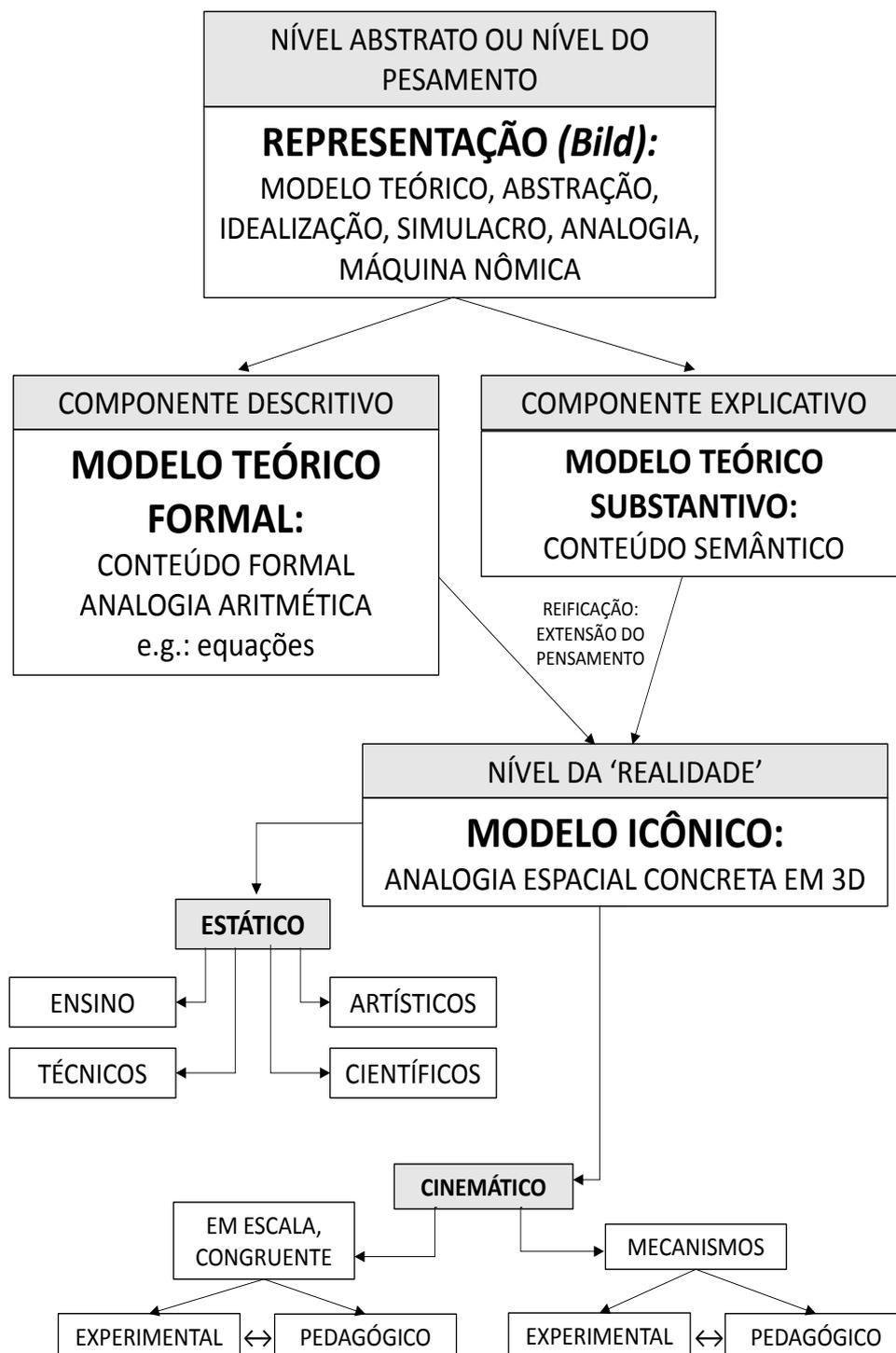


Figura 17: Esquema para classificação de modelos em Boltzmann (adaptando alguns termos canônicos ao esquema).

A partir de um artigo não científico como este (e pouco imparcial), que era um verbete para uma enciclopédia popular, podemos enxergar em Boltzmann um esforço filosófico de posicionar-se em defesa de suas concepções! Com esta defesa ao emprego de modelos nas Ciências (em que subjazem muitas outras defesas de Boltzmann às tensões de seu tempo acerca do fazer científico), e por meio das tipificações que Boltzmann constrói acerca do conceito de modelo e ao poder cognitivo que se lhe é conferido (em vários níveis, científico, metacientífico e pedagógico), ao compararmos, sem anacronismos, aos filósofos da ciência contemporâneos, os quais revisamos na seção 7.1, vemos como Boltzmann possuía uma posição filosófica e propostas metacientíficas modernas. À sua maneira, Boltzmann pôde ensinar muito ao nosso tempo.

Já tivemos alguns vislumbres do papel da noção de modelo empregado às ciências em Boltzmann ao analisarmos seu artigo *Modelo*. A seguir procuraremos discutir sobre o papel da noção de modelo em Boltzmann relacionando-o à sua concepção-Bild em uma análise mais fina para evidenciarmos a tessitura dessa relação.

7.3. O papel da noção de modelo em Boltzmann

“Mas a ciência continua a ser uma atividade representacional em que os cientistas são vistos como sendo mais ou menos bem sucedido em construir modelos que na verdade representam vários aspectos do mundo.”
Ronald Giere (1999a, p. 61)

“O objetivo da ciência não é ‘uma história literalmente verdadeira de como é o mundo’, mas meramente a produção de modelos similares a aspectos limitados do mundo de maneiras determinadas pelo contexto.”
Ronald Giere (2005, p. 154)

Analisar o papel da noção de modelo em termos da concepção-Bild de Boltzmann é o propósito desta seção. Adiantamos que a interpretação de modelo, dentro do nosso escopo, será dada em termos de “ferramenta epistêmica” (KNUUTTILA, 2001, p. 267), cuja função cognitiva se destaca, posto que “raciocinar sobre o mundo é principalmente raciocinar com modelos” (GIERE, 1999b, p. 54).

Diante deste propósito, através dos capítulos que trabalhamos até aqui, façamos algumas reconstruções sumárias ao contexto, ou seja, aos eventos que estejam relacionados ao conceito e ao emprego de modelo em Boltzmann. Por meio disso, cremos, conseguiremos selecionar as componentes essenciais para essa análise.



No capítulo 2, em que apresentamos uma breve biografia acadêmica e científica de Boltzmann, vislumbramos que, nos idos do século XIX, Boltzmann vivenciou conflitos com seus pares. Tracemos alguns comentários sobre estes conflitos, à luz do conteúdo tratado ao longo do texto.

Sua defesa ao emprego de modelos em Física, bem como na Ciência, tem raízes importantes nos *conflitos científicos e filosóficos* vivenciados por Boltzmann. Conflitos estes, que fomos mostrando ao longo do texto, em seguida, relacionados às tensões de tipo, sobretudo, entre descritivismo e explicativismo, realismo e instrumentalismo. Subjaz a estes conflitos a revisão de crenças científicas mecanicistas. Vimos acima, que uma imagem de natureza meramente mecanicista não parecia suficiente e compatível para descrever e explicar os fenômenos frente à uma visão eletromagnética de natureza que ganhava corpo e pretendia suplantar aquela primeira.

Segundo Blackmore (1999b, p. 160), o final do século XIX, sobretudo em território germânico e austríaco, teorias científicas e metacientíficas (dentre as quais o convencionalismo de Poincaré teve influência, como em Mach) sustentavam epistemologias antimetafísicas extremas, como “o elementismo de Mach, o energetismo de Ostwald, e, especialmente, a visão de mundo eletromagnética”. Por outro lado, havia a teoria de Maxwell⁸⁷ de que imagens (*pictures*) e modelos equivaleriam a “representações heurísticas do mundo físico real” (BLACKMORE, 1999b, p. 161) e a *Bildtheorie* de Hertz que implicava na “tese de que nossas *ideias físicas e matemáticas* constituem *modos de representação* dos fenômenos” (ABRANTES, 1992, p. 356), que

⁸⁷ “Maxwell tratou os átomos como duras esferas elásticas. Contudo, ele adiantou que sua teoria seria uma ‘analogia física’, seria dizer que, ela não pretende ser uma descrição literal da realidade que subjaz aos fenômenos dos gases, mas ela apenas descreve similaridades (parciais) entre as leis do calor e as leis da mecânica. [...] Maxwell aderiu à uma concepção analógica das teorias científicas” (DE REGT, 2005, p. 211).

muito influenciaram Boltzmann (além de um forte representacionalismo). Boltzmann entendia que a geração de modelos, enquanto representações mentais, teria um grande valor cognitivo no âmbito pedagógico e, sobretudo, heurístico, quando este último é associado ao método hipotético-dedutivo. De acordo com Boltzmann (1899b, p. 107):

Agora não há dúvida de que um particular modo de representação tenha suas vantagens peculiares, embora pensemos que também tenha defeitos. Este modo consiste em começar uma operação com abstrações mentais, em consonância com a nossa tarefa de apenas construir imagens internas. Nisto, nós ainda não levamos em conta os fatos da experiência. Nós meramente nos esforçamos em desenvolver nossas imagens mentais tão claramente quanto possível e extrair delas todas as conseqüências possíveis. Apenas mais tarde, depois de completarmos a exposição da imagem, nós testaremos suas concordâncias com os fatos da experiência; é, então, somente após o evento que damos razões pelas quais a imagem teve que ser escolhida assim e não de outra maneira, um assunto sobre o qual não damos a menor sugestão prévia. Chamemos isto de representação dedutiva. Suas vantagens são óbvias.

Em meio às tensões conceituais entre as abordagens supracitadas, surgiam também tensões de ordem metodológica, ou seja, a cada uma destas teses científicas, acompanhavam imperativos hipotéticos metodológicos. A visão antimetafísica das teses epistêmicas mais radicais contraindicavam a aplicação do método hipotético-dedutivo. A aritmetização da Física prescrevia uma descrição econômica dos fenômenos via expressão matemática, e.g., equações diferenciais, sem a necessidade de explicações causais adicionais e hipotetizações, e Boltzmann “confrontou aquela receita do simbolismo aritmético que, como um guia, liberar-nos-ia das garras da intuição (considerados como pensamentos habituais), e promoveu que unicamente a construção de novos objetos assim como a exploração de caminhos de investigação inteiramente imprevistos” (DE COURTENAY, 2002, p 109), nos levariam às descobertas. As posturas antimetafísicas e a de matematização dos fenomenologistas, por sua vez, coibiriam a liberdade de o cientista elaborar hipóteses. Boltzmann, em meio a tais condutas, enxergava uma possibilidade de perda cognitiva. Em primeiro lugar, as explicações têm um valor pedagógico importante, “se as explicações foram vistas como provedoras de entendimento onde entendimento seja uma atividade cognitiva” (BAILER-JONES, 1999, p. 35). Em segundo lugar, a elaboração de modelos (viz. imagens mentais, representações), de acordo com o método hipotético dedutivo, ou de representação dedutiva, traria vantagens óbvias para a Ciência, via ultrapassagem da experiência, no tocante às descobertas, quando elaboramos modelos. Como assevera Dutra (2006, p. 258), “os modelos científicos verdadeiros não são [apenas] recursos pedagógicos para

explicarmos o que já sabemos, mas recursos de pesquisa para conhecermos o que ainda não conhecemos”.

Portanto, em meio aos conflitos, Boltzmann procurou mostrar o papel heurístico do modelo (além do pedagógico, vide exemplos de modelos didáticos na seção anterior), que serviria como “inspiração contínua para novas experiências, transformando-se em guias para descobertas completamente insuspeitadas” (BOLTZMANN, 1904, p. 166).

A defesa de Boltzmann à elaboração de modelos (ou de imagens mentais, *Bilder*), em meio às revisões e debates em seu tempo, consistiria em uma defesa, enfim, da criatividade e da intuição científicas; elas não representariam um retrocesso à Ciência, ao contrário.



No capítulo 4, evidenciamos a imagem mecânico-estatística da ICN de Boltzmann. Lembramos aqui que, ao assumir uma imagem de natureza deste tipo, implica não necessariamente falar sobre a essência da Natureza, embora Boltzmann fosse um defensor do mecanicismo. Mas o estatuto da probabilidade tem uma implicação epistemológica, ao final, representando uma *medida de ignorância* que temos acerca das interações possíveis entre grandezas físicas atribuídas às propriedades dos eventos, o que apenas habilitar-nos-ia a falar sobre os fenômenos em termos estatísticos. Certezas e verdades absolutas sobre o mundo, a não ser a um *demônio laplaciano*, portanto, nos seriam vedadas. Disse Boltzmann: “Assim, certamente há processos [físicos] que independem de nosso pensamento [...] e da nossa volição e cuja existência é ‘objetivamente correta’, mas que não são cognoscíveis por nós” (1897b, p. 62).

A partir dessa ideia, tomemos a *Bildtheorie* de Boltzmann como “uma visão epistemológica do conhecimento (científico), baseada na tese de que nossas ideias e conceitos são apenas imagens mentais internas” (DE REGT, 2005, p. 223), ou simplesmente modelos. E que nossas teorias, portanto, não pretendem descrever uma realidade que não pode ser observada em sua totalidade, “porque, de nossos intelectos limitados, essas imagens nunca podem refletir mais do que uma pequena parte dos objetos” (BOLTZMANN, 1897c, p. 225).

Dentro desta perspectiva, o papel da noção de modelo em Boltzmann seria não o de cobrir a Natureza de fato, mas relacionar-se aos fenômenos em termos de similaridade, “estando no mesmo tipo de relação para com estes que a relação existente entre o sigo e o designado” (BOLTZMANN, 1889a, p 111), procurando representar os fenômenos da maneira mais clara possível (*viz.* sem ambiguidades), correta e simples. O papel do modelo, enfim, é o de ser um mediador por meio do qual simplificamos e idealizamos os fenômenos que nossas teorias procuram cobrir. E se o nosso modelo é correto, dependeria do teste empírico.



Pudemos vislumbrar uma primeira configuração de modelo em Boltzmann quando analisamos, no capítulo 5, o *atomismo*⁸⁸ como uma abordagem matemática preferencial a Boltzmann (a saber, aquela baseada no conceito de limite aplicado ao cálculo diferencial), i.e., uma forma de expressar aritmeticamente algum fenômeno, seja observável ou inobservável, via *analogia aritmética*, configurando uma *representação* de algo no mundo ou de hipóteses. A essa representação (*Bild* como imagem mental = modelo), enquanto construto mental representado por equações, conferimos uma primeira aproximação à noção de modelo em Boltzmann. Tomemo-la, para a discussão final deste capítulo, como um elemento de uma estrutura teórica (*elemento-teórico-como-modelo*, ou até mesmo *equação-como-modelo*, lembrando que uma *analogia aritmética* é uma equação, que representa algo, ao exemplo da equação de Fourier como modelo para o fenômeno da transmissão de calor).

