Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Departamento de Filosofia

Estudos sobre o Realismo Estrutural

William Steinle

Orientador:

Décio Krause

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia como um dos requisitos para a obtenção do título de mestre em filosofia.

Florianópolis, junho 2006

Resumo

Existem pelo menos duas versões do realismo estrutural, a epistemológica e a ontológica. O realismo estrutural *epistemológico* afirma que o nosso conhecimento do mundo, representado por nossas melhores teorias científicas, é estrutural; a ciência não pode nos revelar nada que esteja além da estrutura – ou seja, nada das 'qualidades', da 'natureza intrínseca' ou da 'coisa em si' dos objetos pode ser conhecido. O realismo estrutural *ontológico* irá dizer que tudo o que podemos conhecer do mundo são estruturas porque *só existem estruturas*, e nada mais; essa versão sustenta uma ontologia de *estruturas*, e não de objetos. Dividimos a dissertação em duas partes. Na primeira, apresentamos um breve desenvolvimento histórico das duas versões do realismo estrutural e algumas críticas a elas; na segunda, apresentamos algumas definições fundamentais para uma discussão acerca da possibilidade de sustentarmos o realismo estrutural ontológico que será feita no final da dissertação.

Abstract

There are at least two versions of the structural realism, the epistemic version and the ontic or metaphysical version. The *epistemic* structural realism affirms that our knowledge of the world, represented by our best scientific theories, is structural; the science can't reveal anything that is above the structure – that means, nothing of the 'qualities', 'intrinsic nature' or 'thing-in-itself' of the objects can be known. The *ontic* structural realism says that everything we can know about the world is structures because *there are only structures*, and nothing else; this version maintains an ontology of *structures*, and not of objects. We divide the dissertation into two parts. The first one presents a brief historical development of the two versions of the structural realism and the main objections to them; the second, some basic definitions that will then be used in a discussion, which concludes the dissertation, on the possibility of maintaining the ontic structural realism.

Sumário

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Kely Pasquali, pelo seu amor, apoio e paciência durante esses anos. Gostaria de agradecer também aos meus professores e colegas do departamento de filosofia, principalmente aos Professores Antonio M. N. Coelho e Cezar A. Mortari, por terem participado da banca de qualificação e terem feito preciosas correções e sugestões ao trabalho; aos Professores Otávio Bueno e Luiz Henrique Dutra que participaram da banca de defesa, em especial as valiosas sugestões do Professor Otávio. Agradeço principalmente ao Professor Décio Krause, cujo interesse por 'coisas novas' em filosofia me motivou (e continua motivando) durante todos esses anos; agradeço muito seu incentivo, apoio e paciência. Sou extremamente grato, enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

A minha mãe e à memória de meu pai, com amor e gratidão.

Introdução

Em 1989, em um artigo que se tornou uma das principais referências do assunto, o inglês John Worrall retomou um tema que segundo ele próprio teve início na filosofia da ciência com os trabalhos do matemático e filósofo Henri Poincaré (1902, 1905). Nesse artigo, Worrall apresenta uma alternativa ao debate do realismo científico. Segundo ele, há dois principais argumentos envolvidos nesse debate, a saber, o 'argumento do milagre' (ou do não-milagre) – que contaria a favor do realismo científico – e o 'argumento da meta-indução pessimista' – usado pelos anti-realistas para atacarem seus 'rivais' realistas. Em linhas gerais, o argumento do milagre afirma que o realismo científico é o único ponto de vista que não torna o sucesso da ciência um milagre. Este argumento vem sendo usado como réplica às 'acusações' de teorias anti-realistas, como o empirismo construtivo de van Fraassen, por exemplo. Por outro lado, os anti-realistas afirmam que podemos usar a indução para 'inferir' que esse sucesso da ciência é apenas momentâneo, pois, segundo eles, todas as teorias científicas, ao longo do tempo, acabaram por ser falseadas. Isso acontece, afirmam, porque quando há mudança de teorias – e podemos constatar isso olhando para a história da ciência –, os aspectos ontológicos das novas teorias sofrem 'descontinuidade' em relação às antigas. Sendo assim, podemos 'inferir' que as nossas teorias correntes (maduras) um dia também sofrerão essa 'descontinuidade ontológica', o que colocaria abaixo a posição realista. Worrall acredita que uma resposta a esses dois argumentos e, conseqüentemente, uma alternativa ao debate, encontra-se no *realismo estrutural. Grosso modo*, segundo ele, respondendo ao argumento do milagre, o sucesso da ciência reflete o fato de que nós temos a correta estrutura do mundo. O argumento da meta-indução pessimista seria neutralizado porque, para Worrall, apenas o conteúdo das teorias foi modificado no desenvolvimento científico, mas não sua forma ou estrutura.[1] O termo 'desenvolvimento científico' indicaria o tipo de 'realismo estrutural' de Poincaré adotado por Worrall, ou seja, voltado para a análise histórica da ciência. Worrall, acreditando que o realismo estrutural oferece uma resposta 'adequada' aos dois argumentos, defende este como uma espécie de 'meio termo' entre o realismo científico e o anti-realismo.

Após o artigo de Worrall, o assunto tomou força e vem sendo amplamente discutido na recente literatura filosófica. Trabalhos de filósofos da ciência tais como Stathis Psillos, James Ladyman, Steven French, entre outros – datados da segunda metade da década de 1990 até os dias atuais – apontam para além do pioneirismo nos trabalhos de Poincaré em filosofia da ciência, os trabalhos de Bertrand Russell (1912, 1919, 1927), Grover Maxwell (1962, 1968, 1970a, 1970b), Pierre Duhem (1914), entre outros, como contendo traços do que ficou conhecido na literatura filosófica especializada como realismo estrutural *epistemológico*. Em termos gerais, o realismo estrutural epistemológico assevera que tudo o que podemos *conhecer* do mundo é a sua estrutura, mesmo que haja algo 'além' dessa estrutura. Dito de outra forma, quem sustenta esta forma do realismo estrutural assevera que a nossa atenção deve ser focalizada nas *relações* das 'coisas', e não nas 'coisas em si mesmas'. Em artigo publicado na revista *Synthese*, French e Ladyman (2003) – tendo como base os fundamentos da física quântica –, vão além, e sustentam um realismo estrutural *ontológico*. Segundo eles, *tudo* o que existe são estruturas, e nada mais. O realismo estrutural ontológico ofereceria uma 'concepção alternativa' (*reconceptualisation*) à ontologia tradicional, ou seja, em vez de objetos – entenda-se partículas elementares (indivíduos/não-indivíduos) –, devemos tomar alguma forma de estrutura como *entidade básica*. A maneira de articular essa idéia seria, segundo os autores, utilizar *estruturas* nas quais descrevessem apenas relações, porém sem os elementos relacionados ou, como dizem, relações sem os *relata* (falaremos com mais detalhe sobre isso no decorrer do texto). Esta tese, obviamente, é bastante polêmica e foi alvo de severas críticas, por exemplo, por parte de Psillos (2001, 2004), Anjan Chakravartty (1998) e Tian Yu Cao (2003, 2003a, 2003b, 2003c). A principal dificuldade de quem sustenta tal tese é a de que, até onde conhecemos, os seus advogados utilizam-se – implícita ou explicitamente – da noção *conjuntista* de

[1] Todavia, como veremos à frente, Worrall é bastante vago em sua argumentação.

estrutura. Todavia, em uma teoria de conjuntos usual, *não podemos* ter relações sem os *relata*, como teremos oportunidade de ver à frente.

Um ponto importante a ser frisado desde já é aquele que diz respeito a qual concepção de *estrutura* esses autores estão se referindo. Como veremos no decorrer do texto, tais filósofos não especificam claramente o tipo de estruturas – há vários – que o realismo estrutural deveria adotar, e muito menos dão uma *definição* desta. É óbvio que qualquer defesa séria de um realismo estrutural deveria dar ênfase a qual concepção de estrutura está se referindo. Conceitos tais como o de *isomorfismo*, por exemplo, que tem um sentido formal (matemático) bem definido, é utilizado no contexto do realismo estrutural de maneira ambígua, senão errônea. Por exemplo, isomorfismo, em seu sentido matemático, só se dá entre *estruturas matemáticas*, no entanto, como veremos, vários autores falam de um 'isomorfismo' entre estruturas e 'o mundo'. Essa 'ambigüidade' estará presente nas várias versões do realismo estrutural que apresentaremos nesta dissertação, e alertamos o leitor para este importante fato.[2]

Há várias maneiras de se abordar o realismo estrutural. Poderíamos, por exemplo, começar por uma explanação do debate realismo/anti-realismo, e então introduzir o realismo estrutural, como sugeriu Worrall, como o 'melhor de ambos os mundos'. Poderíamos também começar com uma exposição geral do estruturalismo em ciência, e depois apresentar o realismo estrutural como um tipo especial de estruturalismo. Aqui não optamos por nenhuma dessas abordagens. Em vez disso, optamos por fazer uma descrição focalizada diretamente no realismo estrutural. Procedemos assim devido ao fato de não haver, até onde conhecemos, trabalhos sobre essa teoria sendo desenvolvidos no Brasil, não obstante o crescente interesse por seu estudo em filosofia da ciência, principalmente na Europa. Sendo assim, esperamos que esse trabalho possa ajudar de alguma forma a inaugurar as discussões sobre o tema por aqui.

A dissertação será então dividida em duas partes. A primeira consistirá em apresentar uma breve história do realismo estrutural, assim, no primeiro capítulo, iremos nos ater ao 'realismo estrutural' de filósofos tais como Poincaré, Russell e Duhem – e também à algumas críticas a essa teoria –, bem como alguns breves comentários de possíveis versões

[2] Esta questão irá expor o realismo estrutural à várias críticas, principalmente àquela de que ele se trata de uma teoria extremamente *metafórica*, como comentaremos ao final do trabalho.

dessa teoria de filósofos tais como Schlick, Carnap, Cassirer e Eddington. No segundo capítulo, continuaremos com a nossa 'história' do realismo estrutural, apresentando uma outra versão do realismo estrutural até então considerado, a saber, o realismo estrutural ontológico. A segunda parte da dissertação se ocupará de 'aspectos formais' do realismo estrutural, bem como de uma proposta de 'reformulação' da versão ontológica deste. No capítulo 3, apresentaremos uma definição de estrutura em uma teoria de quase-conjuntos; discutiremos também os conceitos de estrutura parcial e quase-verdade, também definidos na teoria de quase-conjuntos. No último capítulo, nos ocuparemos do 'conteúdo' da estrutura; propostas de respostas às objeções apresentadas anteriormente também serão discutidas; finalizaremos com uma proposta de 'reformulação' do realismo estrutural ontológico.

Parte I

Realismo estrutural: considerações históricas

Capítulo 1

A 'pré-história' do realismo estrutural

Neste capítulo, veremos as primeiras considerações em filosofia da ciência do que hoje chamamos de *realismo estrutural*. Usamos a expressão 'pré-história' para indicar o fato de que os autores estudados neste capítulo, de um modo geral (talvez com a possível exceção de Russell), não possuíam um 'sistema' elaborado (e específico) para defender a visão que sustentavam. Trabalhos mais elaborados sobre o realismo estrutural vieram a partir das décadas de 1960 e 1970 como os trabalhos de Grover Maxwell (1962, 1968, 1970a, 1970b).

Neste capítulo, abordaremos principalmente as considerações – e algumas críticas a essas – de Poincaré, Duhem e Russell sobre o tema, dedicando uma seção a cada um. As veias estruturalistas de outros autores[1] – geralmente pouco considerados nos textos sobre o assunto, mas que vêm ganhando maior destaque em alguns trabalhos recentes – será mencionado, e brevemente discutido, na última seção deste capítulo. Certo é que seria impossível abordarmos as diferentes versões do 'realismo estrutural' de todos estes filósofos de um modo pormenorizado em um trabalho como este. Apesar de nos determos um pouco mais nos trabalhos de Poincaré, Duhem e Russell que, como mencionado, são os mais citados, enfatizamos que *não* faremos um trabalho *exegético* das obras de nenhum dos autores mencionados acima. Na última seção, nos limitaremos apenas a dar uma visão geral, baseando-nos em trabalhos recentemente publicados, do 'realismo estrutural' dos filósofos mencionados sem, no entanto, fazermos uma análise de seus textos originais.

[1]Tais como Schlick (1925), Carnap (1928, 1956), Cassirer (1936) e Eddington (1939).

1.1 Poincaré

O primeiro autor a resgatar o 'realismo estrutural' de Poincaré teria sido o filósofo inglês John Worrall, em seu famoso artigo de 1989. Nesse artigo, após fazer uma breve discussão dos dois argumentos, segundo ele, mais persuasivos no debate realismo/anti-realismo, a saber, o argumento do 'milagre' (ou do 'não-milagre') e o da 'meta-indução pessimista', sustentados, respectivamente, pelo realismo científico tradicional e pelo instrumentalismo, Worrall apresenta o 'realismo estrutural' de Poincaré como sendo 'o melhor de ambos os mundos'. Essa interpretação da filosofia de Poincaré, no entanto, vai contra a usual interpretação anti-realista freqüentemente atribuída aos seus trabalhos. Para apoiar sua visão, Worrall também aponta E. Zahar como crítico da interpretação anti-realista da filosofia de Poincaré.[2]

1.1.1 O convencionalismo de Poincaré

A filosofia da ciência de Jules-Henri Poincaré é geralmente conhecida como convencionalista, não somente no que diz respeito à geometria, mas também quanto à física. Para o matemático, físico e filósofo francês, as leis da geometria e da física são convenções não-arbitrárias. Em seu primeiro livro filosófico, *A Ciência e a Hipótese*, Poincaré ressalta a importância das hipóteses na ciência, principalmente daquelas que são encontradas na matemática e nas ciências que são a ela relacionadas. Segundo ele, essas hipóteses são apenas aparentes, na verdade elas não passam de definições e *convenções* disfarçadas (Poincaré, [1902] 1988, pp. 15-16). Quanto à geometria, Poincaré pergunta:

[2]Já aqui surge uma polêmica. Várias pessoas vêm criticando essa atribuição do 'rótulo' de 'realista estrutural' a filósofos como Poincaré, por exemplo. Como é bem sabido, esse filósofo é conhecido como *anti-realista*, como veremos à frente, e, portanto não faria sentido algum atribuir-lhe alguma característica *realista*. Em certa media, concordamos com tal afirmação. Todavia, como estamos interessados em apresentar o desenvolvimento histórico do realismo estrutural tal como vem sendo apresentado por vários autores, optamos por manter essa 'interpretação' *realista estrutural* desse filósofo.

> "De onde vêm os primeiros princípios da Geometria? Eles nos são impostos pela lógica? Lobatchevsky nos mostrou que não, criando as Geometrias não-euclidianas. O espaço nos é revelado por nossos sentidos? Também não, pois o que os nossos sentidos poderiam nos revelar difere, inteiramente, do espaço do geômetra. A Geometria deriva da experiência? Uma discussão aprofundada nos mostrará que não. Então concluiremos que esses princípios não passam de convenções; mas essas convenções não são arbitrárias, e, transpostas para um outro mundo (que chamo o mundo não-euclidiano e que procuro imaginar), seríamos levados a adotar outras convenções"(*ibid.*, p. 17).

Com respeito à física, afirma que:

> "[e]m Mecânica, seríamos levados a conclusões análogas e veríamos que os princípios dessa ciência, ainda que mais diretamente apoiados sobre a experiência, participam, ainda, do caráter convencional dos postulados geométricos [...]"(*ibid.*).

Não é nosso objetivo, neste trabalho, fazer uma exposição, ou mesmo uma discussão, da filosofia convencionalista de Poincaré. Colocamo-la aqui porque, apesar de ser tradicionalmente conhecido como um convencionalista, como vimos acima, Poincaré tem sido recentemente apontado (Worrall 1989; Ladyman 1998; Psillos 1995, 2001; Votsis 2004) como um *realista estrutural*.[3] Isso contrariaria, de certa maneira, a sua interpretação convencionalista, pois, como sabemos, o convencionalismo é uma forma de anti-realismo. Também não entraremos aqui na questão de se Poincaré foi um realista ou um anti-realista, para os nossos propósitos, bastará constatarmos que, em várias passagens de sua obra, Poincaré, de fato, parece sustentar um realismo de *relações*, como tentaremos mostrar no

[3]Na verdade, um realista estrutural *epistemológico*. Em poucas palavras, o realismo estrutural epistemológico afirma que o nosso conhecimento do mundo, representado pelas teorias científicas, é estrutural; a ciência não pode nos revelar nada que esteja além da estrutura − ou seja, nada das 'qualidades intrínsecas', da 'natureza' ou da 'coisa em si' −, dos objetos pode ser conhecido. Até a seção 2.3, realismo estrutural será, para nós, realismo estrutural epistemológico, salvo especificação contrária.

que se segue.

1.1.2 O 'realismo estrutural' de Poincaré

Poincaré, reconhecidamente, recebeu fortes influências do idealismo alemão, escola que teve Kant como precursor. Ele estava de acordo com o pensamento kantiano de que as entidades não-fenomenais postuladas pelas teorias científicas são as 'coisas em si mesmas' referidas pelo filósofo alemão (Votsis *op. cit.*, p. 35).[4] Todavia, diferentemente de Kant, Poincaré acredita que é possível obtermos conhecimento *indireto* das 'coisas em si mesmas'. Para Poincaré, a única coisa que podemos conhecer das 'coisas em si mesmas' são suas *relações*: "o objetivo da ciência não são as coisas em si mesmas, como os dogmáticos em sua ingenuidade imaginam, mas as relações entre as coisas; além dessas relações não há realidade cognoscível"(Poincaré *op. cit.*, p. xxiv). E, também de maneira bastante clara, em *O Valor da Ciência*:

> "[...] quando nos perguntamos qual é o objetivo da ciência, isso não quer dizer 'A ciência nos faz conhecer a verdadeira natureza das coisas?'. Quer antes dizer 'Ela nos faz conhecer as verdadeiras relações entre as coisas?'"(Poincaré [1905] 1998, p.167).)

Segundo ele, não só a ciência não pode nos dizer nada sobre a natureza das coisas, mas nada é capaz de fazê-lo. Poincaré chega a afirmar que, mesmo se algum deus a conhecesse, não poderia encontrar palavras para exprimi-la.

A motivação da visão de Poincaré seria essencialmente histórica.[5] Ou seja, ele toma a permanência das relações da teoria como um indicativo de que elas 'retratariam' o mundo (Votsis *op. cit.*, p. 36). Essas considerações podem ser encontradas, por exemplo, nas últimas páginas de *O Valor Ciência*, quando ele diz:

[4] Talvez essa interpretação de Votsis não seja de todo correta. Para Kant, não temos acesso às coisas em si mesmas, e portanto não podemos descrevê-las em nenhum detalhe. Por outro lado, esse não seria o caso com as entidades não fenomenais postuladas pelas teorias científicas, já que estas podem ser descritas com bastante detalhes por tais teorias. Agradecemos ao Professor Otávio Bueno por esta observação.

[5] Embora possamos também imaginar que ele tivesse motivações de caráter fundacionista. Ver seção 1.3 abaixo.