Vimos acima como Boltzmann manteve-se reticente em assumir que números, logo, equações, pudessem ser classificados como modelos, embora considerasse-os como analogias de um tipo específico, a saber, analogia aritmética dos números reais. De qualquer forma, números e equações poderiam ser considerados modelos? Se sim, estes

⁸⁸ Recordemos que “aquele tipo de atomismo sobre o qual Boltzmann argumentou em termos concernentes ao infinito e ao cálculo diferencial é mais geral do que a ideia de que a matéria é feita de átomos; é a ideia de que todas as quantidades físicas devem, em última instância, ser tomadas como sendo descontínuas, incluindo tempo e espaço. Como Boltzmann expressou, existem diferentes atomismos que são pressupostos em diferentes equações diferenciais; coeficientes diferenciais em respeito ao tempo [por exemplo], requerem átomos-de-tempo” (VAN STRIEN, 2015, p. 3282).

tipos de modelos formais poderiam ser instâncias de uma teoria? Nesses termos, poderíamos dizer que há modelos dentro de modelos? Cremos que sim.

Tentemos, pois, configurar essa ideia de equação como modelo, a partir do que vimos até o momento. (1) Partamos do pressuposto que qualquer *imagem mental* que fazemos do mundo, é uma *representação* de algo, tangível ou fictícia. (2) Por sua vez qualquer imagem mental, enquanto representação de algo, só poderia ocorrer dentro da faculdade de representação, pois a representação é autorreferente, ou seja, toda representação apenas ocorre dentro da própria faculdade de representação, que é, por sua vez, um atributo do eu. (3) Como vimos em Boltzmann, toda representação mental é subjetiva, já que toda representação só ocorreria, em primeira instância, dentro do eu, pois é um atributo deste. (4) A capacidade de representar é condição para o conhecimento, posto que cada representação é um elemento do conhecimento. (5) Quando, por exemplo, representamos a transmissão do calor via equação de Fourier, que equivaler-se-ia a realizarmos uma *analogia aritmética* (um elemento do conhecimento dentre elementos diversos do saber), posto que a analogia seja uma característica inerente a um modelo operacional científico, estamos, no final das contas, elaborando um modelo formal para o fenômeno em questão. Desta forma, aproximamos as representações simbólicas da matemática ao estatuto de modelos. De acordo com Giere (1999a, p. 167): “Sugiro que tomemos as equações como caracterizando um sistema abstrato idealizado, por exemplo, o oscilador harmônico simples. Chamar tal sistema de ‘modelo’ (ou modelo teórico) concorda muito bem com o uso científico e filosófico”.

Mais uma função dos modelos, portanto, é a de representar formalmente um fenômeno, seja real ou abstrato.



Por sua vez, no capítulo 6, quando analisamos a IFC boltzmanniana, pudemos mostrar que as teorias científicas também podem ser tomadas como modelos (*teoria-
como-modelo*, *modelos teóricos*), em acordo com o seu conceito-*Bild*, a partir de suas posições filosóficas no debate metacientífico de revisão de métodos e concepções de Ciência. Segundo Boltzmann, “a teoria é, antes, apenas uma *imagem mental* dos fenômenos” (1899a, p. 111).

Quando aproximamos os tipos de modelos que evidenciamos a partir do capítulo 5 (*equação-como-modelo*) e a partir do capítulo 6 (*teoria-como-modelo*), a ideia geral de modelo em Boltzmann começa a apresentar superposições de níveis, a partir da reconstrução ‘parcial’ do pensamento boltzmanniano trilhada até o momento. A partir dessa leitura que fazemos, pudemos observar que os modelos em Boltzmann são de diversos tipos, mas que podem ser agrupados em dois grandes conjuntos: modelos teóricos ou imagens mentais, em que encontramos elementos teóricos específicos (uma equação) e gerais (uma teoria), que podem ser ‘observados’, destarte, em camadas, em superposição; e modelos icônicos ou os modelos concretos, que podem ser experimentados pelos sentidos, construído com gesso, papel, etc.

Posto que as teorias e suas equações podem ser tomadas como modelos, somos levados a considerar as imagens mentais como modelos em camadas, o que revela-nos a teoria como uma estrutura, pois vemos na teoria as representações (*viz.* equações, analogias aritméticas) que a conformam. Teríamos modelos específicos (analogias aritméticas) dentro de modelos gerais (teorias). Entendemos que a analogia aritmética é um modelo da teoria, mas não a teoria, embora a teoria também possa ser tomada como modelo, dentro desta interpretação a partir da análise do papel dos modelos na ecologia cognitiva global de Boltzmann. A equação de Fourier, é um modelo para um fenômeno, qual seja, o da transmissão de calor. Entendemos, de mais a mais, que, por exemplo, duas teorias diferentes podem compartilhar as mesmas equações. Assim, estamos vendo as estruturas internas à teoria, cada estrutura destas pode ser tida como um modelo, como uma representação particular. Dito de outra forma, enxergamos ‘classes’ modelos dentro de modelos. A teoria e suas equações (e suas leis) assim representadas como modelos em níveis, nos revelam outra característica cognitiva, enquanto ferramenta epistêmica, relacionada ao emprego metacientífico de modelos, qual seja, de serem importantes ferramentas de cognição para a análise da dinâmica do raciocínio científico, como já tínhamos evidenciado na seção anterior (vide 7.2). De mais a mais, devemos ressaltar uma outra função dos modelos teóricos a partir desta perspectiva, qual seja, uma função nômica de revelar as leis por trás das teorias científicas, posto que “o modelo faz referência direta a determinadas leis científicas, pois são elas que, por assim dizer, são responsáveis por aquela similaridade de comportamentos dos sistemas considerados na comparação [entre modelos e com o mundo]” (DUTRA, 2006, p. 261).

Aliás, do capítulo 6, deveremos também destacar as principais características e os principais valores de sua IFC, pois, logicamente, eles são essenciais para esta análise do papel da noção dos modelos em termos de sua concepção-*Bild*.

Deste capítulo 6, podemos evidenciar as principais características da IFC de Boltzmann, sua axiologia, metodologia e critérios científicos. Dentre as principais características de sua concepção-*Bild* destacamos o representacionalismo, o naturalismo, o pluralismo e o antidogmatismo e o pragmatismo. Dentre os principais valores cognitivos relacionados às teorias científicas, logo, aos modelos, destacamos: a utilidade, a fertilidade preditiva, a adequabilidade, a simplicidade, a ampliatividade e a ousadia (em ultrapassar a experiência, criatividade) e a falibilidade.

Dentre as características da concepção-*Bild* de Boltzmann, sobre o representacionalismo, nós desenvolveremos mais adiante as implicações relativas à essa questão. Apenas mantenhamos em mente o pressuposto acima colocado de que qualquer *imagem mental* que fazemos do mundo, é uma *representação* de algo, ou, de que “todos os pensamentos humanos são nada mais que imagens da realidade” (BOLTZMANN *apud* NEUBER, 2002, p. 189).

Por sua vez, de acordo com o naturalismo epistemológico (de viés darwiniano-lamarckista) em Boltzmann, os modelos têm um papel cognitivo fundamental sobre como o ser humano desenvolve seu conhecimento até atingir o conhecimento científico, a partir de sua relação com o meio, ou, dito de outra maneira, “nossas capacidades intelectuais estão enraizadas na relação de nosso corpo com nosso ambiente” (DE COURTENAY, 2002, p. 115). Ainda, segundo De Courtenay (2002, p. 115), “a integração de novas apresentações de racionalidade, a transformação da intuição e leis do pensamento ocorrem no tempo através do processo do emprego de modelos: de acordo com Boltzmann, essas transformações não podem ser produto de uma pura decisão intelectual. De fato, é um processo prático, envolvendo corpo e ação”.

Podemos dizer que a atividade cognitiva mais fundamental, a partir dessa visão naturalista, seria a de organizar o conhecimento via construção de modelos a partir de nossa relação com o meio, “seja no conhecimento ordinário, seja no conhecimento científico” (DUTRA, 2006, p. 280). Desse ângulo, os modelos seriam essenciais para a sobrevivência da espécie humana. Equivaleria a dizer que existiria uma tendência inata

ao homem em construir modelos via leis do pensamento. Como disse Boltzmann, “nossas leis inatas do pensamento são, na verdade, a condição prévia de nossa complicada experiência” (1904, p. 174). Do naturalismo, entendemos que papel fundamental do modelo é o de modelar o mundo para entendermos o próprio mundo e adaptarmo-nos a ele, ou seja, sobrevivência é ter a capacidade de adaptarmo-nos ao mundo criando modelos cada vez mais aperfeiçoados do mundo, com isso nós modelamos o mundo e o adaptamos às nossas necessidades, entendido como um processo evolutivo contínuo. Segundo Boltzmann, “é instinto próprio ao espírito humano constituir para si uma tal imagem e ajusta-la continuamente ao mundo externo” (1890, p. 52).

O naturalismo epistêmico, por conseguinte, é uma negação às possibilidades e condições transcendentais do conhecimento, de acordo com essa abordagem “modelos não são objetos que flutuam livremente e precisam ser ligados ao mundo real: eles já estão ligados ao nosso conhecimento do mundo real por meio das questões científicas que motivam sua construção” (KNUUTTILA, 2011, p. 267).

Por outro lado, ao associarmos o naturalismo epistemológico em termos evolucionistas com o pluralismo e com o antidogmatismo, temos que o papel dos modelos teóricos, em um meio competitivo que é o cenário científico, é o de ajudar o cientista a escolher os modelos mais úteis à sua prática, quando respeitamos certos parâmetros de demarcação e seleção. Lembremos, aqui, da questão levantada por Boltzmann contra as posições antimetafísica e contrária à elaboração de hipóteses dos fenomenalistas, qual seja, “a única coisa que se pode perguntar é se é mais vantajoso para a ciência a apressada proliferação de tais imagens [modelos] ou o grande cuidado que recomenda abster-se das mesmas” (BOLTZMANN, 1897a, p. 85). Um dos papéis dos modelos, desta forma, é o de trazer vantagens cognitivas para o progresso científico, que se daria ao aperfeiçoarmos nossos modelos em um meio em competição, num processo em que podem ocorrer suplantações, unificações, mas que também revele que imagens hipotéticas podem ser confirmadas conforme nossos aparatos observacionais também evoluem sem precisarmos descartar sumariamente certos modelos. Ou seja, a elaboração contínua de modelos no âmbito científico estimula a produção de novos modelos para esta analogia evolutiva de seleção teórica; no tocante a esse ponto, os modelos têm um papel criativo para a prática científica.

Uma das preocupações de Boltzmann, como vimos, era evitar que cientistas de uma vertente positivista mais severa demarcassem, *a priori*, os modelos científicos dos não científicos, sem entender quais os fundamentos científicos e filosóficos que subjazem de uma tese científica (como o atomismo analógico-aritmético, que não se referiria à uma entidade metafísica, mas a uma abordagem matemática), tendo por base se o modelo trata de inobserváveis, por exemplo.

Já, de um ponto de vista pluralista, os modelos teóricos seriam selecionados *a posteriori*, pois às teorias seria permitida a prova empírica como confirmação (um importante critério de seleção teórica, bem como de demarcação, se for o caso). Portanto, tentando responder àquela questão levantada por Boltzmann, se valeria refrearmos a produção de imagens (*Bilder*, modelos) na Ciência deveria ser: não. A partir dessa proliferação de modelos, nós podemos formular muitos outros modelos desconhecidos. Segundo Dutra (2006, p. 270): “Em relação a uma situação real e conhecida, o modelo nos auxilia, por exemplo, a elaborar as leis que ali se aplicam. Em relação a situações novas, o modelo nos ajuda a aplicar uma teoria a novos casos e, portanto, pôr ordem no mundo da experiência”.

Mais uma vez notamos o papel dos modelos enquanto ferramentas epistêmicas em termos heurísticos. Consideremos o papel dos modelos em Boltzmann, agora em termos pragmáticos.

Ao pragmatismo da concepção-*Bild* de Boltzmann podemos associar sua axiologia de valores cognitivos. “Até esse ponto, [Boltzmann] atingiu uma forma de naturalismo, uma epistemologia evolutiva, na qual a *Bildtheorie* é conectada à uma abordagem pragmática da cognição” (DE REGT, 2005, p. 223). Uma vez que nossos modelos não mais têm vínculo com o *valor cognitivo da verdade*, ou seja, uma vez que entendemos que nossos modelos são analogias que apenas guardam uma similaridade parcial em relação à realidade⁸⁹, Boltzmann volta-se a uma abordagem pragmática (Cf. BLACKMORE, 1999b, p. 164). À luz do que já disse De Courtenay (2002, p. 114), que “ a frase preferida de Boltzmann é a de que não existe verdade absoluta”, achamos pertinente aproximarmos a abordagem naturalista de Boltzmann que, por conseguinte

⁸⁹ Como assevera DUTRA (2006, p. 269), “assim, a analogia e similaridade são também aspectos relativos à própria construção de modelos e não apenas da comparação entre modelos e determinadas situações reais”.

conduz Boltzmann a uma abordagem pragmática da prática científica, ao naturalismo realista de Giere:

Essa visão [naturalista realista] minimiza a ideia de que pode haver leis naturais universais codificadas em declarações gerais verdadeiras. Em vez disso, os cientistas são vistos como engajados na construção de modelos do mundo que se aplicam mais ou menos bem a classes mais estreitas ou mais amplas de sistemas naturais. Em segundo lugar, o realismo naturalista nega que existam princípios universais de racionalidade que possam sancionar a crença na correção de qualquer modelo particular. Em vez disso, os cientistas empregam estratégias de raciocínio e decisão comuns a outras atividades, como negócios ou política. Mas a ciência continua sendo uma atividade representativa, na medida em que os cientistas são vistos como tendo mais ou menos sucesso na construção de modelos que, de fato, representam vários aspectos do mundo. Significativamente para a presente discussão, ao rejeitar as pretensões universalistas do racionalismo iluminista, o realismo naturalista está comprometido em rejeitar a autonomia da ciência e, portanto, está aberto a extensões para o domínio da tecnologia (GIERE, 1999a, p. 60-61).

O *Leitmotiv* da Ciência é a expressão, via modelos (teóricos e intrateóricos) a menos ambígua possível de algum fenômeno ou hipótese. Se, por um lado, nossos modelos não apresentam um pleno isomorfismo em relação ao objeto modelado, por outro, os modelos devem se mostrar úteis para o desenvolvimento geral (da própria Ciência, das tecnologias e, por conseguinte da humanidade). “A modelagem, a meu ver, não é de forma alguma acessória para fazer ciência, mas fundamental para a construção de relatos científicos do mundo natural” (Giere, 1999b, p. 41). De acordo com Boltzmann (1899a, p. 117):

É preciso que se admita que o objetivo de toda e qualquer ciência, e consequentemente da Física, seria alcançado da maneira mais completa [perfeita] caso fossem descobertas fórmulas [ou modelos] por meio das quais se poderia calcular de antemão inequívoca [unambiguously], segura e completamente os fenômenos esperados para cada caso em particular.