> “[...] a ciência já viveu o bastante para que, interrogando sua história, possamos saber se os edifícios que ela ergue resistem à prova do tempo, ou se são apenas construções efêmeras. Ora, o que vemos? À primeira vista, parece-nos que as teorias só duram um dia, e que se acumulam ruínas sobre ruínas. [...] Mas se prestarmos mais atenção, veremos que o que assim sucumbe são as teorias propriamente ditas, aquelas que pretendem nos ensinar o que são as coisas. Mas há nelas algo que quase sempre sobrevive. Se uma delas nos faz conhecer uma relação verdadeira, essa relação é definitivamente adquirida, e a encontramos sob um novo disfarce nas outras teorias que virão sucessivamente reinar em seu lugar”(*op. cit.*, p. 168).

Em *A Ciência e a Hipótese*, discutindo a ótica do século XIX, Poincaré já apresenta a sua forma de ‘realismo estrutural’, mesmo que não se utilizando desta terminologia.[6] Refletindo sobre o fato de que várias equações matemáticas foram mantidas na transição da teoria da luz de Fresnel para a de Maxwell, Poincaré conclui que a teoria de Maxwell preservou as mesmas relações da teoria de Fresnel. Diz ele:

[6] A expressão ‘realismo estrutural’ teria sido cunhada por Grover Maxwell (1970a), em referência ao estruturalismo de Russell.

> "[a]s equações diferenciais [da teoria de Fresnel] continuam a ser verdadeiras; podem ser integradas pelos mesmos procedimentos e os resultados dessa integração conservam, ainda, todo o seu valor [...] [e]ssas equações exprimem relações, e, se as equações permanecem verdadeiras, é porque essas relações conservam sua realidade. Elas nos mostram, agora, como faziam antes, que há uma dada relação entre duas coisas; unicamente, o que antes chamávamos *movimento*, hoje chamamos *corrente elétrica.* Mas essas denominações não passavam de imagens que substituíam os objetos reais que a natureza nos ocultará para todo o sempre. As verdadeiras relações entre esses objetos reais são a única realidade que podemos atingir, e a única condição para isso é que as relações entre esses objetos sejam as mesmas que existem entre as imagens que somos obrigados a pôr em seu lugar. Se conhecemos essas relações, pouco importa que julguemos ser conveniente substituir uma imagem por outra."(*ibid.*, pp. 127-128; os itálicos são de Poincaré).

Segundo Poincaré, as equações foram preservadas através da mudança das teorias (da de Fresnel à de Maxwell) porque elas expressam relações *reais* entre objetos físicos. Poincaré sugere, então, que as relações entre os objetos constituem o único conhecimento possível da realidade. Esse conhecimento, como parece estar claro na citação acima, independe das *imagens* que atribuímos aos objetos (que estão sendo relacionados), ou seja, para Poincaré, pouco importa chamarmos de 'corrente elétrica', na teoria de Maxwell, o que antes chamávamos 'movimento', na teoria de Fresnel, conquanto que as relações – ou, deveríamos dizer, as *estruturas*[7] – permaneçam inalteradas.

Outro exemplo histórico a que Poincaré recorre para sustentar sua posição é o princípio de Carnot.[8] De acordo com Poincaré, Carnot havia estabelecido seu princípio sobre

[7]Embora Poincaré se refira quase sempre a relações, o que nos permite denominá-lo um realista *estrutural* é o fato de que, como se sabe, as *estruturas*, em sua forma tradicional, são construtos formados por conjuntos e por coleções de uma ou mais relações entre os membros desses conjuntos. Por ora, não entraremos na discussão do que seja *exatamente* uma estrutura. Isso será feito na segunda parte da dissertação.

[8]Intuitivamente, o princípio de Carnot diz que o calor não pode fluir espontaneamente (ou seja, sem perda de energia) de um corpo frio para um quente (Resnick e Halliday 1978, p. 693).

hipóteses falsas. Suas idéias foram abandonadas quando se constatou que o calor não é indestrutível, mas pode ser transformado em trabalho. Apesar de conter relações inexatas, a teoria de Carnot também tinha relações verdadeiras, que não alteravam a realidade dessas últimas. Clausius afastou as relações inexatas, o que resultou na segunda lei fundamental da Termodinâmica.[9] Essa, por sua vez, preservou as relações verdadeiras da teoria de Carnot, embora, aparentemente, tais relações se estabelecessem entre objetos diferentes. Segundo Poincaré, "[t]ambém os raciocínios de Carnot não pereceram por esse motivo; eles se aplicavam a uma concepção imperfeita da matéria, mas sua forma (quer dizer, o essencial) permanecia correta"(*ibid.*, p.130).

O motivo que teria levado Poincaré a sustentar uma posição 'realista estrutural' com respeito às teorias científicas seria, segundo aponta J. R. N. Chiappin[10], a articulação de uma proposta contrária ao ceticismo levantado por Le Roy contra as conseqüências da tese da subdeterminação das teorias pelos dados empíricos sustentada por Poincaré (Bueno *op. cit.*). *Grosso modo*, e em uma de suas versões, a tese da subdeterminação da teoria pelos dados afirma que, se duas teorias científicas T_1 e T_2 são empiricamente equivalentes − isto é, proporcionam o mesmo conjunto de previsões −, mas são conceitualmente distintas − ou seja, postulam entidades (inobserváveis) diferentes −, então ambas as teorias são subdeterminadas pelos dados empíricos. A subdeterminação − que, segundo Poincaré, estaria sempre presente, pelo menos no domínio da mecânica − acarretaria grandes dificuldades com respeito ao estatuto cognitivo da ciência, abrindo caminho para a ameaça cética (*ibid.*).[11] Não sendo possível o conhecimento dos fenômenos que não estejam sujeitos à observação empírica (os inobserváveis), a ameaça cética torna-se eminente. Ou seja, se a escolha entre teorias rivais não é possível, então não poderemos obter conhecimento algum da realidade, argumento que seria favorável ao ceticismo. Como aponta Otávio Bueno, foi para evitar este tipo de conclusão que, segundo Chiappin, Poincaré

[9] Segundo Resnick e Halliday, a segunda lei da termodinâmica pode ser enunciada de várias maneiras − que seriam equivalentes entre si. Clausius, por exemplo, a enunciou assim: *é impossível a qualquer máquina cíclica produzir como único efeito a transmissão contínua de calor de um corpo a outro que esteja a maior temperatura.* Isto é, *grosso modo*, não se pode transferir calor de um lugar de temperatura baixa para o de temperatura alta sem acarretar alguma mudança fora do sistema (Resnick e Halliday *op. cit.*, pp. 690-691).

[10] Cf. Bueno 1999, pp. 231-32

[11] É bem conhecido que o argumento da subdeterminação é um dos principais 'trunfos' dos anti-realistas contra os realistas.

lançou mão do que hoje chamamos realismo estrutural (*ibid.*). Podemos, sim, obter conhecimento da realidade, mas, afirma Poincaré, esse conhecimento está limitado às *relações* entre os objetos, não havendo realidade cognoscível para além dessas (Poincaré *op. cit.*, p. 13).

Resumido, a visão de Poincaré seria a de que a história da ciência aponta para uma preservação dessas relações (mas não necessariamente das coisas relacionadas) através da mudança de teorias no decorrer do desenvolvimento científico. Essa seria uma boa razão para sermos realistas sobre relações, mas não sobre 'coisas em si mesmas'. Entretanto, como tem sido apontado, as evidências históricas para o realismo estrutural tornam-se menos claras quando mudamos do contexto clássico para as revoluções quânticas e relativísticas no século XX (Votsis *op. cit.*, p. 37).[12]

1.2 Duhem

Assim como Poincaré, o físico e filósofo Pierre Duhem, é geralmente interpretado como tendo uma filosofia convencionalista.[13] No entanto, assim como seu compatriota, Duhem vem sendo citado por alguns autores (por exemplo, Worrall 1989 e Chakravarrty 1998) como um dos precursores do realismo estrutural, deixando isso claro em várias passagens de sua obra.[14]

Uma distinção central na obra de Duhem (Duhem [1914] 1974)[15] é aquela entre a parte explanatória e a parte representativa de uma teoria (física). Segundo Duhem, a parte *explanatória* de uma teoria é aquela que propõe estabelecer a realidade como fundamento do fenômeno, enquanto que a parte *representativa* propõe classificar leis. Duhem afirma que a parte explanatória comporta-se como um parasita:

[12] E até mesmo quando olhamos para outros casos de mudança de teorias na própria física clássica. O caso Fresnel-Maxwell, apontam os críticos, seria um exemplo isolado. Voltaremos a essas questões na subseção 2.2.1 e 2.3.4.

[13] Seguiremos Votsis (*op. cit.*, pp. 37-39).

[14] Votsis concorda com a existência de uma veia estruturalista nos trabalhos de Duhem, mas discorda que seja fato *inequívoco* que ele tenha sido um 'realista estrutural' (Votsis *op. cit.*, pp. 37-39). Ver o final da seção.

[15] A primeira edição data de 1906.

> "Não é a essa parte explanatória que a teoria deve seu poder e fertilidade; longe disso. Tudo que é bom na teoria, em virtude da qual ela aparece como uma classificação natural e tem o poder de antecipar a experiência, é encontrado na parte representativa; todas as descobertas feitas pelos físicos ocorreram quando eles pararam de procurar por explicações. Por outro lado, tudo que é falso na teoria e contraditório com os fatos é encontrado, principalmente, na parte explanatória; os físicos têm errado quanto a isso, conduzidos pelo seu desejo de vislubrar a realidade"(*op. cit.*, p. 32).

Assim, somente a parte representativa é que faz o trabalho real, ou seja, que produz as predições. Segundo Ioannis Votsis, podemos identificar em várias passagens do trabalho de Duhem que o *status* epistemológico da parte representativa de uma teoria é semelhante àquele do realismo estrutural. Por exemplo, quando ele afirma que:[16]

> "Assim, a teoria física [...] nunca revela a realidade oculta sob as aparências sensíveis; mas quanto mais completa ela se torna [...], mais suspeitamos que as relações que ela estabelece entre os dados da observação correspondem a relações reais entre as coisas"(*op. cit.*, pp. 26-27).

E, um pouco mais adiante:

> "[...] estamos convencidos que elas [isto é, as relações postuladas pelas teorias] correspondem a relações de tipo similar [*kindred*] entre as próprias substâncias, cuja natureza permanece profundamente oculta, mas cuja realidade parece ser indubitável"(*op. cit.*, p. 29).

[16]É interessante notar que nesta passagem Duhem cita *A Ciência e a Hipótese* de Poincaré, mostrando sua afinidade, neste aspecto, com a filosofia do grande matemático.

Em uma outra passagem, já no capítulo III, intitulado *Teorias representativas e a história da física*, em que fica clara a afinidade de Duhem com o 'realismo estrutural' de Poincaré, ele diz que os registros históricos da ciência revelam uma certa preservação das relações ao longo das mudanças de teorias:

> "Na medida em que o progresso da física experimental começou a contar para uma teoria e obrigá-la a ser modificada ou transformada, a parte puramente representativa passa a entrar quase que totalmente na nova teoria, trazendo a ela a herança de todos os valores adquiridos da velha teoria, enquanto a parte explanatória falha em dar outra explicação"(*ibid.*, p. 32).

Dado o contexto de onde tais citações foram retiradas, podemos afirmar que as relações que são preservadas nas mudanças de teorias no decorrer do desenvolvimento científico, às quais Duhem se refere, ocorrem entre objetos físicos.

Não obstante estas passagens indiquem um 'realismo estrutural' presente na obra de Duhem, Votsis chama nossa atenção para algumas qualificações que esse autor faz no contexto dessas mesmas passagens. Embora Duhem reconheça a existência de uma forte *intuição* de que nossas teorias correspondem à realidade, ele acredita que os dados da observação "[...] não podem provar que a ordem estabelecida entre leis experimentais refletem uma ordem que transcende a experiência [...]"(p. 27). Duhem afirma que a crença nessa correspondência é meramente "um ato de fé", o qual "[...] assegura-nos que essas teorias não são um sistema puramente artificial, mas uma classificação natural"(*ibid.*). Esta observação levar-nos-ia a crer que, apesar de tudo – e, novamente, como no caso de Poincaré visto na seção anterior –, Duhem foi um *anti-realista* (Votsis *op. cit.*, p. 39).

Todavia, essa também não é uma opinião unânime, pois, diria um crítico a essa afirmação, nenhum realista acredita que podemos *provar* a correspondência entre as teorias e a realidade. Os realistas apenas afirmariam que existem boas razões para acreditarmos em tal crença.[17] Entretanto, dada a centralidade da fé no pensamento de Duhem, a

[17]A referência à ausência dessa 'prova' pode ser encontrada também na filosofia de Russell. Ver nota abaixo.

persuasão da frase "ato de fé"para a crença de que existe uma correspondência estrutural entre a observação e o mundo, sugere Votsis, não parece ameaçadora.[18] Ao contrário, poderia mesmo ser uma indicação de forte apoio à idéia de Duhem de que as partes representativas de nossas teorias correspondem à realidade (*ibid.*).[19]

Para finalizarmos a seção, voltemos agora à questão colocada acima que lançava a dúvida de que Duhem poderia ou não ser 'classificado' como um realista estrutural. Votsis conclui que tal 'classificação' não é totalmente equivocada, dada a afirmação de Duhem da preservação das relações através das mudanças de teorias. De qualquer modo, afirma Votsis, Duhem seria, pelo menos, um 'estruturalista de espécies' (*sorts*).[20] No entanto, segundo Votsis, dependendo do 'peso' que alguém atribua às qualificações acima, sua posição pode também ser vista como precursora daquela sustentada décadas depois por Bas van Fraassen e Bueno, a saber, o 'estruturalismo empirista' ou 'empirismo estrutural', de acordo com o qual mesmo à preservação da estrutura através das mudanças de teorias pode ser dada uma interpretação *anti-realista* (ver, por exemplo, Bueno 1999, parte II).[21]

1.3 Russell

Assim como Poincaré e Duhem, Bertand Russell também teria sido precursor do realismo estrutural[22], embora o fundamentando em pressupostos totalmente diferentes. Mesmo sendo *A Análise da Matéria*, de 1927, a sua obra mais citada no que tange ao seu 'realismo estrutural', já podemos encontrar traços desse em sua obra de 1912, *The Problems of Philosophy.* Nessa obra, onde ele delineia os primeiros passos para o seu estruturalismo, encontramos um Russell fortemente influenciado pelos empiristas britânicos. Suas considerações acerca da percepção, na época tomada como 'dados dos sentidos' (*sense-data*), conduzem Russell a considerá-la como fundamento de todo o conhecimento

[18]Sobre o papel da fé na filosofia de Duhem, ver o prefácio de Louis de Broglie a *The Aim and Structure of Physical Theory*, p. ix.

[19]Porém, lembramos o leitor da polêmica sobre as interpretações 'realistas estruturais' desses autores, conforme vimos na introdução.

[20]Porém, Votsis não deixa claro esse ponto na sua tese.

[21]Todavia, o Professor Otávio Bueno acredita que Duhem seria melhor interpretado como sendo, de fato, um *realista* estrutural (discussão privada).

[22]Cf. Maxwell 1970a, 1970b; Psillos 2001; Votsis 2004.

do mundo exterior. Segundo Russell, temos bons argumentos para sustentar a crença de que os objetos físicos são a *causa* das percepções através dos dados dos sentidos.[23] No entanto, o que a ciência nos pode contar sobre esses objetos físicos? Russell responde da seguinte maneira:

> "Assumindo que exista espaço físico, e que ele corresponde aos espaços privados, o que podemos conhecer dele? Podemos conhecer *apenas* o que é exigido para assegurar a correspondência. Isto que dizer, não podemos conhecer nada do que ele seja em si mesmo, mas podemos conhecer o arranjo dos objetos físicos que resulta de suas relações espaciais [...] Podemos conhecer as propriedades das relações exigidas para preservar a correspondência com os dados dos sentidos, mas não podemos conhecer a natureza dos termos entre os quais as relações figuram"(Russell [1912] 1997, pp. 15-16; o itálico é de Russell).

O seu 'realismo estrutural' torna-se mais patente na página seguinte:

> "Assim temos que, embora as *relações* dos objetos físicos tenham todas as espécies de propriedades cognoscíveis, derivadas de sua correspondência com as relações dos dados dos sentidos, os objetos físicos permanecem em si mesmos desconhecidos em sua natureza intrínseca, pelo menos na medida em que possam ser descobertos por meio dos sentidos"(*op. cit.*, p. 17; itálico original).

O que Russell sustenta, com efeito, é que podemos conhecer somente as propriedades das relações entre os objetos físicos, e não sua 'natureza intrínseca'. Neste ponto, podemos comparar a visão de Russell à de Poincaré. As considerações kantianas de que não

[23]Em *A Análise da Matéria*, Russell afirma: "[n]ão devemos esperar encontrar uma *demonstração* de que as percepções tenham causas externas, que possam produzir percepções em diversas pessoas ao mesmo tempo. O máximo que podemos esperar é a base normal para aceitar uma teoria científica – isto é, que ela reúna certo número de fatos conhecidos, que ela não tenha conseqüências demonstravelmente falsas, e que às vezes nos permita fazer previsões depois comprovadas. A teoria causal satisfaz todos esses testes; não se há de presumir, porém, que nenhuma outra teoria os satisfaça"(Russell [1927] 1978, pp. 202-203, o itálico é de Russell).

podemos conhecer nada do que o espaço seja em 'si mesmo' e as de que os objetos físicos 'permanecem desconhecidos em sua natureza intrínseca', ambas adotadas por Russell, se assemelham às inclinações kantianas de Poincaré, também encontradas em seu 'realismo estrutural' (Votsis *op. cit.*, p. 40). Não obstante este ponto em comum, Russell parece diferir de Poincaré no que diz respeito ao acesso às relações. Enquanto Poincaré afirma que nós podemos ter acesso apenas às relações entre os objetos, Russell assevera que o acesso se dá através das *propriedades* das relações entre esses objetos, e não às próprias relações. Todavia, como sustenta Votsis, essa não é uma diferença significativa, já que conhecer as relações sem os *relata*[24] – ou 'relacionados', isto é, os objetos que compõe as relações – significa conhecer o que ele chama de 'propriedades das relações' (*ibid*).[25] Outra aparente diferença entre os dois filósofos, no que diz respeito ao realismo estrutural, encontra-se em suas diferentes motivações. Russell tem como motivação considerações acerca dos *fundamentos* da ciência, enquanto Poincaré recorre, freqüentemente, aos aspectos *históricos* dessa (ver Worrall 1989; Psillos 2001; Votsis *op. cit.*).[26]

1.3.1 Estrutura da percepção e estrutura do mundo físico

Como comentamos acima, embora o realismo estrutural de Russell possa ser remontado a sua obra *The Problems of Philosophy*, ele atingiu maior maturidade em *A Análise da Matéria*. No capítulo XX deste livro, Russell argumenta que existem causas[27] externas que afetam nossas percepções, mesmo não havendo uma *demonstração* (lógica) deste fato.[28] Nesse capítulo, Russell desenvolve uma *teoria causal da percepção*, onde rejeita que

[24]Manteremos daqui para frente a expressão '*relata*' que é freqüentemente usada nas discussões sobre o realismo estrutural.