Embora para Boltzmann, alcançar esta precisão em descrevermos os fenômenos seja um ideal, dada nossa limitação em abarcar a Natureza com nosso conhecimento limitado pela nossa condição humana (naturalismo), cabe aos modelos representar sem ambiguidades, tais fenômenos “pois é um dos requisitos mais importantes que as imagens sejam perfeitamente claras, que nunca devemos estar confusos sobre como modelá-las em qualquer caso dado e que os resultados devem sempre ser derivados de uma maneira inequívoca e indubitável” (BOLTZMANN, 1899b, p. 108).

Aliás, além de evidenciarmos a preocupação de Boltzmann em os cientistas construírem modelos o menos ambíguos possíveis, já que a função da Ciência não é a de

oferecer teorias verdadeiras sobre o mundo, destacamos o caráter arbitrário dos modelos, já que eles são escolhidos conforme a necessidade do cientista. Concorde com isso Knuuttila, ao sugerir que

os modelos podem ser vistos como ferramentas epistêmicas, artefatos concretos, que são construídos por vários meios representacionais, e são constringidos pelo seu *design* de tal forma que permitem o estudo de certas questões científicas e aprendizado através da construção e manipulação das mesmas (KNUUTTILA, 2011, p. 267).

Ao concordarmos que os modelos sejam construções arbitrárias, por conveniência da própria pesquisa científica, que funciona como um constritor para a elaboração de tais modelos, aos modelos cabe a tarefa de, já que os mesmos não representam a realidade de fato, serem representações, em termos de similaridade e de analogia, úteis e simples e adequáveis empiricamente, em vistas do progresso científico.

Como dissemos acima, para Boltzmann, o fato de tentarmos alcançar o ideal científico de descrever com precisão o mundo revela, por outro lado, a falibilidade de nossas teorias, “já que não podem ser encaradas com certeza apodítica” (BOLTZMANN, 1892, p. 18). A partir da falibilidade do nosso conhecimento, os modelos têm uma função específica, que é a de aprimorar os próprios modelos que o cientista elabora e, portanto, serem cognitivamente progressivos neste sentido. Isso pode ser revelado quando analisamos o raciocínio de Boltzmann acerca da natureza das teorias científicas. Diz ele que “é na sua natureza que estão fundadas também suas deficiências e é ela mesma quem revela os seus próprios erros” (BOLTZMANN, 1890, p. 55), sendo que “o constante aperfeiçoamento dessa imagem [é] a principal tarefa da teoria” (BOLTZMANN, p. 52).

Destarte associamos a axiologia cognitiva de Boltzmann ao seu pragmatismo, em vistas dos critérios de seleção assumidos por Boltzmann.

Vimos, no capítulo 6 (Cf. 6.2, 6.3 e 6.6), que uma teoria, portanto que um modelo teórico deve ser útil nos seguintes aspectos: um bom modelo deve provar sua utilidade mostrando-se um modelo fértil, no sentido de estimular a nova produção de modelos e de descobertas, como no sentido de ser preditivo empiricamente – bem como mostrar suas falhas e promover suas correções. Não menos úteis são aqueles modelos que ultrapassem a experiência: portanto os modelos também devem ter a capacidade de estimular a criatividade e permitir que os cientistas ousem, a bem do contexto da descoberta, em

termos heurísticos. Um modelo ser útil à prática científica também refere-se a sua ampliatividade em abarcar um maior domínio de aplicação pretendido, ou seja, uma maior quantidade de fenômenos, da forma mais simples. De acordo com Boltzmann (1902c, p. 149): “É tarefa ubíqua da ciência explicar o mais complexo em termos do mais simples”.

Estas características podem ser resumidas no excerto que já analisamos previamente na seção 6.3, qual seja:

Esta é precisamente a principal tarefa da ciência: configurar imagens que se prestem à representação de uma série de fatos, de tal modo que, a partir delas, possam ser previstos os comportamentos de outros fatos semelhantes. É certamente compreensível que a previsão ainda tenha que ser testada pelo experimento. Provavelmente ela será apenas confirmada em parte. Existe, então, esperança de modificar e aperfeiçoar as imagens de tal forma que elas também correspondam aos novos fatos. [...] É naturalmente justificado de que (a) não se acrescente à imagem mais arbitrariedades (o que deve ser o mais geral possível) do que é inevitavelmente necessário para a descrição de domínios fenomênicos mais amplos e (b) se esteja sempre disposto a modificar a imagem, não perdendo mesmo de vista a possibilidade de reconhecer alguma vez que no lugar dessa imagem é preciso introduzir uma outra nova e fundamentalmente diferente. [...] Como conclusão, eu queria ir ainda mais longe, quase que me aventurando a afirmar que está inscrito na própria natureza da imagem o fato de ela ter que estar acompanhada de características arbitrárias, para que se dê a afiguração, e de ter que, estritamente falando, ultrapassar a experiência tão logo se infira, a partir de uma imagem adequada a certos fatos, um fato novo, mesmo que seja apenas um único (BOLTZMANN, 1897a, p. 82).

Note-se o seguinte. Até o momento nos referimos aos modelos de tipo teórico ou abstrato. Mas, aos modelos concretos, também aplicam-se os mesmos valores cognitivos da axiologia de Boltzmann. Boltzmann justifica essa necessidade por modelos econômicos tanto teóricos quanto icônicos:

Enquanto o volume de material com o qual a ciência lidava era insignificante, a necessidade de empregar modelos era naturalmente menos imperativa; na verdade, há vantagens evidentes em compreender as coisas sem recorrer a modelos complicados, que são difíceis de fazer e não podem ser alterados e adaptados a condições extremamente variadas de maneira tão fácil quanto são os símbolos do pensamento, da concepção e do cálculo. No entanto, conforme os fatos da ciência aumentaram em número, foi necessário observar uma maior economia de esforço para abrangê-los e transmiti-los aos outros, e o sólido estabelecimento de demonstrações visuais foi inevitável, em vista de sua enorme superioridade sobre o simbolismo exclusivamente abstrato, para obter uma rápida e completa exibição de relações complicadas. Atualmente é desejável, por um lado, que o poder de deduzir resultados de premissas puramente abstratas, sem recorrer à ajuda de modelos tangíveis, seja mais aperfeiçoado; por outro lado, é desejável que concepções puramente abstratas sejam auxiliadas por modelos objetivos e abrangentes nos casos em que a quantidade de material não possa ser direta e adequadamente tratada (BOLTZMANN, 1902b, p. 383).

Os modelos icônicos em suas diversas apresentações, assim como Boltzmann propôs, são como extensões de nossos modelos teóricos “quando, portanto, empenhamo-nos para instrumentalizar nossas concepções [teóricas] estamos simplesmente estendendo e continuando o princípio por meio do qual compreendemos os objetos no pensamento e os representamos [por exemplo] por meio da linguagem ou na escrita” (BOLTZMANN, 1902b, p. 382).

Os modelos icônicos também têm, além das funções técnicas, funções cognitivas importantes enquanto ferramentas epistêmicas; têm função pedagógica quando complementam os modelos teóricos, posto que “condições [teóricas] que são tão difíceis de expressar adequadamente pela linguagem são autoevidentes [assim que um modelo icônico] encontra-se diante de nossos olhos” (BOLTZMANN, 1902b, p. 384).

Como vimos na seção 7.2, os modelos icônicos também têm função experimental na demonstração e comprovação empírica dos modelos teóricos, como ao exemplo das Figuras 15 e 16, em que vemos aparatos mecânicos experimentais desenvolvidos por Boltzmann no contexto da termodinâmica e no contexto do eletromagnetismo, ou mesmo modelos em escala que, como protótipos, testam projetos tecnológicos.

Portanto, tanto os modelos teóricos quanto os modelos icônicos concretos compartilham de uma mesma função geral, em termos de ferramentas epistêmicas. Sejam funções específicas de tipo técnica, pedagógica ou heurística, dos modelos em geral, podemos concluir que a atribuição cognitiva aos modelos é imperiosa, acima de tudo. Os modelos em geral contribuem para o desenvolvimento científico de forma econômica, simples e útil, em consonância com a axiologia cognitiva de Boltzmann, e estão igualmente em conformidade com as principais características de sua IFC. Mas não só: os modelos contribuem, enquanto ferramentas epistêmicas, com a compreensão da prática científica, tanto para a própria Ciência quanto para a Filosofia da Ciência, evidenciando o modo de raciocínio dos cientistas. Como asseverou Giere (1999b, p. 56), “Em suma, o raciocínio científico é em grande parte o raciocínio baseado em modelos. São modelos por quase todos os caminhos [do raciocínio científico]”.



Façamos agora, uma súpula do papel da noção dos modelos em acordo com a concepção-*Bild* de Boltzmann.

Entendemos a *Bildtheorie*, ou, como preferimos chamar, a concepção-*Bild* de Boltzmann como: (a) uma tese sobre o *representacionalismo*, seja sobre a possibilidade de representação da realidade concreta, seja sobre a possibilidade de representação de uma ‘realidade’ construída apenas em pensamento; e (b) uma *ferramenta cognitiva* para o entendimento do raciocínio científico, ou de como os cientistas constroem e lidam com seus modelos (Cf. DE REGT, 1999, p. 113-117).

A partir dessas definições gerais da concepção-*Bild* de Boltzmann, pudemos estender suas aplicações a três frentes de ação, atuadas por Boltzmann, quais sejam as aplicações: (a) pedagógica, (b) científica e (c) metacientífica. Ou seja, consideramos a concepção-*Bild* de Boltzmann como sua *Leitmotiv* para a realização de seu trabalho acadêmico em ensino e em pesquisa científica (solução de problemas práticos da Teoria Cinética dos Gases, unificação pela Mecânica Estatística das Teoria Cinética dos Gases e Termodinâmica), bem como o filosófico (pluralismo teórico e metodológico, epistemologia naturalista e evolutiva, representacionalismo).

Entendemos a *Bildtheorie* de Boltzmann não apenas como uma *teoria-cómo-imagem* (ou, *teoria-cómo-modelo*), como uma possível tradução do alemão poderia levar-nos a pensar como se fora uma ferramenta voltada para a análise das teorias científicas enquanto modelos. A concepção-*Bild* de Boltzmann também o é, mas é mais: entendemo-la como parte de uma concepção de mundo, ao termo “*Bildtheorie*” subjazem conceitos que levam a Boltzmann conformar sua *Weltanschauung*. Permitiu Boltzmann desenvolver suas concepções filosóficas em termos de um naturalismo evolutivo, ou evolucionário, que é fundamento ao seu representacionalismo, e aplicou as suas concepções em todas as frentes em que atuou, sobretudo à epistemologia. Favoreceu Boltzmann a ‘ver’ os problemas científicos de seu tempo e discuti-los com profundidade, desenvolvendo conceitos aplicados ao debate, a bem do progresso científico e geral, sobre a natureza do conhecimento, sobre a natureza de nossas teorias, sobre os imperativos hipotéticos empregados na seleção e demarcação de teorias.

Com isso, (a) sustentou suas concepções mecânico-estatísticas até a fundação de um novo ramo aplicado a Física, qual seja, a Mecânica Estatística; (b) sustentou a defesa

ao método hipotético-dedutivo (mostrando que não faz-se Ciência sem algum grau de hipotetização, de abstração, de idealização) e, por conseguinte, ao atomismo; (c) sustentou a tese de que a construção de modelos é algo inerente ao fazer científico, demonstrando que, queiramos ou não, estamos construindo modelos do mundo ao redor a todo instante; e (d) sustentou a importância cognitiva dos modelos, em termos heurísticos, para a prática científica e, por conseguinte, para o progresso do conhecimento.

O principal ponto de partida de Boltzmann é a tese naturalista de que todo o conhecimento dá-se dentro do *eu* e que não há nenhuma condição *a priori* externa a esse *eu*, transcendendo esse *eu*. E, de acordo com uma ideia evolucionista, todo o conhecimento humano progride naturalmente conforme o homem interage com o meio-ambiente.

Em seguida, consideramos o representacionalismo de Boltzmann como um ingrediente também fundamental dentro da *Weltanschauung* boltzmanniana.

Por representacionalismo, podemos entender, de um modo mais geral, como a crença de que todos os nossos pensamentos são representações. Segundo Knuuttila:

A representação como "*estar para*" está embutida no representacionalismo. O termo foi originalmente cunhado na discussão filosófica sobre percepção para se referir a uma posição segundo a qual os dados sensoriais imediatamente experimentados, combinados com as crenças adicionais que são basicamente baseadas neles, constituem a representação da existência independente de objetos externos, os quais nós justificamos acreditar serem verdadeiros. [...] A implicação é que a mente sensível e conhecedora não pode ter contato direto com seus objetos. Ela só pode se aproximar deles por meio de representações internas, que supostamente os descrevem com precisão. Em seu uso atual, o termo representacionalismo afrouxou seus laços com a percepção e também abrange teorias (filosóficas e outras) que concebem o conhecimento em termos de representações que reproduzem com precisão, ou seja, verdadeiras entidades reais independentes da mente. Tais representações representando a realidade podem ser ideias, observações, crenças, conceitos, proposições, estados neurais ou modelos científicos (KNUUTTILA, 2011, p. 263-264).

É sobre esses termos representacionalistas que Boltzmann assenta a epistemologia de sua concepção-*Bild*. Vimos que Boltzmann cria em uma realidade independente de nós, mas não teríamos acesso ao absoluto, apenas a nossas representações internas. A verdade não estaria em nossos modelos, enquanto representações internas (nós não temos acesso imanente a objeto algum), mas a verdade 'pragmática' é a de que existe um mundo independente de nós.

Uma análise filosófica estrita do representacionalismo como fora definido acima, levanta problemas os quais o próprio Knuuttila destaca: “A dificuldade crucial com a teoria representacionista da mente é que as representações internas supostamente representam outra coisa, mas não há acesso a essa outra coisa senão por meio de outra representação. De maneira mais geral, se o conhecimento é concedido a representações (internas ou externas), o que liga essas representações ao mundo?” (KNUUTTILA, 2011, p. 264).

Segundo Boltzmann, “todas as nossas representações são puramente subjetivas” (1890, p. 55), portanto não haveria conexão direta com o mundo. Destarte poderíamos considerar esse representacionalismo boltzmanniano nos seguintes termos: “a ideia de modelagem como representação indireta adota uma perspectiva diferente sobre o valor *epistêmico da modelagem* a partir da abordagem representacional” (KNUUTTILA, 2011, p. 266). Mais sobre isto, citamos abaixo que: “Em uma concepção representacional de modelos, a linguagem não se conecta diretamente com o mundo, mas sim com um modelo cujas características podem ser definidas com precisão. A conexão com o mundo é então por semelhança entre um modelo e partes designadas do mundo” (GIERE, 1999b, P. 56).