[25]Em uma carta dirigida ao diretor da revista *Mind* (1906) como resposta à resenha crítica de Russell de *A Ciência e a Hipótese*, publicada na mesma revista em 1905, Poincaré diz concordar com Russell quando ele fala que as relações são desconhecidas e que se conhece apenas as *propriedades* das relações. Ver o prefácio de Jules Vuillemin a essa obra de Poincaré (*ibid.*, p. 10).

[26]Mesmo aqui Votsis faz ressalvas. Afirma ele que uma melhor análise dos trabalhos de Poincaré aponta considerações de caráter fundacionista sobre as relações. Reciprocamente, não é difícil imaginar motivações históricas da parte de Russell. Se a ciência identifica as propriedades das relações entre os objetos físicos, deveríamos esperar a sua preservação através das mudanças de teorias.

[27]Embora não entremos neste assunto aqui, é digno de nota que a noção de 'causa' sofreu significativas mudanças ao longo do desenvolvimento da filosofia de Russell, como aponta Sílvio Chibeni (Chibeni, 2001).

[28]Ver nota acima.

através da percepção podemos ter conhecimento *imediato* dos objetos do mundo exterior (*op. cit.*, p. 201). O único conhecimento direto que podemos ter é o da 'característica intrínseca', 'natureza' ou 'qualidade' – isto é, propriedades de primeira ordem e relações – das *percepções*, o conhecimento (apenas da estrutura) do objeto exterior é então *inferido* desses componentes das percepções. Essa inferência seria assegurada por várias suposições, sendo estas as duas mais importantes:[29]

Princípio de Helmholtz-Weyl (H-W):[30] diferentes efeitos (ou seja, perceptos) implicam diferentes causas (objetos físicos) ou, em sua contrapositiva (também adotada por Russell), as mesmas causas implicam os mesmos efeitos (Psillos *op. cit.*; Russell *op. cit.*, p. 228; 277).

Princípio das relações refletidas (*Mirroring Relations Principle*) (RR): as relações que a física assume não são idênticas às relações que percebemos, mas correspondem a elas apenas na medida em que preservam as suas propriedades matemáticas (lógicas). As relações entre os perceptos *refletem* – têm as mesmas propriedades matemáticas que – as relações entre suas causas *não-perceptuais*(Russell *op. cit.* p. 251).

Seguindo as interpretações de Psillos e Votsis do 'realismo estrutural' de Russell, podemos agora dizer que ele, munido destas duas suposições – e a da continuidade espaço-temporal, ou seja, de que a causa é espaço-temporalmente contínua na relação com o efeito –, pode sustentar que da *estrutura* de nossas percepções podemos *inferir* que uma grande parte delas correspondem à *estrutura* do mundo físico, mas não a suas 'características intrínsecas'. Assim, "[d]o ponto de vista formal", afirma Russell, "o que admitimos é algo como isto: existe uma relação mais ou menos [*roughly*] um para um entre estímulo e percepto – isto é, entre os fatos externos ao órgão sensorial e o fato a que chamamos percepção. Isto nos capacita a inferir certas propriedades matemáticas dos estímulos quando conhecermos o percepto, e inversamente nos capacita inferir o percepto quando conhecermos essas propriedades matemáticas do estímulo"(*ibid.*, p. 228). O máximo que pode

[29]Cf. Psillos 2001; Votsis *op. cit.*, pp. 41-42.
[30]O nome do princípio é cunhado em Psillos *op. cit.*

se conhecido (inferido) do mundo físico é a sua *forma lógica* ou estrutura. Mais precisamente, Russell argumenta que tudo o que podemos garantir é que a estrutura de nossas percepções é, no máximo, *isomorfa* (*similar*, na terminologia de Russell) à estrutura do mundo físico[31] (*op. cit.*, p. 248). O que Russell entenderia por 'estrutura' pode ser visto no seguinte trecho:[32]

> "[o] 'número-relação' de uma relação é o mesmo que sua 'estrutura', e é definido como a classe de todas as relações similares à relação dada"(*op. cit.*, p. 249).

E ainda, em *Introdução à Filosofia Matemática*:

> "Assim, aquilo que definimos como 'número relação' é exatamente a mesma coisa que está obscuramente insinuada pela palavra 'estrutura' – uma palavra que, por mais interessante que seja, jamais é (ao que saibamos) definida em termos precisos por aqueles que a usam"(Russell [1919] 1981, p. 64).

Russell emprega a noção de 'relações similares' para transmitir a idéia de que estamos interessados apenas na descrição formal de uma relação, e não na própria relação, por não termos acesso direto a ela. (*op. cit.*, p. 63; Votsis 2003).

Como Michael Redhead teria observado, o tipo de estrutura empregada por Russell pode ser identificada como 'estrutura abstrata'.[33] A idéia básica é *aproximadamente* a seguinte. Antes de definirmos o que seja uma estrutura abstrata, precisamos entender o que é um isomorfismo entre duas estruturas. Intuitivamente, uma estrutura $S = \langle U, R\rangle$ é isomorfa a uma estrutura $T = \langle U', R'\rangle$ somente quando há uma bijeção[34] $\varphi : U \mapsto U'$

[31] Essa é, sem dúvida, uma afirmação extremamente audaciosa (e duvidosa), e voltaremos a analisá-la na subseção seguinte.

[32] O conceito de 'estrutura', bem como o de 'isomorfismo entre estruturas', será mais bem investigado na segunda parte da dissertação.

[33] Ver Votsis *op. cit.*; Russell [1927] 1978, pp. 248-249, [1919] 1981, cap. vi.

[34] Ou seja, uma função *bijetiva*; Russell usa a expressão 'um por um'.

tal que para todo $x_1, \ldots, x_n$ em U, $(x_1, \ldots, x_n)$ satisfaz a relação R_i em U se e somente se $(\varphi(x_1), \ldots, \varphi(x_n))$ satisfaz a relação correspondente R'_i em U'. Se quisermos falar de uma determinada relação como sendo isomorfa a uma outra, não precisamos ir além da definição de isomorfismo entre estruturas, desde que o conjunto de relações da estrutura contenha um, e somente um, membro. Assim, podemos definir uma *estrutura abstrata* $\sum$ como sendo uma classe de isomorfismo (ou isomorfismo-tipo) onde os membros são todas, e somente aquelas, estruturas que são isomorfas a uma estrutura dada. Sendo uma classe de isomorfismos, ela identifica as propriedades lógico-matemáticas de seus membros (Votsis 2004, pp. 42-43), o que parece ser exatamente o que Russell desejaria ao afirmar que podemos conhecer apenas as propriedades (lógico-matemáticas) das relações.

Por outro lado, temos o que podemos chamar de 'estrutura concreta'. Enquanto a estrutura abstrata torna explícito que o domínio de objetos, e das relações definidas sobre esses objetos, não são especificados de forma única, mas somente sobre isomorfismo – ou seja, uma estrutura abstrata especifica somente uma *condição* (*constraint*) a qual qualifica os domínios e as relações, isto é, aqueles domínios *eqüinumerosos* à algum número dado e aquelas relações que partilham as mesmas propriedades[35] –, a estrutura concreta *especifica um domínio de objetos e seus conjuntos de relações* (*ibid.*).

Segundo Votsis, dadas a noções acima, Russell estaria comprometido epistemologicamente com:

(CE1) Estruturas (concretas) observacionais.
(CE2) Estruturas abstratas cujos membros são as estruturas observacionais referidas em (CE1).
(CE3) A existência de estruturas (concretas) físicas que: 1) têm como membros do domínio as causas dos membros do domínio das estruturas observacionais referida em CE1 e 2) são membros da classe de isomorfismo referida em CE2.

Assim, a visão de Russell poderia ser entendida da seguinte maneira:[36] os dados obser-

[35]Intuitivamente, o requisito da eqüinumerosidade simplesmente reflete o fato de que para haver uma bijeção entre dois conjuntos eles devem possuir o mesmo número de objetos (o mesmo cardinal).
[36]A interpretação é devida a Votsis (*op. cit.*).

vacionais demonstram certos padrões, permitindo-nos descobrir/postular certas relações entre os observáveis.[37] Tomando os observáveis como nosso domínio e juntando essas relações em um conjunto, temos a chamada 'estrutura observacional'. Elas são concretas porque o seu domínio é especificado de forma única. As estruturas abstratas correspondentes a essas estruturas observacionais podem, então, ser deduzidas diretamente por um *processo de abstração*. Deste modo, tudo o que precisamos fazer é compor a classe de isomorfismo da qual a estrutura observacional concreta é um membro. Recorrendo aos princípios H-W e RR, podemos então inferir que para cada estrutura observacional concreta corresponde uma, e somente uma, estrutura física tal que: 1) as duas são isomorfas[38], e 2) os membros do domínio da estrutura física – os objetos físicos – são causalmente responsáveis pelos membros do domínio da estrutura observacional, ou seja, os observáveis. Serem isomorfas significa apenas que as duas estruturas concretas, a física e a observacional, são membros da mesma estrutura abstrata, ou seja, a mesma classe de isomorfismo. A figura abaixo[39] ilustra a relação entre estrutura física, estrutura observacional e estrutura abstrata.