A partir dessa perspectiva, para entendermos o valor de ferramenta epistêmica da noção de modelo na *Bildtheorie* de Boltzmann, assumamos o pressuposto de que “todos os pensamentos humanos são nada mais que imagens da realidade” (BOLTZMANN *apud* NEUBER, 2002, p. 189). A partir desse pressuposto, podemos inferir que todo conhecimento, do senso comum⁹⁰ ao científico, funda-se numa esfera interna, mental, cujos limites são postos pela relação com o meio e com as nossas experiências pregressas. A partir desse ponto, elaboramos modelos continuamente, que evoluirão organicamente conforme a espécie evolui. Relembremos a seguinte passagem de Boltzmann:

⁹⁰ Embora consideremos que “as noções científicas resultam de refinamentos metodológicos das noções comuns” (DUTRA, 2006, p. 273), não discutiremos sobre o senso comum para não fugirmos ao nosso escopo sobre o papel da noção dos modelos em Boltzmann, mas, partindo do pressuposto de que, para Boltzmann “a Metafísica parece exercer uma magia irresistível sobre o espírito humano, que, apesar de todas as tentativas fracassadas de levantar o véu da mesma, não perde as forças” e que “O instinto para filosofar parece ser inevitavelmente inato” (1903b, p. 159), obviamente podemos supor que os modelos científicos, a bem da simplicidade, já teriam passado pelo crivo dos critérios de demarcação e de seleção (Cf. capítulo 6), mesmo em se tratando de uma zona cinzenta de limites fluídos, entre o científico e o senso comum e a metafísica filosófica. Isto posto, podemos prosseguir a discussão em termos de modelos científicos.

É certo que nós não poderíamos ter nenhuma experiência caso não nos fossem inatas certas formas de relação entre percepções, ou seja, formas do pensamento. Se desejarmos chamar tais formas do pensamento de leis do pensamento, é certo que elas são, nesse sentido, apriorísticas, já que se encontram em nossa alma ou, se preferirem, em nosso cérebro. [...] Essas leis mentais formaram-se segundo as mesmas leis da evolução, como o aparato ótico do olho, o [aparato] acústico do ouvido e o dispositivo bombardeador do coração (1904, p. 171).

Existe em nós, portanto, uma predisposição inata, chamada coletivamente de “formas do pensamento” ou “leis do pensamento”, que colocariam em movimento o processo de conhecimento via construção de imagens, modelos, em constante adaptação ao meio. Sob uma ótica evolucionária, o papel dos modelos representa uma ferramenta cognitiva fundamental para o ser humano adaptar-se ao seu meio e, por conseguinte, modelar o mundo ao redor a bem de sua adaptação. A produção de conhecimento se dá através da construção de modelos que fazemos do mundo (Vide Fig. 18).

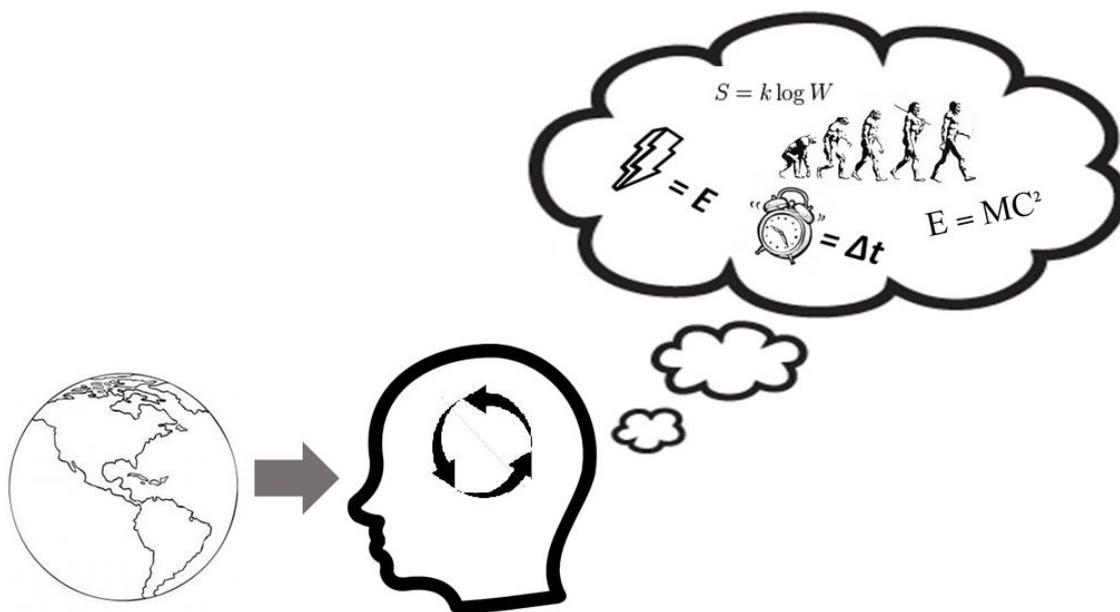


Figura 18: Ilustração para construção de modelos teóricos sobre o mundo.

Como dissemos acima, a construção de representações é limitada pela relação com o meio (mediada por nossas percepções sensoriais) e as nossas experiências pregressas (modelos do mundo organizados na memória). Isso implica em: quando nós modelamos o mundo, criamos um modelo mental, antes de tudo, do mundo. Modelamos o mundo para obtermos uma moldagem sobre a qual verteremos alguma substância para, então, obtermos o nosso modelo mental. Essa substância da qual os nossos modelos são constituídos são nossos pensamentos, portanto, os nossos próprios modelos prévios.

Nossos novos modelos são substância de nossos modelos antigos, os modelos novos evoluem e procuram corrigir os problemas do anterior. Como Boltzmann disse, cabe às nossas próprias teorias corrigirem “falhas de seu próprio saber” (1890, p. 55). Boltzmann também disse “que está inscrito na própria natureza da imagem o fato de ela ter que estar acompanhada de características arbitrárias, para que se dê a afiguração” (1897a, p. 82), ou seja, como já dissemos acima, por condições facultativas, entendemos os modelos como construções arbitrárias, por conveniência da própria pesquisa científica, que funciona como um constritor para a elaboração de tais modelos.

Seguindo um raciocínio de Abrantes (Cf. 1998, p. 12-13), as imagens de natureza, que poderíamos chamar em nosso contexto de modelos sobre o mundo, fornecem a “matéria-prima” para os modelos científicos, embora, por seu turno, estas imagens de natureza “também passam pelo crivo da experiência, por meio das teorias e dos programas que as pressupõem”. Isso implica em considerarmos os “modelos teóricos como um sistema de interdependências” (KNUUTTILA, 2011, p. 268), que envolvem elementos variáveis conforme os critérios vigentes em dado momento histórico, como sistemas de crenças, preferências, valores cognitivos, ou seja, os modelos são histórico-dependentes, dependentes de uma *Weltanschauung*, enfim.

Sob esse raciocínio, como disse Giere, “são modelos por quase todo o caminho e modelos de quase de todas as maneiras” (1999b, p. 56), o que para o naturalismo de Boltzmann, seria um processo natural, a bem da redundância: *de os modelos aprimorarem os modelos*, conforme o contexto.

A partir desta ideia, outra atribuição cognitiva aos modelos que a Ciência constrói é a de transformar o nosso próprio saber. Conforme desenvolvemos novos modelos dessa relação com o mundo e com os modelos pregressos, nós intervimos no mundo, nós transformamos o mundo e o mundo transformado também transforma nossa maneira de compreendê-lo, pois, “com efeito, os progressos ocorridos no domínio das ciências da natureza transformaram fundamentalmente até mesmo todo o modo de pensar e sentir da humanidade” (BOLTZMANN, 1902a, p. 149).

Não menos importante é o papel cognitivo dos modelos icônicos, ou as *analogias espaciais concretas em três dimensões* em todas as suas acepções dentro dessa noção de ferramenta epistêmica que atribuímos aos modelos a partir da concepção-*Bild* de

Boltzmann. Diríamos que eles tenham importância equivalente, posto que estes modelos ‘tangíveis’ aos olhos, aos toques, ao olfato e à audição, etc., “são realmente uma continuação e integração de nosso processo do pensamento” (BOLTZMANN, 1902b, p. 386), extensões em tinta, em gesso, em madeira, a equação escrita em giz no quadro negro, em cera, como dispositivos mecânicos, nossas memórias escritas num caderno, etc. (A ciência pode usar de muitas linguagens para se expressar.) Portanto o valor cognitivo e de ferramentas epistêmicas em termos heurísticos e pedagógicos são válidos igualmente para ambas as categorias de modelos em Boltzmann. O que podemos evidenciar é que os modelos icônicos aumentam o poder cognitivo das teorias científicas e sua inteligibilidade, além das diversas funções práticas destes modelos, agregando valor cognitivo ao conjunto com um todo enquanto ferramental epistêmico. Conforme Knuuttila:

Nessa perspectiva, a representação externa funciona como um andaime externo que estreita o espaço de busca de informações localizando as características mais importantes do objeto de uma forma perceptivelmente saliente e manipulável, e possibilita inferências adicionais ao disponibilizar as informações anteriormente obscuras ou dispersas de forma sistemática. [...] Modelos científicos são exemplos superiores de tais coisas (KNUUTTILA, 2011, p. 269).

Aos modelos, destarte, voltados ao âmbito científico, caberiam (a) estimular a criatividade dos cientistas com todos os recursos heurísticos que sejam cabíveis, via construção de modelos diversos para a descoberta e solução de problemas; (b) um papel importante, em termos hermenêuticos, para a análise metacientífica da prática científica (e.g., quando resgatamos da História da Ciência as suplantações de modelos para entendermos as mudanças conceituais sucessivas das teorias científicas); (c) e importantes funções para a instrução (os modelos teóricos reforçados pelo valor pedagógico dos modelos concretos).

Essa concepção-*Bild*, reiterando, é cognitivamente progressiva e importante para a prática metacientífica, científica e pedagógica dentro dos âmbitos nos quais Boltzmann atuou. O *modelo* na concepção-*Bild*, em suma, dentro desta *Bildtheorie* de Boltzmann enquanto uma tese epistêmica sobre a natureza de nossas teorias científicas (entendidas como modelos análogos, abstrações, simulacros, idealizações), é parte, também, de uma tese metodológica que recomenda e prescreve o emprego de modelos para a prática científica como ferramentas fundamentais frente às suas utilidades cognitivas, em termos heurísticos e pedagógicos, a bem do desenvolvimento progressivo do conhecimento

científico que extravasa para o conhecimento humano em geral. De acordo com Dutra, “para utilizarmos uma metáfora comum, os modelos são ‘ferramentas conceituais’ da prática científica rotineira ou, mais exatamente, são verdadeiros ‘andaimes intelectuais’ que utilizamos em diversas situações da pesquisa científica” (DUTRA, 2006, p. 270).

Os modelos ajudam-nos a compreender o mundo e a organizar os dados que recolhemos do mundo. Como afirma Rovelli, num espírito boltzmanniano (2018, p. 159):

Vemos o mundo e o descrevemos, lhe atribuímos uma ordem. Pouco sabemos da relação completa entre o que vemos do mundo e o mundo. Sabemos que nosso olhar é míope. Do vasto espectro eletromagnético emitido pelas coisas, vemos apenas uma pequena fresta. Não vemos a estrutura atômica da matéria, nem o curvamento do espaço. Vemos um mundo coerente extraído da nossa interação com o universo, organizado da forma que nosso cérebro [...] é capaz de manipular. [...] Conhecemos muito o mundo que independe de nós, mas não sabemos quanto é esse muito.

O papel dos modelos sob essa ótica, portanto, e interpretado por nós como *ferramentas epistêmicas*, é o de perpetuar o desenvolvimento do conhecimento nesse processo de compreender e organizar o mundo, posto que, embora nossos pensamentos sejam limitados pelas *leis do pensamento*, não há limite para o nosso conhecimento nesse fluxo *continuum* de transformação do saber. (Ao menos enquanto houver vida inteligente!)





Figura 19: Selo austríaco comemorativo, 75 anos da morte de Boltzmann, lançado em 1981.

8. CONCLUSÕES

A *Bildtheorie* de Boltzmann, a qual também gostamos de chamar de concepção-*Bild* (poderíamos até chamar a concepção-*Bild* de Boltzmann de concepção-*modelo*), é parte de uma concepção de mundo, *Weltanschauung*. Imagens de Ciência e Imagens de Natureza compõem uma *Weltanschauung*: por isso entendemos que são imagens, *Bilder*, concepções que se retroalimentam, quando analisadas como subestruturas (ICN e IFC) de uma estrutura maior (*Bildtheorie*) – como sendo lados de uma mesma moeda. Nós as subdividimos em *Imagem Científica de Natureza* e *Imagem Filosófica de Ciência* por um maior didatismo e uma maior precisão analítica, pois buscamos elementos cada vez mais específicos para uma análise fina de tais imagens para, em seguida, concluirmos um ‘todo’ que está em investigação afinal. Este trabalho não pretendeu ser uma exegese de todos os elementos constitutivos da *Weltanschauung* boltzmanniana, mas sim, procuramos resgatar as principais componentes, ou elementos, de seu pensamento, via ferramenta analítica em termos de Imagens *à la manière* de Paulo Abrantes.

Defendemos a tese, entre outras, de que Boltzmann empregou a noção de modelo, de modo feliz e profícuo, para dar expressão às suas ICN e IFC. Destarte, a intersecção entre estas imagens pode ser concebida como uma estrutura coerente que possibilita o desenvolvimento de uma Ciência dotada de dinamismo e vigor, sendo ao mesmo tempo falibilista e progressista, assentada sobre a noção de modelo como resultado natural de uma interação do homem com seu meio e consigo próprio. Nessa estrutura *Bildtheorie*, as ICN e IFC de Boltzmann estão umbilicalmente unidas constituindo um único *corpus* em que a Física e a Filosofia (esta, por seu turno, podemos dizer, emerge impulsionada pelos debates epistemológicos e metodológicos revisionistas das bases da Física com os quais Boltzmann envolveu-se em seu tempo) estão intimamente ligadas e o *modelo* tem uma importância fundamental.

A partir desta perspectiva, procuramos investigar o *papel da noção de modelo* em meio a este ‘todo’ que é a *Weltanschauung* boltzmanniana; via análise das subestruturas ICN e IFC e suas intersecções.

Antes de tudo, revisemos, sob nossa interpretação, o que é a *Bildtheorie* de Boltzmann aplicada à Ciência.

A concepção-*Bild* de Boltzmann pode ser entendida, em termos *epistemológicos* (CBe), como uma tese representacionista sobre o conhecimento humano, bem como uma *ferramenta cognitiva* (CBf), heurística e pedagógica, para o raciocínio científico baseado não apenas no método descritivo (como preconizava a fenomenologia físico-matemática) mas também tendo o apoio do método explicativo, com vistas ao progresso do conhecimento científico.

Por seu turno, o progresso do conhecimento científico, para Boltzmann, dá-se pelo aperfeiçoamento das teorias científicas, visando a solução de problemas científicos práticos⁹¹, de ordem teórica e empírica, visando também descobertas científicas de novas relações analógicas entre teorias e fenômenos, e, por conseguinte, de novas relações nômicas, culminando em progresso geral para a humanidade. Ou seja, progresso científico, em potência, gera progresso tecnológico (e.g., como a criação da telegrafia e das máquinas à vapor, no século XVIII que promoveram um desenvolvimento vertiginoso da civilização no século XIX) que, por sua vez, refletem no desenvolvimento da raça-humana com potencial de transformar as concepções de mundo (vide seção 6.7).

A concepção-*Bild* de Boltzmann, enquanto tese epistemológica (CBe), ancorada em uma visão naturalizada do conhecimento, com um forte viés darwiniano-lamarckista, preconiza que todo o conhecimento humano se desenvolve e evolui em termos representacionistas⁹². De acordo com CBe, a concepção de modelo é fundamental para o conhecimento evolucionar. Acompanhemos o seguinte raciocínio, pois essa visão epistemológica naturalista-evolutiva-representacionista nos é um guia para a reconstrução do pensamento boltzmanniano e, por conseguinte, para entendermos o papel da noção de *modelo* nesta concepção – a importância pragmática e cognitiva dos modelos.

Boltzmann entende que não haja condição *a priori* externa ao sujeito epistêmico, transcendendo nossa condição humana, concernente ao conhecimento (no máximo a

⁹¹ Dizemos aqui problemas práticos de ordem científica, pois, para Boltzmann, há problemas teóricos metafísicos da Filosofia ‘pura’ que aparentemente não têm função prática para o conhecimento científico por reformularem questões transcendentais insolúveis (vide seção 6.5).

⁹² Embora tal concepção nos remeta a alguns argumentos de Boltzmann que podemos considerar como psicologistas (como vimos no final da seção 5.1) e que possam apresentar problemas lógicos (não há implicação lógica em dizermos que, se a Natureza, *viz.* os fenômenos, se nos apresenta de maneira descontínua aos sentidos e de que nossa mente não pode apreender o *continuum* não significa que a Natureza seja descontínua) como ontológicos (a Natureza é contínua ou descontínua? De qual propriedade do cérebro evolve o conhecimento humano?), tal interpretação psicologista não compromete a importância do papel da noção de *modelo* dentro da concepção-*Bild* boltzmanniana.

condição *a priori* para o conhecimento decorreria de algum mecanismo inato e hereditário de transmissão das *leis do pensamento* que favorecem ao conhecimento evolver). Para Boltzmann, todas as nossas ideias, todos os nossos pensamentos, são representações subjetivas. Por sua vez, as representações são subjetivas, pois são imagens que fazemos acerca do mundo internamente. Nosso pensamento não tem acesso às informações essenciais para descrevermos e explicarmos a Natureza, ele é limitado pelas nossas percepções e pela nossa memória. Nossas percepções do mundo e nossos conceitos pré-elaborados do mundo são os constritores de nossas representações. Aliás, se a representação pode ser tomada como uma faculdade teórica elementar para todo o saber (incluindo o científico) e ela é autorreferente, ou seja, qualquer representação de outra representação apenas pode ocorrer dentro da esfera desta faculdade, ou capacidade representacional; isto posto, a própria representação também é um constritor ao conhecimento mediato.

Destarte, nossas representações não têm contato direto com os fenômenos do mundo, elas apenas ocorrem na mente do sujeito epistêmico. O limite ao nosso pensamento dá-se dentro desta esfera representacional e é ali que são elaboradas as imagens (*Bilder*) do mundo percebido, ou imagens que, mesmo em se tratando de hipóteses que envolvem entidades inobserváveis e imponderáveis, referem-se a algum fenômeno do mundo.

Estas imagens, portanto, são os modelos teóricos.

Nos relacionamos com o mundo e com nossos modelos teóricos organizados em nossa memória e elaboramos novos modelos teóricos, constantemente. Todavia, como nosso intelecto, ou nossa faculdade representacional não tem acesso às certezas absolutas, nossos modelos apenas podem ser considerados análogos aos fenômenos que procuram cobrir. Dito de outra forma, embora possa existir um mundo real independentemente de nossas faculdades teóricas, como cria Boltzmann, as verdades são-nos interditas pelos próprios constritores naturais (nossas percepções, nossa memória e a própria condição representacional) do saber – a única verdade pragmática é a de que existe um mundo independentemente de nossas representações.

Destarte, nós apenas modelamos indiretamente (subjetivamente) o mundo real (e mesmo nosso mundo hipotético). Nossos modelos são análogos, não são uma

representação realista do mundo, no máximo, uma representação contrafactual do mundo, ou seja, se não alcançamos o absoluto via pensamento, aos nossos modelos teóricos cabe apenas ‘dizer que o mundo talvez seja assim’, hipoteticamente. Isso levará a implicações metodológicas pragmáticas, pois, se nossas teorias científicas não são estritamente asserções verdadeiras sobre o mundo, e sim modelos que guardam algum grau de similaridade para com os fenômenos, nossos modelos científicos, para assim serem considerados, devem passar pelo crivo de alguns critérios de seleção teórica para demonstrarem sua utilidade.

Nesta visão epistêmica de mundo da concepção-*Bild* boltzmanniana, em termos naturalistas-evolutivos-representacionistas, enquadrados a ICN mecânico-estatística de Boltzmann. ‘Mecânico’, haja vista que Boltzmann esteve comprometido com uma visão de viés mecanicista de natureza a partir da Teoria Cinética dos Gases (em que os fenômenos macroscópicos podem ser descritos e explicados em termos microscópicos via interações entre átomos e moléculas, mesmo que hipoteticamente). ‘Estatística’, enquanto uma medida de nossa ignorância, pois se não temos conhecimento de, absolutamente, todas as interações possíveis entre os fenômenos, nós apenas podemos fazer asserções (como, p.e., predições) probabilísticas sobre os fenômenos, propriamente.

Desse raciocínio decorrem as seguintes conclusões prévias: (a) que elaboramos modelos a todo instante acerca do mundo e acerca de nossos modelos, em um processo progressivo e contínuo de refinamento destes modelos que evoluem conforme o homem adapta-se ao seu meio e conforme o homem *modela* o seu meio a bem de seu desenvolvimento próprio; (b) que os nossos modelos são análogos aos fenômenos, enquanto analogias que guardam algum grau de similaridade para com os fenômenos, posto que os modelos teóricos não representam verdades absolutas, e nossos modelos são falíveis. Em suma, o aspecto geral de *CBe* conduz ao aspecto pragmático de *CBf*.

A concepção-*Bild* de Boltzmann, enquanto ferramenta epistêmica (*CBf*), preocupa-se com o aspecto pragmático de nossos modelos. Se os nossos modelos não retratam o mundo como realmente ele é, dos nossos modelos esperamos, ao menos, que eles sejam úteis em vista ao progresso cognitivo do conhecimento científico.

A partir de uma reconstrução parcial da IFC de Boltzmann, pudemos notar que, em acordo com sua axiologia, ou com seus valores cognitivos, os modelos devem

demonstrar sua utilidade para a prática científica. Nestes termos, os modelos teóricos devem ser progressivamente úteis. Antes de tudo, modelos úteis para a prática científica devem ser selecionados dos modelos metafísicos, por exemplo, e um modo crucial de selecionarmos modelos deve estar sempre ao par com o teste empírico. Vimos, de mais a mais, que um modelo torna-se cientificamente útil quando: (a) provar sua utilidade mostrando-se um modelo fértil, no sentido de estimular a nova produção de modelos e de descobertas, como no sentido de ser preditivo empiricamente (fertilidade teórica e preditiva); (b) mostrar suas falhas e promover suas correções (falibilismo); (c) estimular a criatividade e permitir que os cientistas usem, a bem do contexto da descoberta, em termos heurísticos (ultrapassagem da experiência); (d) abarcar um maior domínio de aplicação pretendido, ou seja, uma maior quantidade de fenômenos, da forma mais simples (ampliatividade e simplicidade).

Sua posição filosófica pluralista, teórica e metodológica, somada à uma interpretação evolucionista aplicada ao conhecimento científico (de sua tese epistemológica naturalista-evolutiva-representacionista) embasam sua postura antidogmática frente ao modo dos cientistas lidarem pragmaticamente com seus modelos teóricos. Temos aqui, então, outra característica de destaque de sua epistemologia: o pluralismo.

Um exemplo desta utilidade progressiva, em acordo com suas ICN (mecânico-estatística) e IFC (naturalista, evolucionista, representacionista; pragmática em relação à sua axiologia cognitiva em termos de simplicidade, fertilidade, ampliatividade, falibilidade, adequabilidade e criatividade), temos o atomismo defendido por Boltzmann.

No seu trabalho em Física, podemos notar duas fases que relacionam-se com sua visão atomística: (a) uma primeira fase realista em que o atomismo estaria relacionado à uma ICN da visão-mecânico estatística como preconizado pelos pressupostos ontológicos do programa de pesquisa em Teoria Cinética dos Gases em que os fenômenos observáveis (o macro) decorreriam das interações de átomos e moléculas (o micro); (b) e uma segunda fase, sua fase madura (de acordo com alguns autores vistos, fase que poderíamos chamar por diversas caracterizações, p.e.: realismo construtivista, realismo não-dogmático, realismo moderado, realismo ontológico, materialismo – evidenciando que a rotulação do pensamento de Boltzmann não é trivial) em que o átomo não precisaria de comprovação empírica para existir no interior das teorias conquanto o atomismo fosse útil enquanto

modelo teórico (posto que todo modelo teórico seja falível); conquanto o atomismo fosse tomado como uma *analogia formal* e funcionasse, de forma *instrumentalizada*, como parte da heurística solucionadora de problemas conceituais e empíricos relacionados com seu trabalho em Teoria Cinética dos Gases, Termodinâmica e Mecânica Estatística. Destarte, a defesa do modelo atomista, pensamos, decorre da conjunção de CBe e CBf, e pode ser extensível à defesa do emprego de modelos científicos quaisquer. Desta fase ‘madura’ do atomismo de Boltzmann, podemos destacar, então, dois aspectos da defesa do atomismo enquanto um modelo exemplar ao fazer científico, quais sejam:

- (a) *O metodológico*: dentro da Matemática aplicada à Física, o atomismo era um método de se lidar com o cálculo diferencial ao aplicarmos o conceito de limite, uma contrapartida ao *continuum* do cálculo diferencial, na descrição dos fenômenos naturais. Isso elevaria o grau de precisão de nossa linguagem matemática aplicada a descrição física, pois minimizaria problemas interpretativos a partir da presença do infinito em tais descrições, que poderiam levar a ambiguidades e paradoxos, posto que, aparentemente a Natureza se nos apresenta como descontínua. Boltzmann, destarte, defendeu o emprego no método matemático do cálculo diferencial baseado no discreto, i.e., na discretização de grandezas físicas (e.g., átomos de tempo, átomos de espaço, etc.) e não que o átomo fosse uma componente realista de sua ICN, esse tipo de atomismo é uma abordagem matemática (preferencial a Boltzmann) – o átomo, nessa perspectiva, é uma *analogia-aritmética*, estando assim como uma componente de um imperativo hipotético metodológico. De mais a mais, não apenas pensando em termos de metodologia aplicada a expressão matemática, mas em termos de métodos aplicados à escolha teórica, o atomismo incorporaria os principais valores cognitivos envolvidos no processo de seleção teórica, pois o atomismo se mostrou um modelo (a) adequável ao teste empírico (embora, para Boltzmann, não faz-se Ciência sem hipóteses, abstrações e idealizações, i.e., sem ultrapassar a experiência, vale o empirismo em última instância quando confrontamos nossos modelos com a realidade), (b) simples, pois poderia abarcar uma grande quantidade de fenômenos e (c) útil heurísticamente, dada sua potencial fertilidade preditiva e sua potencial fertilidade teórica;
- (b) *O epistemológico*: mais que defender a realidade do átomo (nossas teorias não têm compromisso com a verdade), subjaz uma defesa em prol do pluralismo teórico e

não apenas, subjaz uma defesa em prol do pluralismo metodológico ao defender o método hipotético-dedutivo (que ele chamou de representação dedutiva, *deduktive Darstellung*). Nesse contexto plural, os modelos teóricos, baseados em relações de fenômenos observáveis (modelos indutivos) quanto em entidades inobserváveis (modelos hipotético-dedutivos), têm ambos a capacidade potencial de serem cognitivamente progressivos para o conhecimento científico. Disso temos que a convivência e a competição entre teorias (pluralismo teórico) sejam profícuas para a Ciência como um todo, pois são estímulos para o aprimoramento teórico e para as descobertas científicas (evolucionismo epistemológico). De mais a mais, esse pluralismo também pode ser ‘lido’ em termos metodológicos, pois Boltzmann propôs que a coexistência de métodos diversos poderia ampliar o horizonte cognitivo dos cientistas, ou seja, não apenas uma metodologia descritivista da fenomenologia físico-matemática seria suficiente, mas uma metodologia ‘explicativa’ associada elevaria o potencial de inteligibilidade de nossas teorias científicas, ou seja, a utilização de modelos diversos, associando modelos icônicos aos modelos teóricos, conferiríamos mais substância às intrincadas relações entre estruturas matemáticas, tomadas como *analogias aritméticas* da estrutura de nossas teorias físicas – esse pluralismo, portanto, elevaria o grau cognitivo em termos heurísticos e pedagógicos de nossas teorias científicas.

Daí a aplicação pragmática de nossos modelos diversos para o progresso do conhecimento científico, e o atomismo seria um modelo exemplar dentro deste contexto cognitivo, seja de forma heurística quanto pedagógica. Em suma, queremos dizer que o exemplo do atomismo é extensível para toda modelagem científica. Para mostrarmos como, em primeiro lugar, a partir de um ponto de vista representacionista, nós fazemos modelos do mundo ao redor a todo momento (nossos pensamentos equivalem-se à modelos teóricos, e é inevitável não trabalharmos em Ciência sem elaborarmos modelos) e, e, segundo lugar, que os modelos científicos que estiverem em conformidade com as ICN e IFC de Boltzmann, a despeito de inferirem inobserváveis ou não, a despeito de quais tipos de imagens (*Bilder*) empreguemos e a despeito de qual método escolhamos, enquanto os modelos se mostrarem úteis, a despeito do falibilismo de nossa capacidade representacional, os modelos (diversos, desde os teóricos aos modelos espaciais concretos em três dimensões, que, por definição de Boltzmann, são extensões daqueles primeiros)

podem e devem ser aplicados em prol do progresso científico sempre que estiverem em conformidade com a empiria. Posto que nossa capacidade subjetiva de modelar o mundo é limitada por constritores naturais, mas a condição de elaborarmos modelos não, um dos clamores de Boltzmann, a bem do progresso cognitivo, seria afrouxarmos nossos constritores metodológicos aplicados ao fazer científico, a partir de sua defesa ao pluralismo – posto que, em última instância, todas as teorias científicas estejam num mesmo patamar enquanto imagens mentais, todas são modelos com potencial de gerar progressos cognitivos sob o crivo de critérios de seleção.