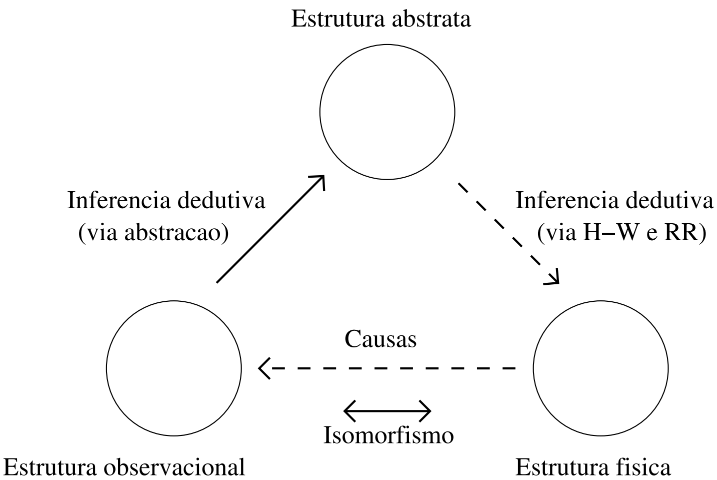

Figura 1.1: O 'realismo estrutural' de Russell

[37]Uma observação importante. Russell utilizou o termo 'observável' em um sentido diferente daquele ao qual estamos acostumados a usar habitualmente. Os observáveis, para Russell, são o conjunto de todas as entidades, em certo sentido, *mentais* (Votsis *op. cit.*, p. 52). Isto é, podemos conhecê-los por *familiaridade*, em oposição aos inobserváveis, os quais podemos conhecer apenas por *descrição*. Aqui, utilizamos o termo 'observável' *neste* sentido.

[38]Ver a objeção de Psillos na subseção seguinte.

[39]A figura é tomada de Votsis *op. cit.*

Outra interpretação semelhante que poderia ser dada, dentro do espírito do método axiomático, é a seguinte. Temos um domínio do conhecimento Δ. Digamos que Δ é nosso 'mundo exterior' – para usarmos a terminologia de Russell. A partir desse domínio, através da intuição prática, experiência etc., ou seja, informalmente, construímos um modelo matemático E_c, que poderia ser identificado como 'estrutura concreta' ou axiomática concreta. Por abstração, formulamos a estrutura abstrata ou axiomática formal E_f de E_c. Podemos então, a seguir, formular diferentes modelos (interpretações) de E_f, onde E_c é um deles, o intensional ou pretendido.

Para finalizarmos esta subseção, é interessante fazermos uma observação acerca da filosofia de Russell. O programa de Russell, neste caso, tende mais a uma *reconstrução* epistemológica do conhecimento científico do que a uma *descrição* do que se faz em ciência. Como afirma Votsis: "[e]le [Russell] não afirma que os cientistas observam primeiro e, sobre a base dessas observações, postulam a existência de estruturas concretas observacionais que são então abstraídas a um nível superior, com isso permitindo então postular a existência de estruturas concretas físicas instanciando a mesma estrutura abstrata"(*op. cit.*, p. 44).

O 'realismo estrutural' de Russell recebeu diversas críticas, principalmente por Maxwell H. A. Newman (1928), já no ano seguinte da publicação de *A Análise da Matéria*, e, mais recentemente, por Stathis Psillos (2001, 2004). Uma análise mais pormenorizada dessas críticas demandaria uma dissertação à parte, portanto, a seguir, apresentaremos apenas um esboço de algumas delas.[40] No final da dissertação voltaremos a analisar essas críticas.

1.3.2 As críticas ao 'realismo estrutural' de Russell

- **A objeção de Newman**

A objeção mais séria contra o 'realismo estrutural' de Russell seria aquela feita por Newman em uma resenha de *A Análise da Matéria*, publicado na revista *Mind* um ano após a publicação dessa obra.[41] Newman argumenta contra a afirmação de Russell de que podemos conhecer apenas a estrutura (abstrata) do mundo exterior. Tal afirmação,

[40] Uma análise completa pode ser vista em Votsis 2004, cap. 3 e 4.

[41] As críticas a seguir não serão por ora discutidas, mas apenas apresentadas.

segundo Newman, tornaria o conhecimento científico *trivial* e, portanto, devemos abandonar o realismo estrutural (Newman 1928; Votsis *op. cit*; Demopoulos e Friedman 1985). A objeção de Newman teria recebido pouca atenção até Demopoulos e Friedman a apresentarem como a principal objeção contra o realismo estrutural. Os dois principais argumentos de Newman seriam os seguintes (*ibid.*).

Primeiramente, Newman sustenta que o conhecimento possibilitado pelo realismo estrutural é *trivial*. Segundo ele, o 'realismo estrutural' de Russell é equivalente a seguinte afirmação:

> "O mundo consiste de objetos, formando uma agregado cuja estrutura W, digamos, com respeito a uma certa relação R é conhecida; mas da relação R nada é conhecido (ou nada é preciso ser assumido como conhecido) além da sua existência; isto é, tudo que podemos dizer é que '*existe* uma relação R tal que a estrutura do mundo exterior com respeito à R é W'"(*op. cit.*, p. 144; itálico do autor).

Esta afirmação, segundo Newman, expressa somente uma propriedade trivial do mundo, a saber, que dada uma classe (agregado) com qualquer cardinalidade[42], podemos erigir uma estrutura compatível com essa cardinalidade: "Para qualquer agregado A, uma sistema de relações entre seus elementos pode ser encontrado, podendo ter qualquer estrutura que seja compatível com o número cardinal de A"(*op. cit.*, p. 140). Assim, a doutrina de que *somente* a estrutura (abstrata) do mundo exterior é conhecida, envolve a doutrina de que *nada* pode ser conhecido que não seja logicamente dedutível do mero fato da existência de certo número de objetos constituintes. Além do mais, é de se supor que o conhecimento do mundo exterior é conseqüência da investigação empírica, e não de um raciocínio *a priori*, como sugerido acima. Portanto, conclui Newman, o 'realismo estrutural' de Russell não afirma nada de importante com respeito ao conhecimento do mundo exterior, a única exigência da investigação empírica seria a do tamanho da classe dada.

Em segundo lugar, Newman afirma que "[um] ponto a ser enfatizado é que não tem sentido falar da estrutura de uma mera coleção de coisas, não provida de um conjunto

[42]Intuitivamente, o 'número de objetos' da classe.

de relações [...] Assim, os únicos enunciados importantes sobre a estrutura são aqueles com respeito à estrutura erigida [...] por uma dada, definida, relação"(*ibid.*). Ou seja, a única maneira de evitar a trivialidade é especificarmos as particulares relações que geram uma dada estrutura. Se especificarmos R, ao invés de somente dizer 'existe uma relação R que tem uma estrutura W', o fato de R ter uma estrutura W não é trivial. O problema é que, se especificamos R, estamos indo além dos compromissos epistemológicos do realismo estrutural. Portanto, a única maneira de evitarmos a acusação de trivialidade seria abandonarmos essa teoria (Newman *op. cit.*).

Russell, em uma carta a Newman (que reproduzimos abaixo como curiosidade), 'aceitou' a objeção e, conseqüentemente, abandonou a idéia de que o nosso conhecimento do mundo exterior seja *puramente* estrutural.[43]

[43]Sobre o estruturalismo de Russell após 1928, ver Russell 1940 e 1948.

> “Caro Newman,
>
> Muito obrigado por me enviar o *off-print* de seu artigo sobre mim na revista *Mind*. Li ele com grande interesse e alguma consternação. Você deixou bastante claro que meus enunciados de que nada é conhecido sobre o mundo exterior exceto sua estrutura, ou são falsos ou são triviais, e estou um pouco envergonhado por eu mesmo não ter notado esse ponto. É certo que, como você apontou, a asserção que diz que o mundo físico é suscetível de tal e tal estrutura é uma asserção sobre seu número cardinal apenas. (a propósito, essa não seria uma asserção tão trivial como parece ser, se, como não é improvável, o número cardinal envolvido fosse finito. Esse, todavia, não é um ponto sobre o qual eu gostaria de discutir.) Ficou totalmente claro para mim, quando li seu artigo, que eu não tive realmente a intenção de dizer aquilo que de fato disse, que nada é conhecido sobre o mundo físico exceto sua estrutura. Sempre assumi a continuidade espaço-temporal com o mundo dos perceptos, ou seja, sempre assumi que talvez haja co-pontualidade entre perceptos e não-perceptos, e mesmo que um possa passar, por um número finito de passos, de um evento para outro co-presente com ele, de um fim do universo para outro. E eu considero a co-pontualidade como uma relação que pode existir entre perceptos e é, em si mesmo, perceptível”(Russell 1968, p. 176).

Voltaremos a considerar a objeção de Newman no capítulo 2 e no final da dissertação. Por ora, vejamos outra objeção ao ‘realismo estrutural’ de Russell.

• Uma das objeções de Psillos

Psillos tem recentemente apresentado uma série de críticas ao realismo estrutural, tanto a sua versão epistemológica quanto a sua versão ontológica. Todas essas críticas podem ser encontradas em seus trabalhos referidos na bibliografia. A objeção a seguir do 'realismo estrutural' de Russell está baseada em um pressuposto fundamental desse autor para sustentar sua visão, a saber, o princípio (denominado por Psillos) de Helmholtz-Weyl.