Os modelos em geral, teóricos ou mentais e icônicos ou concretos, dentro da ecologia global de Boltzmann, ou seja, dentro de sua concepção-*Bild*, têm funções diversas que fortalecem a importância de seu emprego científico: (a) os modelos são uma forma econômica e didática de transmitirmos os fatos científicos complexos (posto que todo modelo implica em simplificações, abstrações e idealizações em relação analógica com os fenômenos que procuram cobrir), sobretudo quando associamos aos modelos teóricos os modelos icônicos com o intuito de tornar aqueles primeiros mais claros e intuitivos, então temos a sua importância cognitiva em termos pedagógicos e heurísticos postas em relevo, (b) os modelos têm aplicabilidade prática tanto tecnológica quanto experimental, sobretudo em se tratando de modelos concretos aplicados ao teste e à comprovação dos modelos teóricos. Em suma, os modelos têm uma ampla aplicabilidade, tanto nas áreas de pesquisa quanto de instrução científicas: os modelos representam o modo de os cientistas fazerem Ciência.

Mais uma aplicação cognitiva que destacamos dessa concepção-*Bild* é a de que, por meio da análise analógica dos modelos, podemos descrever as transformações cognitivas históricas científicas. Ou seja, os modelos têm uma aplicabilidade metacientífica analítica na dinâmica da Ciência de viés historicista, como o próprio Boltzmann exemplifica via relatos históricos da Ciência, vistos em seu artigo de 1902, *Modelo* (vide seção 7.2).

Não obstante concordemos que possa parecer algo especulativo, gostaríamos de destacar outra conclusão em potencial a partir de dois elementos que consideramos ao longo deste trabalho: (a) o de Boltzmann pressupor que todos os nossos pensamentos são modelos; (b) e o de tomarmos as equações como um tipo de modelo específico, a *analogia aritmética* como estrutura de um modelo teórico. Isto é, tomando que teorias, enquanto

imagens mentais sejam modelos, e que também suas equações sejam modelos, podemos inferir que Boltzmann sugere que haja modelos dentro de modelos, em nossa interpretação, o que nos revelaria a estrutura teórica, ou classes de modelos instanciais dentro das teorias, dito de outra forma, estaríamos ‘enxergando’ modelos formais dentro de um modelo teórico. Mas como vimos, um modelo teórico não é apenas seu formalismo; um modelo teórico pode ser expresso por meio de muitas outras linguagens (ou modelos) que não a linguagem matemática. Aliás, os modelos teóricos podem ser complementados por modelos concretos que são como sua extensão ou sua materialização (reificação) por meio de muitas outras linguagens visuais, como a escrita, como por meio de diagramas e gráficos, como, até, por meio de mecanismos, etc. Embora não tenha sido o nosso escopo investigar a filosofia da linguagem em Boltzmann, podemos vislumbrar aqui uma forma prototeórica de uma abordagem metacientífica de tipo (Af) através da possibilidade de modelos dentro de modelos.

Que os devidos cuidados sejam tomados aqui, sobre como cada abordagem lida com o conceito de modelo a fim de se evitar anacronismos levianos. Obviamente seria incorreto alinhar as diversas acepções do termo “modelo” (daquela empregada por Boltzmann àquelas utilizadas pelos filósofos das famílias sintática e semântica) bem como o formalismo que os modelos representam para a pesquisa metacientífica e metateórica contemporâneas, mas não nos parece equivocado vislumbrar uma relação genealógica destas acepções ao considerarmos as transformações históricas dos modelos dentro de um pensamento científico e filosófico, sobretudo quando consideramos um dado encadeamento de influências entre escolas relacionadas com a Filosofia da Ciência. Desde Boltzmann, os modelos passaram a ter importância progressiva na análise e reconstrução das teorias científicas. De mais a mais, está documentado a ocorrência da influência do pensamento boltzmanniano, sobretudo de sua filosofia da linguagem (Boltzmann dava muita importância para que a linguagem científica fosse clara e inequívoca, livre de ambiguidades, dados as suas rugas para com a Metafísica da Filosofia idealista) nos desdobramentos do positivismo lógico e, por conseguinte, a partir das limitações e problemas oriundos desta abordagem denominada *visão recebida*, vislumbramos o surgimento das abordagens historicistas até culminarmos na família semântica. Não obstante isso se nos pareça uma conclusão especulativa, o estudo da filosofia da linguagem em Boltzmann se nos parece outro ponto que merece atenção e

esclarecimentos, portanto merecedor de pesquisas subsequentes a partir da ecologia cognitiva global de Boltzmann.

Queremos, portanto, além das especulações acima, deixar evidente que uma conclusão patente a partir desta investigação é a de que, pragmaticamente, os modelos em geral conferem um poder cognitivo ao fazer científico e que os modelos são indissociáveis deste fazer científico, a partir de nossa interpretação. Mesmo que tenhamos deparado, a partir de algumas afirmações decorrentes da abordagem naturalista de Boltzmann, com alguns argumentos logicamente inconsistentes que nos remetam a problemas ontológicos e que são baseados apenas em preferências particulares de Boltzmann (que poderiam enfraquecer sua defesa tanto ao atomismo quanto ao emprego de modelos na prática científica) (vide nota 92 acima), podemos concluir que o argumento de defesa ao emprego dos diversos tipos de modelos em termos cognitivos, a partir de uma leitura pragmática do representacionalismo, é a chave para a coerência de seu sistema de pensamento. Ou seja, se nosso intelecto não tem acesso pleno aos fenômenos e nossos modelos são, portanto, analogias que guardam algum grau de similaridade com o fenômeno que pretendem cobrir, ao nosso intelecto impõe-se o limite de elaborarmos modelos falíveis para, posteriormente, testarmos estes modelos na prática empírica. Isso implica em uma associação equilibrada da criatividade e ousadia do cientista em elaborar modelos que ultrapassem a experiência com uma rigorosa (mas não dogmática e severa) metodologia seletiva. Isto posto, e limites respeitados, os modelos tornam-se importantes e imprescindíveis ferramentas epistêmicas para o fazer científico e para o progresso cognitivo da Ciência em geral.

Para finalizarmos, permitamo-nos uma analogia a partir da cromodinâmica quântica do ‘modelo-padrão’ da Física de partículas contemporânea: assim como os hipotéticos *Glúons*, enquanto intermediadores da força forte, que, por conseguinte, garantem a coesão entre os elementos constitutivos do núcleo atômico (e.g., os *quarks*), os modelos tomados em termos pragmáticos e cognitivos garantem a coesão forte e de longo alcance entre as estruturas constitutivas das imagens científicas de natureza e as imagens filosóficas de ciência da ecologia cognitiva global, ou da concepção-*Bild* de Boltzmann. Em suma, os modelos, enquanto ferramentas epistêmicas, são os *Glúons* que garantem a coerência cognitiva forte dentro da *Bildtheorie* boltzmanniana concernente ao fazer científico.



Figura 20: Túmulo de Boltzmann, em que podemos notar, no alto, a fórmula $S = K \log W$ (onde o termo K é a constante de Boltzmann, que corresponde à grandeza $1,38 \times 10^{-23}$ joules/Kelvin), que relaciona a entropia com a probabilidade, chamada de o *princípio de Boltzmann*, por Einstein (fonte: CERCIGNANI, 1998, p. 17)

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia**. 5ª ed. Tradução de Alfredo Bosi e Ivone Castilho Benedetti. São Paulo: Martins Fontes, 2007. 1210 p.

ABRANTES, Paulo Cesar Coelho. A filosofia da ciência de H. Hertz (1857-94). In: ÉVORA, F. (Ed.) **Século XIX: o nascimento da ciência contemporânea**. Campinas: Coleção CLE, v. 11, 1992. p. 351-375.

_____. **Imagens de natureza, imagens de ciência**. Campinas: Papyrus, 1998. 247 p.

_____. Models and the dynamics of theories. **Philosophos**, Goiânia, v. 9, n. 2, p. 225-269, jul/dez. 2004.

AGASSI, Joseph. The nature of scientific problems and their roots in metaphysics. In: BUNGUE, Mario (Ed.). **The critical approach to science and philosophy**, St. Louis: Transaction Publishers, 1964. p. 189-211.

_____. **Science in flux**. Boston studies in the philosophy of science; v. 28, Synthese library; v. 80. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1975. 579 p.

AURANI, Katya Margareth. **As origens da Segunda Lei da termodinâmica**: entropia e probabilidade de estado. São Bernardo do Campo: EdUFABC, 2015. 101 p.

BACHELARD, Gaston. A Filosofia do Não. 1940. In: _____. **A Filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. São Paulo: Abril Cultural, 1978. p. 1-87.

BAILER-JONES, Daniela. Tracing the development of models in the Philosophy of Science. In: NERCESSIAN, N. J.; THAGARD, P. **Model-based reasoning in scientific discovery**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999. p. 23-40.

BEZERRA, Valter Alnis. Maxwell, a teoria de campo e a desmecanização da física. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 177-220, abr.-jun. 2006.

_____. Estruturas conceituais e estratégias de investigação: modelos representacionais e instanciais, analogias e correspondência. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 585-609, jul.-set. 2011.

BLACKMORE, John. **Ludwig Boltzmann His Later Life and Philosophy, 1900–1906 - Book One: A Documentary History** (Boston studies in the philosophy of science, v.168). Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1995. 272 p.

_____. Ludwig Boltzmann, troubled genius as philosopher – introduction. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p 1-9, April. 1999a.

_____. Boltzmann and epistemology. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p. 157-189, April. 1999b.

BOLTZMANN, Ludwig Edward. A Segunda Lei da teoria mecânica do calor. 1886. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 25-49. Título original: Populäre Schriften.

_____. Sobre o significado das teorias. 1890. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 51-56. Título original: Populäre Schriften.

_____. Sobre os métodos da física teórica. 1892. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 15-24. Título original: Populäre Schriften.

_____. Acerca de viagens aéreas. 1894. Tradução de Sílvio R. Dahemn. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 327-332, set. 2006.

_____. On certain questions of the theory of gases. 1895. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 201-209.

_____. Uma consideração matemática sobre o energetismo. 1896. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 57-70. Título original: Populäre Schriften.

_____. Sobre o caráter imprescindível do atomismo na ciência natural. 1897a. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 71-88. Título original: Populäre Schriften.

_____. On the question of the objective existence of processes in inanimate nature. 1897b. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 57-76.

_____. Lectures on the principles of mechanics, part one. 1897c. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 223-254.

_____. Algo mais sobre o atomismo. 1897d. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 89-92. Título original: Populäre Schriften.

_____. Sobre o desenvolvimento dos métodos da física teórica em tempos recentes. 1899a. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de

Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 93-123. Título original: Populäre Schriften.

_____. On the fundamental principles and equations of mechanics, I, II. 1899b. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 101-128.

_____. On the development of the methods of theoretical physics in recent times. 1899c. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 77-100.

_____. Os princípios da mecânica I. 1900. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 125-154. Título original: Populäre Schriften.

_____. Os princípios da mecânica II. 1902a. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 125-154. Título original: Populäre Schriften.

_____. Modelo. 1902b. Tradução de Cristina de Amorim Machado. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 381-389, abr.-jun. 2013.

_____. On the principles of mechanics II. 1902c. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 146-152.

_____. Boltzmann's philosophy notes for three lectures. 1903a. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p. 191-202, April. 1999.

_____. Uma conferência inaugural sobre filosofia da natureza. 1903b. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 155-162. Título original: Populäre Schriften.

_____. 1. Vorlesung 26.10. 1903c. In: FASOL-BOLTZMANN, Ilse M. (Ed.) **Principien der Naturphilosophie: lectures on Natural Philosophy, 1903-1906**. Tradução e edição de Ilse M. Fasol-Boltzmann. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 1990. p. 78-80.

_____. Sobre a mecânica estatística. 1904. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.). **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 163-180. Título original: Populäre Schriften.

_____. On a thesis of Schopenhauer's. 1905. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. 185-198.

_____. In: ROHRLICH, Fritz. A poem by Ludwig Boltzmann. **American Journal of Physics**, v. 60, n. 11, p. 972-973. 1992.

BORGES, Jorge Luis. **Ficções**. Tradução de Carlos Nejar. 3ª reimpressão da 3ª ed. São Paulo: Editora Globo S.A., 2006. 197 p. Título original: Ficciones.

BRODA, Engelbert. Philosophical Biography of L. Boltzmann. In: COHEN, E. G. D.; THIRRING, W. (Ed.). **The Boltzmann Equation: Theory and Applications**. Wien: Springer-Verlag, 1973. p. 17-51.

_____. **Ludwig Boltzmann: man, physicist, philosopher**. Tradução de Larry Gray e Engelbert Broda. Woodbridge: Ox Bow Press, 1983. 179 p. Título original: Ludwig Boltzmann: mensch, physiker, philosoph.

BRUSH, Stephen George. Mach and atomism. **Synthese**, Dordrecht, v. 18, n. 2-3, p. 192-215, April. 1968.

_____. Nietzsche's recurrence revisited - the French connection. **Journal of History of Philosophy**, Baltimore, v. 19, n. 2, p. 235-238, April. 1981

_____. **The kinetic theory of gases** – an anthology of classic papers with historical commentary. London: Imperial College Press, 2003. 647 p.

CALVINO, Italo. **Seis propostas para o próximo milênio – lições americanas**. Tradução de Ivo Barroso. 3ª edição, 10ª reimpressão. São Paulo: Companhia das Letras, 2002. Título original: Lezioni americane – sei proposte per il prossimo millennio.

CASTRO, Eduardo. Defending the indispensability argument: atoms, infinity and the continuum. **Journal for General Philosophy of Science**, Dordrecht, v. 44, n. 1, p. 41-61, July. 2013.

CERCIGNANI, Carlo. **Ludwig Boltzmann: the man who trusted atoms**. Norfolk: Oxford University Press, 1998. 329 p.

CHALMERS, Alan. Atomism from the 17th to the 20th Century. In: ZALTA, Edward N. (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford, October. 2010. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/entries/atomism-modern/>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

CLARK, Peter. Atomism versus thermodynamics. In: HOWSON, Colin (Ed.). *Method and appraisal in the physical sciences – the critical background to modern science, 1800-1905*. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. p. 41-105.

DAHMEN, Sílvio Renato. A obra de Boltzmann em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 281-295, set. 2006.

DE COURTENAY, Nadine. The role of models in Boltzmann's *Lectures on Natural Philosophy* (1903-1906). In: HEILDERBERGER, Michael; STADLER, Friedrich (Ed.). **History of Philosophy of Science - New Trends and Perspectives**. Dordrecht: Kluwer, 2002. p. 103-119.

DE GROOT, S. R. Foreword. In: MCGUINNESS, Brian (Ed.). **Theoretical physics and philosophical problems: selected writings**. Tradução de Paul Foulkes. Boston: D. Reidel Publishing Company, Inc., 1974. p. ix-xiii.

DE REGT, Henk W. Philosophy and the kinetic theory of gases. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Oxford, v. 47, n. 1, p. 31-62, March. 1996.

_____. Ludwig Boltzmann's Bildtheorie and scientific understanding. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p. 113-134, April. 1999.

_____. Scientific realism in action: molecular models and Boltzmann's Bildtheorie. **Erkenntnis**, Dordrecht, v. 63, n. 2, p. 205-230, September. 2005.

DELTETE, Robert. Helm and Boltzmann: energetics at the Lübeck Naturforscherversammlung. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p. 45-68, April. 1999.

DIKSTERHUIS, E. J. **The mechanization of the world picture - Pythagoras to Newton**. Tradução de C. Dikshoorn. Princeton: Princeton University Press, 1986. 537 p. Título original: De Mechanisering van het Wereldbeeld.

DILWORTH, Craig. **The metaphysics of science: an account of modern science in terms of principles, laws and theories**. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 2007. 333 p.

DION, Sonia Maria. Pierre Duhem and the inconsistency between instrumentalism and natural classification. **Studies in History and Philosophy of Science – Part A**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 12-19, March. 2013.

_____. Comunicação pessoal. 2015.

_____. Natural classification and Pierre Duhem's historical work: which relationships? **Studies in History and Philosophy of Science – Part A**, Oxford, v. 69, p. 34-39, June. 2018.

DUTRA, Luiz Henrique de Araújo. A ciência e o conhecimento humano como construção de modelos. **Philosophos**, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 247-286, ago.-dez. 2006.

EINSTEIN, Albert. **Ideas and opinions**. Tradução de Sonja Bargmann. 5^a ed. New York: Crown Publishers, Inc., 1960. 877 p. Título original: Mein Weltbild.

_____. Indução e dedução na física (1919). Tradução de Valter Alnis Bezerra. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 663-664, abr.-jun. 2005.

ELKANA, Yehuda. Boltzmann's scientific research program and its alternatives. In: _____ (Ed.). **The interaction between science and philosophy**. New Jersey: Humanities Press, 1974. p. 243-279.

FERRER, Diogo. O significado do conceito em Fichte (1805). **Revista Filosófica de Coimbra**, Coimbra, v. 4, n. 8, p. 407-438, out. 1995.

FEYERABEND, Paul K. Boltzmann, Ludwig. In: Edwards, Paul (Ed.). **The Encyclopedia of Philosophy**. Reimpressão. New York: The Macmillan Publishing Company and Free Press, v. 1, 1967. p. 334-337.

_____. Mach's theory of research and its relation to Einstein. **Studies in History and Philosophy of Science**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 1-22. 1984.

_____. **A ciência em uma sociedade livre**. Tradução de Vera Joscelyne. São Paulo: Editora UNESP, 2011. 288 p. Título original: Science in a free society.

FICHTE, Johann Gottlieb. Sobre o conceito da doutrina-da-ciência ou da assim chamada filosofia. 1794. In: FILHO, Rubens Rodrigues Torres (Org.). **A doutrina-da-ciência de 1794 e outros escritos / Johann Gottlieb Fichte**. 5ª edição. Tradução de Rubens Rodrigues Torres Filho. São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda., 1992. p. 3-176.

_____. A doutrina-da-ciência e o saber absoluto. 1801. In: FILHO, Rubens Rodrigues Torres (Org.). **A doutrina-da-ciência de 1794 e outros escritos / Johann Gottlieb Fichte**. 5ª edição. Tradução de Rubens Rodrigues Torres Filho. São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda., 1992. p. 253-293.

FLAMM, Dieter. Life and personality of Ludwig Boltzmann. In: COHEN, E. G. D.; THIRRING, W. (Ed.). **The Boltzmann Equation: Theory and Applications**. Wien: Springer-Verlag, 1973. p. 3-16.

_____. Ludwig Boltzmann and his influence on Science. **Studies in History and Philosophy of Science**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 255-278, December. 1983.

_____. Ludwig Boltzmann – a pioneer of modern physics. **Cornell University Library**, Ithaca, 2008. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/physics/9710007v1.pdf>>. Acesso em: 13 jan 2016.

GARDNER, Michael R. Realism and instrumentalism in 19th-century atomism. **Philosophy of Science**, Michigan, v. 46, n. 1, p. 1-34, March. 1979.

GIERE, Ronald N. **Science without laws**. Chicago: The University of Chicago Press, 1999a. 285 p.

_____. Using models to represent reality. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, Nancy J.; THAGARD, P. (Ed.). **Model-based reasoning in scientific discovery**. New York: Springer US, 1999b. p. 41-57.

_____. Naturalism. In: NEWTON-SMITH, H. N. (Ed.). **A companion to the Philosophy of Science**. Reimpressão. Massachusetts: Blackwell Publishers Ltd, 2001. p. 308-310.

_____. Scientific realism: old and new problems. **Erkenntnis**, Dordrecht, v. 63, n. 2, p. 149-165, September. 2005.

HARMAN, Peter Michael. **Energy, force, and matter** – the conceptual development of nineteenth-century physics. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 182 p.

HARRÉ, Rom. Wittgenstein: science and religion. **Philosophy**, Cambridge, n. 2, p. 211-237, April. 2001.

HEISENBERG, Werner Karl. Abstraction in modern science. In: ENGLERT, B. G. *et al.* (Ed.). **Lecture Notes in Physics**, vol 746. Dordrecht: Springer, 2008. p. 1-15.

HERTZ, Heinrich. Princípios da mecânica. In: VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; COELHO, Ricardo Lopes (Org.). **Física mecânica e filosofia: o legado de Hertz**. Tradução de Gabriel Dirma Leão. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012. p. 67-125. Título original: Die prinzipien der mechanik in neuen zusemmenhangе dargestellt.

HESSE, Mary B. Models and analogies. In: NEWTON-SMITH, H. N. (Ed.). **A companion to the Philosophy of Science**. Reimpressão. Massachusetts: Blackwell Publishers Ltd, 2001. p. 299-307.

HIBBEN, John Grier. The theory of energetics and its philosophical bearings. **The Monist**, Buffalo, v. 13, n. 3, p. 321-330, April. 1903.

HIEBERT, Erwin N. Boltzmann's conception of theory construction: the promotion of pluralism, provisionalism, and pragmatic realism. In: HINTIKKA, Jaakko; GRUENDER, David; AGAZZI, Evandro (Ed.). **Probabilistic thinking, Thermodynamics and the interaction of the History and Philosophy of Science** – Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science, vol. II (Synthese library: Studies in Epistemology, Logic, Methodology, and Philosophy of Science, vol. 146). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1980. p. 175-198.

_____. Book review of *Principien der Naturphilosophi: Lectures on natural philosophy, 1903-1906*. **Isis**, Chicago, v. 83, n. 4, p. 680-681. 1992.

HIGGINS, E. Tory. The Aboutness Principle: A Pervasive Influence on Human Inference. **Social Cognition**, Vol. 16, No. 1, p. 173-198, March. 1998.

HOYER, Ulrich. Thermodynamics and philosophy – Ludwig Boltzmann. **Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics**, Berlin, v. 12, n. 3, p. 11-26, January. 1987.

JAMMER, Max. **Conceitos de força** – estudo sobre os fundamentos da dinâmica. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda. e Editora PUC-Rio, 2011. 333 p. Título original: Concepts of force: a study in the foundations of dynamics.

JANIK, Allan; TOULMIN, Stephen. **Wittgenstein's Vienna**. New York: Touchstone, 1973. 315 p.

KLEIN, Martin J. The development of Boltzmann's statistical ideas. In: COHEN, E. G. D.; THIRRING, W. (Ed.). **The Boltzmann Equation: Theory and Applications**. Wien: Springer-Verlag, 1973a. p. 53-106.

_____. Mechanical Explanation at the End of the Nineteenth Century. **Centaurus**, Chichester, v. 17, nº 1, p. 58-82, March. 1973b.

KNUUTTILA, Tarja. Modeling and representing: an artefactual approach to model-based representation. **Studies in History and Philosophy of Science**, Oxford, v. 42, n. 2, p. 262-271, June. 2011.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 9ª edição, 1ª reimpressão. São Paulo: Editora Perspectiva, 2009. 260 p. Título original: The structure of scientific revolution.

LARANJEIRAS, Cássio Costa. **O programa de pesquisa de Ludwig Boltzmann para a Mecânica Estatística – uma reconstrução racional**. 2002. 267 p. Tese orientada pelo Prof. José Raimundo Novaes Chiappin e apresentada em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Doutor em Filosofia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LAUDAN, Larry; DONOVAN, Arthur; LAUDAN, Rachel; BARKER, Peter; BROWN, Harold; JARRETT, Leplin; THAGARD, Paul; WYKSTRA, Steve. Mudança científica: modelos filosóficos e pesquisa histórica. Tradução de Caetano Ernesto Plastino. **Estudos Avançados**, São Paulo, vol. 7, n. 19, p. 7-89, set.-dez. 1993.

LAUDAN, L. Science and values – **the aims of Science and their role in scientific debate**. California: University of California Press, 1984. 141 p.

_____. **O progresso e seus problemas – rumo a uma teoria do crescimento científico**. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 2010. 352 p. Título original: Progress and its problems: towards a theory of scientific growth.

LINDLEY, David. **Boltzmann's atom: the great debate that launched a revolution in physics**. New York: The Free Press, 2001. 260 p.

LORENZANO, Pablo. Documentos fundamentales: la concepción científica del mundo: el Cículo de Viena. **REDES – Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología**, Buenos Aires, v. 9, n. 18, p. 103-149, jun. 2002.

_____. The semantic conception and the strutralistic view of theories: a critique of Suppe's criticisms. **Studies in History and Philosophy of Science**, Oxford, vol. 44, n. 4, p. 600-607, December. 2013.

LOURES, Marcus Vinícius Russo. **A Crítica de Ernst Mach aos Absolutos Newtonianos**. 2011. 115p. Dissertação (mestrado) – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2011.

MACH, Ernst. **Principles of the theory of heat**. Tradução de Martin J. Klein. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1986. 456 p. Título original: Die Principien der Wärmelehre.

_____. **História e raízes do princípio de conservação de energia**. Tradução de Gabriel Dirma Leitão. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2014. 108 p. Título original: Die Geschichte und die Wurzel des Stazes von der Erhaltung der Arbeit.

MAXWELL, James Clerk. Are there real analogies in Nature? (1856). In: HARMAN, P. M. **The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell. Vol. I – 1848-1862.** Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. xxvii + 748.

_____. On physical lines of force – Part II. (1861). In: NIVEN, W.D (Ed.). **The Scientific Papers of James Clerk Maxwell – Vol. I.** New York: Dover, 1965. 607 p.

_____. **Matter and motion.** London: The Sheldon Press, 1925. 163 p.

MOULINES, C. Ulises; DÍEZ, José A. **Fundamentos de filosofía de la ciencia.** 2ª ed. Barcelona: Editorial Ariel, S.A., 1999. 501 p.

MOULINES, C. Ulises. The nature and structure of scientific theories. **Metatheoria,** Buenos Aires, v.1, n. 1, p. 15-29. 2010.

NERSESSIAN, Nancy J. Model-based reasoning in conceptual change. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, Nancy J.; THAGARD, P. (Ed.). **Model-based reasoning in scientific discovery.** New York: Springer US, 1999. p. 5-22.

NEUBER, Matthias. Physics without pictures? The Ostwald-Boltzmann controversy, and Mach's (unnoticed) middle-way. In: HEILDERBERGER, Michael; STADLER, Friedrich (Ed.). **History of Philosophy of Science - New Trends and Perspectives.** Dordrecht: Kluwer, 2002. p. 185-198.

NIINILUOTO, Ilka. Theories, approximations, and idealizations. In: MARCUS, Barcan et al. (Ed.). **Logic, methodology and philosophy of science VII.** Elsevier Science Publishers: Amsterdam, 1986. p. 255-289.

_____. Realism, relativism, and constructivism. **Synthese,** Dordrecht, v. 89, n. 1, p. 135-162, October. 1991.

NYHOF, John. Objections to the Kinetic Theory. **The British Journal for the Philosophy of Science,** Oxford, v. 39, n. 1, p. 81-109, March. 1988.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica 2 – fluidos, oscilações e ondas de calor.** 4ª edição, 2ª reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005. 314 p.

O'CONNOR, John J.; ROBERTSON, Edmund F. **Ludwig Boltzmann.** St. Andrews - Scotland, September, 1998. Disponível em: <<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Boltzmann.html>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

OKI, Maria da Conceição Marinho. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova,** São Paulo, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, fev. 2009.

OSTWALD, Wilhelm. The modern theory of energetics. **The Monist,** Buffalo, v. 17, n. 4, p. 481-515, October. 1907.

PLANCK, Max. **Autobiografia científica e outros ensaios.** Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012. 236 p.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica**. 13ª reimpressão. Tradução de Leonidas Hengberg e Octanny Silva. São Paulo: Cultrix, 2007. 567 p. Título original: The logic of scientific discovery.

PORTO, C. M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 4, artigo n. 4601, p. 1-11, dezembro. 2013.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 1996. 199 p. Título original: La fin des certitudes – temps, chaos et les lois de la nature.

_____. **Ciência, razão e paixão**. Tradução de Edgard de Assis Carvalho, Isa Hetzel, Lois Martin Garda e Maurício Macedo. 2ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009. 112 p.

RAJASEKAR, S.; ATHAVAN, N. Ludwig Edward Boltzmann. **Cornell University Library**, Ithaca, 2006. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/physics/0609047.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

RENN, Jürgen. Boltzmann and the end of the mechanistic worldview. In: GALLAVOTTI, Giovanni; REITER, Wolfgang L.; YNGVASON, Jakob. (Ed.). **Boltzmann's Legacy**. Zürich: European Mathematical Society, 2008. p. 7-25.

ROQUE, Tatiana; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. A noção de modelo na virada do século XIX para o século XX. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 281-304, abr.-jun. 2013.

ROVELLI, Carlo. **A ordem do tempo**. Tradução de Silvana Cobucci. Rio de Janeiro: Objetiva, 2018. 188 p. Título original: L'ordine del tempo.

SAGAN, Carl. **Variiedades da experiência científica: uma visão pessoal da busca por deus**. Tradução de Fernanda Ravagnani. São Paulo: Companhia das Letras, 2008. 302 p. Título original: The varieties of scientific experience – a personal view of the search for god.