Lembremos do enunciado desse princípio: diferentes efeitos (ou seja, perceptos) implicam diferentes causas (estímulos/objetos físicos) ou, em sua contrapositiva (também adotada por Russell), as mesmas causas implicam os mesmos efeitos (Psillos *op. cit.*; Russell *op. cit.*, p. 228; 277). Segundo Psillos, temos boas razões para duvidarmos de tal princípio (por exemplo, por que não podem os mesmos estímulos produzirem diferentes percepções, em diferentes tempos?). Mas mesmo que o admitamos, o argumento russelliano de que podemos ter conhecimento (*inferido*) do isomorfismo estrutural entre o mundo dos perceptos e o mundo dos estímulos contaria com um 'milagre' (Psillos, *op. cit.*). O 'milagre' é necessário porque o princípio não é forte o bastante para permitir o isomorfismo. Para que o isomorfismo fosse possível, o inverso do princípio de Helmholtz-Weyl – ou seja, mesmos perceptos (efeitos) implicam mesmos estímulos (causas/objetos físicos) – também seria necessário. Seria devido à falta desse inverso do princípio que Russell fala de uma relação *aproximadamente* (*roughly*) um por um. De fato, segundo Psillos, Russell fracassou na tentativa de argumentar que a relação deveria ser um por um. Na seguinte passagem Russell admite que:

> "[é] óbvio como questão de lógica que, se nossa relação correlatando S for de muitos para um, e não de um para um, a inferência lógica no sentido em que S se dá é tão plausível quanto antes, mas a inferência lógica no sentido oposto é mais difícil. Eis por que admitimos que perceptos diferentes têm estímulos diferentes, mas perceptos indistinguíveis não devam ter estímulos exatamente semelhantes. [...] Onde a relação S for de muitos para um, diremos que os dois sistemas que ela correlaciona são 'semi-semelhantes'. Essas considerações tornam toda inferência física mais ou menos precária. Podemos elaborar teorias que se ajustem a fatos conhecidos, mas jamais podemos estar certos de que outras teorias também não se ajustem a eles adequadamente. [...] A razão fundamental para essa incerteza, que permanece mesmo quando admitimos todos os cânones da inferência científica, é o fato de que nossa relação S, que relaciona o objeto físico com o percepto, é de muitos para um e não de uma para um"(Russell [1927] 1978, pp. 253-254).

Além disso, Psillos pergunta se faz sentido falarmos de uma relação 'aproximadamente um por um'. Para ele, uma relação ou é ou não é um por um; se ela é, então há a transferência de estrutura, senão não há (Psillos *op. cit.*).[44]

Embora Russell não o tenha feito, podemos admitir que, de fato, exista o inverso do princípio de Helmholtz-Weyl – segundo Psillos, o próprio Hermann Weyl teria admitido isso. Se assim o fizermos, então o 'realismo estrutural' de Russell estaria diante de um dilema: por um lado, se ele não admite o inverso, então ele não pode assegurar o critério de isomorfismo; por outro lado, se ele admite o inverso, então a estrutura do mundo é garantida, mas ao preço de concedermos, *a priori*, muito ao idealismo[45] – o que Russell certamente não desejava.

[44]Voltaremos a essa questão quando formos tratar de 'isomorfismos parciais', na seção 3.2
[45]Para mais detalhes, ver Psillos *op. cit.*

1.4 Outros autores

Entre as considerações originais de Russell sobre o 'realismo estrutural' e as reformulações dessas feitas por Grover Maxwell nas décadas de 1960 e 1970 que trataremos no próximo capítulo, houve alguns eminentes filósofos de linhas estruturalistas que merecem ser lembrados, mesmo que de maneira breve.[46] Alguns deles, como Eddington e Cassier, vêm sendo considerados, por exemplo, por French e Ladyman (2003), como precursores do chamado 'realismo estrutural *ontológico* (ou metafísico)'.[47] Outros, como Schlick e Carnap, são lembrados em Demopoulos e Friedman (1985). No que segue, mencionaremos alguns desses autores unicamente para chamar a atenção do leitor ao fato de que, embora não consideremo-los pormenorizadamente nesta dissertação, seus estruturalismos merecem devida atenção em uma descrição mais detalhada da história do realismo estrutural.

1.4.1 Schlick

Um filósofo que teria uma posição bastante similar ao realismo estrutural de Russell, segundo Demopoulos e Friedman, é Moritz Schlick, especialmente em seu trabalho *General Theory of Knowledge*. Segundo esses autores, assim como Russell, Schlick fez uma distinção entre estrutura e conteúdo/qualidade na defesa de seu 'realismo crítico', sustentando que nosso conhecimento do mundo está restrito à estrutura. Schlick argumenta que a física moderna lida com entidades inobserváveis reais, tais como átomos, elétrons, o campo eletromagnético etc., essas entidades, entretanto, não estão sujeitas à experiência ou intuição, nem mesmo seriam 'retratáveis' (cf. Demopoulos e Friedman *op. cit.*). Schlick chama esses inobserváveis de entidades 'transcendentes' ou coisas 'em si mesmas'. Todavia, essa 'transcendência' não apresentaria obstáculo para o nosso conhecimento ou cognição, pois o conhecimento é sempre das propriedades puramente formais ou estruturais, não do conteúdo ou das qualidades intuitivas. Assim, segundo Demopoulos

[46] Ver observações no início do capítulo.

[47] O realismo estrutural ontológico será visto na seção 2.3. Por ora, basta dizermos que, de maneira mais radical que o realismo estrutural epistemológico que temos visto até agora, o realismo estrutural ontológico afirmará que tudo o que existe são estruturas, nada mais.

e Friedman, Schlick sustenta que não podemos experimentar ou intuir as entidades da física moderna, mas apenas captar suas características formais ou estruturais por meio de uma axiomática ou de definições implícitas (*ibid.*). No entanto, diferentemente de Russell, Schlick rejeitou a idéia de que podemos conhecer a estrutura de nossa experiência. Para Schlick, o termo 'conhecimento por familiaridade (*acquaintance*)', adotado por Russell[48], é paradoxal. Podemos conhecer a estrutura do mundo, mas estamos familiarizados apenas com o conteúdo ou qualidade de nossa experiência, e não com sua estrutura. Deste modo, Schlick traça uma linha entre conhecimento e familiaridade, que coincidiria perfeitamente com sua distinção entre estrutura e conteúdo/qualidade (*ibid.*; Votsis *op.cit.*, p. 48).

1.4.2 Eddington

O estruturalismo de Arthur Eddington foi lembrado nos debates por autores como Steven French e James Ladyman, principalmente como consistindo em uma das primeiras defesas do realismo estrutural ontológico. Em *The Philosophy of Physical Science*, Eddington sustentaria que nosso conhecimento do mundo é estrutural. Quanto a isso, sua posição assemelha-se a dos filósofos mencionados acima, e não é de todo implausível. No entanto, segundo Votsis, Eddington adota um estranho tipo de estruturalismo. A estranheza está no fato de que, ao contrário da maioria dos cientistas e filósofos da ciência, ele rejeita a idéia de que nosso conhecimento do mundo físico é, no mínimo, justificado *a posteriori*. Surpreendentemente, de acordo com Eddington, nosso conhecimento do mundo físico é puramente *a priori*. Votsis chega a afirmar que "[...] é difícil alguém se acostumar à idéia de que um enunciado implausível como este venha de um físico de tamanha estatura"(*op. cit.*, p. 48).

Deixando de lado esta questão[49], uma das principais motivações do estruturalismo de Eddington se encontra na teoria de grupos. A filosofia de Eddington foi fortemente influenciada pela extensão da teoria de grupos, no século XX, da geometria à mecânica quântica. Como ele reconhece, sua noção de estrutura é aquela da teoria de grupos,

[48]Ver Russell ([1912] 1997).

[49]Lembramos, mais uma vez, que nos comprometemos a dar apenas uma 'visão bastante geral' dos aspectos estruturalistas dos filósofos discutidos nesta seção. No entanto, voltaremos a discutir um pouco mais a filosofia de Eddington na subseção 2.3.3.

como fica claro na seguinte passagem: "[q]ue tipo de coisa conheço? A resposta é estrutura. Para ser bastante preciso, é aquele tipo de estrutura definido e investigado na teoria matemática de grupos"(Eddington 1939, p. 147, citado por Votsis *op. cit.*, pp. 48-49). Segundo French e Ladyman, a teoria de grupos é fundamental no formalismo da mecânica quântica, qualquer realismo estrutural que pretenda abarcar a física moderna, deverá incorporar a estrutura matemática dessa teoria em suas considerações (French e Ladyman *op. cit.*).

1.4.3 Cassirer

Outro filósofo em que French e Ladyman têm fundamentado sua versão do realismo estrutural é Ernst Cassirer. Esses autores expõem um caso em que Cassirer defenderia uma versão ontológica do estruturalismo em que as relações, logo, as estruturas, são os componentes ontológicos primitivos do mundo (French e Ladyman *op. cit.*; Votsis *op. cit.*, p. 49). Ao defender tal posição, Cassirer teria em mente os desenvolvimentos da mecânica quântica e da teoria da relatividade.[50] A mecânica quântica, por exemplo, o leva a fazer perguntas como "Existe algum sentido em atribuir a eles [os elétrons] uma definida, estritamente determinada, existência à qual, no entanto, é apenas parcialmente acessível a nós?"(Cassirer 1936, p. 178, citado por Votsis, *op. cit.*, p. 49). Sua resposta a esta questão é um inequívoco *não*. Isso porque Cassirer entende os elétrons não como *indivíduos*, mas apenas como sendo "descritos como 'pontos de intercessão' de certas relações"(*ibid.*), o que o faz parecer rejeitar uma tradicional ontologia baseada em objetos para adotar uma ontologia baseada em relações, ou seja, que entenderia os objetos em termos relacionais (French e Ladyman *op. cit.*).[51]

[50]Uma análise mais pormenorizada dos estruturalismos de Eddington e Cassirer – e de seus possíveis comprometimento com um realismo estrutural ontológico – pode ser vista em French e Ladyman (*op. cit.*), bem como na subseção 2.3.3

[51]Essa possível 'mudança' de ontologia será investigada na seção 2.3.3 abaixo.