SARAMAGO, José. **Objecto Quase**, 12ª reimpressão. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SCHOLLWÖCK, Ulrich. Why does time arrow have a future? The physical origins of the arrow of time. **Configurations**, Baltimore, v. 23, n. 2, p. 177-196, Spring. 2015.

SMITH, Barry. Austrian origins of logical positivism. In: GOWER, Barry (Ed.). **Logical Positivism in Perspective: Essays on Language, Truth and Logic**. London/Sidney: Croom Helm, 1987. p. 35-68.

STÖLTZNER, Michael. Vienna indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p 85-111, April. 1999.

SUPPE, Frederick. Understanding scientific theories: an assessment of developments, 1969-1998. **Philosophy of Science**, Chicago, v. 67, n. 3, p. S102-S115, September. 2000.

TURNER, Joseph. Maxwell on the method of physical analogy. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Oxford, v. 6, n. 23, p. 226-238, November. 1955.

VAN STRIEN, Marij. Continuity in nature and in mathematics: Boltzmann and Poincaré. **Synthese**, Dordrecht, v. 192, n. 10, p. 3275-3295, October. 2015.

VÁZQUEZ, Daniel. Metáfora y analogia em Aristóteles: Su distinción y uso en la ciencia y la filosofía. **Tópicos – Revista de Filosofía**, Cidade do México, n. 38, p. 85-116. 2010.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. Atomismo, Energetismo e pluralismo teórico no pensamento epistemológico de Ludwig Boltzmann. **Química Nova**, São Paulo, v. 17, n. 6, p. 461-464, nov./dez. 1994.

_____. A concepção atomista de Ludwig Boltzmann. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 53-79, jan./jun. 1997.

_____. Apresentação aos escritos Populares de Ludwig Boltzmann. In: BOLTZMANN, L. **Escritos populares**. Tradução de Antonio Augusto Passos Videira. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004. p. 7-13. Título original: Populäre Schriften.

_____. Boltzmann, Darwin e as leis do pensamento. **Revista Portuguesa de Filosofia**, Braga, v. 61, n. 1, p. 225-245, jan./mar. 2005.

_____. Boltzmann, física teórica e representação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 269-280, set. 2006.

_____. Modelo: a noção síntese das concepções filosóficas de Boltzmann. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 373-380, abr.-jun. 2013.

VISSER, Henk. Boltzmann and Wittgenstein: or how pictures became linguistic. **Synthese**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p. 135-156, April. 1999.

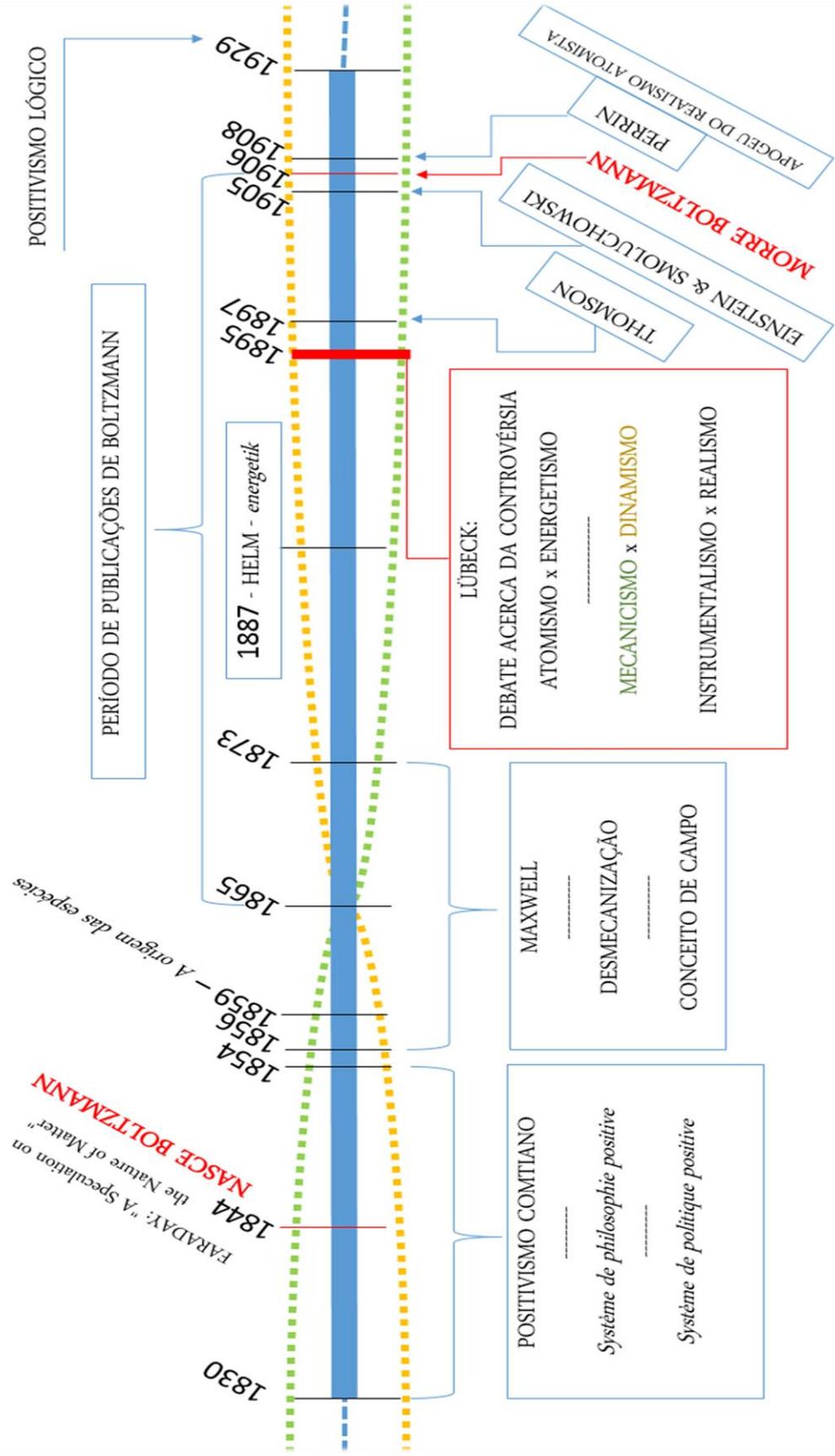
WESTFALL, Richard S. **The construction of modern science** – mechanisms and mechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 1977. 171 p.

WILHOLT, Torsten. Ludwig Boltzmann's mathematical argument for atomism. In: HEILDERBERGER, Michael; STADLER, Friedrich (Ed.). **History of Philosophy of Science - New Trends and Perspectives**. Dordrecht: Kluwer, 2002. p. 199-211.

WOLTERS, Gereon. Mach. In: NEWTON-SMITH, H. N. (Ed.). **A companion to the Philosophy of Science**. Reimpressão. Massachusetts: Blackwell Publishers Ltd, 2001. p. 252-256.

APÊNDICE

LINHA DE UNIVERSO – CONTEXTUALIZANDO O ATOMISMO BOLTZMANNIANO



ANEXO 1 – Compilação da produção textual publicada por Boltzmann

A tabela a seguir é uma compilação dos artigos de Boltzmann publicados entre os anos de 1865 e 1905. Não constam desta lista os livros de Boltzmann, a saber: *Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes*, 2 v. (1891); *Vorlesungen über Gastheorie*, 2 v. (1898); *Vorlesungen über die Prinzipien der Mechanik*, 2 v. (1904); o artigo de revisão da *Enzyklopaedie der mathematischen Wissenschaften* intitulado *Kinetische Theorie der Materie*, em colaboração com J. Nabl; o livro *Das mechanische Potential und eine Theorie der Figur der Erde*, compilado em 1908 por H. Buchholz a partir de notas de aula. Do total, 139 artigos foram publicados em periódicos e 22 compilados na forma de livro. Entre os primeiros, 12 são experimentais. A soma por tema pode não corresponder à soma total uma vez que Boltzmann em alguns casos tratou de diferentes assuntos em um mesmo artigo⁹³.

	Termo	2ª Lei	Equil.	Gases	Radiação	Generais	Total (139)
Teoria Cinética							
Termodinâmica	8	8	34	18	5	12	79 (57%)
	Dielet.	Maxwell	Hall/Termoelet.				
Eletricidade	7	5	5			14	31 (22%)
	Hidro	Elast.	Métodos				
Mecânica	2	4	1			4	11 (7%)
	Fis. Mat.	Aparatos					
Outros	2	1				5	8 (6%)
	Opt.	Ac.					
Óptica/Acust.	1	3					4 (3%)
Energetismo	2						2 (1.5%)
Matemática	4						4 (3%)
Epistemologia	11						
Discursos	4						1 (0.5%)
Artigos populares	8						

⁹³ Fonte deste Anexo: DAHMEN, 2006, p. 293.

ANEXO 2 – Um poema descrevendo a distribuição de Maxwell-Boltzmann

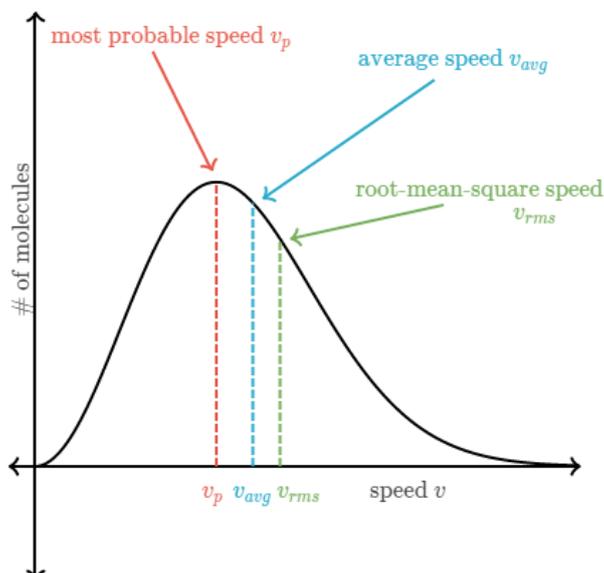
Heat: Hot, as ____ : Cold

Roald Hoffman

(in: HOFFMANN, Roald; TORRANCE, Vivian. **Chemistry Imagined, Reflections on Science**. Smithsonian Institution Press: Washington, D.C., 1993, p. 46.)

*Deep in,
they're there, they're
at it all the time, it's jai
alai on the hot molecular fronton-
a bounce off walls onto the packed aleatory
dance floor where sideswipes are medium of exchange,
momentum trades sealed in swift carom sequences,
or just that quick kick in the rear, the haphaz-
ard locomotion of the warm, warm world.
But spring nights grow cold in Ithaca;
the containing walls, glass or metal,
are a jagged rough rut of tethered
masses, still vibrant, but now
retarding, in each collision,
the cooling molecules.
There, they're there,
still there,
in deep,
slow.*

(Um poema descrevendo a distribuição de Maxwell-Boltzmann, que é dada pela fórmula $f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT}$, e, abaixo, o gráfico desta distribuição)



ANEXO 3 – Um poema de Boltzmann

"Beethoven in Heaven"

(*Beethoven im Himmel*)

Um poema de Boltzmann*

With torment that I'd rather not recall
My soul at last escaped my mortal body.
Ascent through space! What happy floating
For one who suffered such distress and pain.

They laugh: "A truly German soul you are!
Your art of music causes envy here.
Begin the song 'God praise eternity'
So he will see what we can do up here.
But watch it so in unison we'll be!"

"What force commands a mother love her child?
It's without doubt the nameless agonies
She suffered all through many nights eternal
When she and God alone have watched the child.
Have you not wept together with your wife?
If not, you missed that bond that joins forever;
It is the pain that you together shared
Whose memory will linger as your angel.

The saint who suffers pain and grief
Redemption's rays illuminate his way.
No man achieves a hero's worldly fame
Who has not forced himself with all his power;
And as it caused his aching heart to tremble
His valiant deed will live in song immortal.

The Lord himself when he among us dwelt
Was He a king, a rich man or the like?
He was a human's son beset with pain!"

In shock almost I gazed upon his face.
"How truly wondrous are these worldly ways!
Just hours ago I begged for death again,
'Oh spare my heart the suffering and the pain'
But here in heaven pain is what one yearns
Oh human heart your ways one never learns."

*(escrito provavelmente entre os seus 5 ou 6 últimos anos de vida)

Traduzido do alemão para o inglês por F. Rohrlich,
In: ROHRLICH, Fritz. A poem by Ludwig Boltzmann. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 11, p. 972-973. 1992.

Beethovem no Céu

livre tradução

*Com tormento que eu prefiro não lembrar
Minha alma finalmente escapou do meu corpo mortal.
Ascendendo através do espaço! Que flutuar feliz
Para aquele que sofreu tal angústia e dor.*

*Eles riem: "Uma alma verdadeiramente alemã você é!
Sua arte da música provoca inveja aqui.
Comece a música 'Deus louve a eternidade'
Então ele vai ver o que podemos fazer aqui em cima.
Mas vê-lo tão em uníssono estaremos!"*

*"Que força comanda uma mãe amar seu filho?
É, sem dúvida, as agonias inomináveis
Ela sofreu durante muitas noites eternas
Quando ela e Deus sozinhos assistiam a criança.
Você não chorou junto com sua esposa?
Se não, você perdeu esse vínculo que os une para
sempre;
É a dor que vocês juntos compartilham
Cuja memória permanecerá como seu anjo.*

*O santo que sofre dor e tristeza
Raios de redenção iluminam seu caminho.
Nenhum homem atinge a fama terrena de um herói
Quem já não se obrigou com todo o seu poder;
E como isso fez com que seu coração dolorido tremesse
Sua ação valente viverá em canção imortal.*

*O próprio Senhor quando residiu entre nós
Ele era um rei, um homem rico ou algo semelhante?
Ele era filho de um homem atormentado com a dor!"*

*Em estado de choque quase olhei em seu rosto.
"Como verdadeiramente maravilhoso são estes
caminhos terrenos!
Apenas algumas horas atrás eu implorei pela a morte
de novo,
'Oh poupem meu coração o sofrimento e da dor'
Mas aqui no céu dor é o que se anseia
Oh coração humano seus caminhos nunca
aprenderemos."*

Arte e Ciência*

Por Carlos Rennó

1996

na arte a técnica	na ciência a mágica
o conceito	o mistério
o controle	o enigma
o rigor	o sonho
a lógica	a visão
a matemática	a poesia
a análise	a síntese
a estatística	a metáfora
a medida	o paradoxo
a fórmula	o acaso
a regra	o caos
o sistema	o vazio
a solução	a incerteza
o método	o delírio
o processo	a graça
o objeto	o sujeito
o experimento	o repente
a pesquisa	o instinto
a busca	o impulso
a descoberta	a criação
na arte a arte	na ciência a ciência

*Fonte: Disponível em: <<http://carlosrenno.com/textos/poemas/>>. Acesso em: 30 out. 2018.