1.4.4 Carnap

As inclinações estruturalistas de Carnap também são referidas em Demopoulos e Friedman (*op. cit.*). Carnap, no *Aufbau*[52], defendeu a reconstrução de todos os conceitos científicos sobre a base da experiência privada. Alguns sugerem que com isso Carnap simplesmente quis reduzir os objetos físicos aos fenômenos observáveis, implicando em um projeto fenomenalista (Demopoulos e Friedman *op. cit.*; Votsis *op. cit.*). Contrariamente a essa interpretação, Demopoulos e Friedman sugerem que existe uma linha *estruturalista* no *Aufbau*. Segundo esses autores, Carnap afirma que todos os conceitos científicos seriam construídos a partir de uma determinada base ou 'minha experiência', mas a *objetividade* da ciência é captada através de uma restrição aos enunciados puramente estruturais sobre essa determinada base (Demopoulos e Friedman *op. cit.*). Assim, embora a 'matéria' ou conteúdo do sistema construtivo de Carnap seja, de fato, subjetivo ou 'auto-psicológico' − portanto privado e inexpressivo −, o que realmente importa é a *forma lógica* ou a *estrutura* do sistema. Demopoulos e Friedman afirmam que, para Carnap, apenas essa forma lógica torna o conhecimento objetivo e a comunicação possível (*ibid.*), o que ficaria claro na seguinte passagem do *Aufbau*, citada pelos autores:

[52]Segundo Demopoulos e Friedman, nessa obra, Carnap não adota um *realismo* estrutural. Para uma breve discussão sobre a posição realista ou anti-realista de Carnap, com respeito ao seu 'estruturalismo', ver Votsis *op. cit.*

> "A ciência deseja falar sobre o que é objetivo, e qualquer coisa não material que pertença à estrutura (isto é, algo que não possa ser apontado em uma definição ostensiva concreta) é, no fim da análise, subjetivo. Alguém pode notar facilmente que a física é quase que totalmente não-subjetiva, já que quase todos os conceitos físicos foram transformados em conceitos puramente estruturais. [...] Do ponto de vista da teoria construtivista, esse estado de coisas é descrito da seguinte maneira. As séries de experiências são diferentes para cada sujeito. Se desejamos, apesar disso, alcançar um acordo com respeito aos nomes para as entidades que são construídas sobre as bases dessas experiências, então isso não poderá ser feito por referência a um conteúdo completamente divergente, mas apenas através da descrição formal da estrutura dessas entidades"(Carnap 1928, § 16, citado por Demopoulos e Friedman 1985 p. 626).

Segundo Demopoulos e Friedman, Carnap, todavia, não fundamenta o conteúdo com uma simples referência à forma lógica ou à estrutura. Ele voltou seu 'requisito de objetividade' para um programa técnico definido, esse programa definia todos os conceitos científicos em termos do que ele chamou 'descrições definidas puramente estruturais'. Essa definição explicaria um objeto empírico particular como a única entidade satisfazendo certas condições puramente formais ou lógicas (*ibid.*). Votsis afirma que é importante notarmos que essas descrições definidas contêm apenas vocabulário lógico. Esse movimento seria similar à chamada 'sentença de Ramsey'[53], sendo que a única diferença é que Carnap se refere a *todos* os termos, e não somente aos teóricos – como no caso da sentença de Ramsey –, como percorrendo as variáveis (de predicados) (Votsis *op. cit.*, p. 50).

Segundo Votsis, as considerações estruturalistas de Carnap estariam também patentes no seu trabalho de 1956, *The Methodological Character of Theoretical Concepts*, no qual ele sustenta que as variáveis teóricas percorrem os números naturais somente porque o

[53]Falaremos sobre as sentenças de Ramsey na subseção 2.1.2 a seguir. Brevemente, essas sentenças têm por objetivo 'eliminar' o conteúdo cognitivo dos termos teóricos através de variáveis de predicados quantificadas existencialmente.

domínio dos naturais tem uma espécie de estrutura que é isomorfa à estrutura do domínio da teoria. A primazia da estrutura sobre seus elementos é afirmada por Carnap quando ele diz: "a estrutura [do domínio de uma teoria] pode ser especificada de forma única, mas os elementos da estrutura não podem"(Carnap 1956, p. 46, citado por Votsis *op. cit.*, p. 50). Posteriormente, segundo Votsis, o estruturalismo de Carnap teria se tornado mais pronunciado. O seu mais importante desenvolvimento teria sido a 're-invenção' da abordagem das 'sentenças de Ramsey' sob o nome de 'a forma existencialista das teorias'. Dessa maneira, diz Votsis, ele evitou uma interpretação realista argumentando que na 'ramseyficação' os termos teóricos cedem lugar às variáveis que percorrem entidades matemáticas (Votsis *op. cit.*). Embora o estruturalismo de Carnap mereça atenção em uma descrição detalhada da história do realismo estrutural, para cumprirmos o que dissemos no início do capítulo – e também desta seção –, encerraremos nossas considerações por aqui.

Capítulo 2

A história mais recente

Como comentamos no capítulo anterior, após os trabalhos de Russell sobre o 'realismo estrutural', os autores que de certa maneira traçam o desenvolvimento dessa teoria historicamente, apontam os trabalhos de Grover Maxwell como os primeiros a darem continuidade ao desenvolvimento do realismo estrutural na segunda metade do século XX. De fato, como também já tivemos oportunidade de comentar, foi Maxwell quem criou esse termo. Seguindo o desenvolvimento histórico do realismo estrutural, a maioria desses autores (por exemplo, Votsis 2004) aponta o trabalho de Worrall de 1989 como tendo 're-inaugurado' o realismo estrutural nas recentes discussões em filosofia da ciência. A partir do artigo original de Ladyman de 1998, entrou nas discussões uma nova versão dessa teoria, denominada 'realismo estrutural metafísico ou ontológico', em oposição à versão epistemológica proposta até então. Neste capítulo, seguiremos essa 'linha histórica' do desenvolvimento do realismo estrutural – mas com isso não rejeitamos outras possíveis 'linhas históricas' que considerem outros filósofos.[1] Por motivos de melhor compreensão dos argumentos apresentados neste capítulo – e nos seguintes –, além de investigarmos as versões do realismo estrutural de filósofos tais como Maxwell, Worrall, Zahar, Chakravartty, Ladyman, French etc., pensamos ser interessante apresentar uma breve discussão dos aspectos gerais e intuitivos (e certamente não mais do isso!) das duas principais abordagens que foram propostas para suportarem o realismo estrutural, a saber, a abordagem sintática e a abordagem semântica.

[1]Fazemos essa escolha, principalmente, por questão de espaço. Todavia, alguns desses outros filósofos que também teriam características de um 'realismo estrutural' em suas obras, foram brevemente citados na seção 1.4.

2.1 Abordagem sintática, sentenças de Ramsey e o realismo estrutural de Maxwell

Nesta seção, vamos investigar o chamado 'método de Ramsey' aplicado ao realismo estrutural, primeiramente por Maxwell, mas que também veio a ser adotado por Worrall e Zahar em suas variedades dessa teoria. O realismo estrutural geralmente é associado, implícita ou explicitamente, à abordagem sintática às teorias científicas. Assim, antes de investigarmos a proposta de Maxwell para o realismo estrutural, vamos brevemente apresentar alguns aspectos gerais da abordagem sintática que, acreditamos, auxiliará no entendimento do restante da seção, bem como nas discussões que se seguirão posteriormente.

2.1.1 *Received View* ou abordagem sintática

Segundo Suppe, a abordagem sintática está associada à teoria filosófica conhecida como positivismo lógico – ou empirismo lógico –, que teve suas origens no início do século XX.[2] O positivismo lógico é um movimento originário da cultura alemã. A ciência que era feita na Alemanha, no período de 1850 a 1880, era dominada pelo ponto de vista filosófico do *materialismo mecanicista*, que é uma mistura entre o positivismo de A. Comte, o mecanicismo e o materialismo. Não obstante essa posição ser dominante entre os cientistas, ela estava contra a posição filosófica 'oficial' das universidades alemãs, que era uma 'versão diluída do hegelianismo'. Apesar do positivismo lógico ter surgido como resposta aos excessos metafísicos de Hegel e de seus sucessores neo-hegelianos, como MacTaggart, Bradley etc., que tentavam explicar a realidade em termos de entidades metafísicas abstratas, tais como 'O Absoluto' ou 'enteléquias' – que não seriam especificadas empiricamente –, esta não era a preocupação principal nos primórdios do movimento. No início, o positivismo lógico teve como característica a formação do Circulo de Viena e da escola de Berlim, esses movimentos eram constituídos por cientistas, matemáticos e filósofos educados como cientistas[3], que estavam preocupados principalmente com as questões filosóficas levantadas

[2]Este capítulo segue, basicamente, partes da exposição feita por Suppe 1977, pp. 6-118.

[3]Alguns dos membros mais significativos do grupo eram: Rudolf Carnap, Kurt Gödel, Hans Hahn, Otto Neurath, Moritz Schlick, Friedrich Waismann, entre outros. Ver "*A concepção científica do mundo*

pelos avanços científicos recentes (Suppe 1977, pp. 6-8).[4]

Falando brevemente, o senso comum da comunidade científica alemã era de que a ciência seria um conhecimento absoluto, não relativista. No entanto, com o surgimento, na física, da teoria da relatividade e o desenvolvimento da teoria quântica, essa concepção foi contestada. As três escolas de filosofia da ciência que até então imperavam, a saber, o neo-kantismo, o neo-positivismo machiano e o materialismo mecanicista, não foram capazes de dar conta dos novos avanços acarretados por essas teorias.[5] Instalou-se então uma crise nessas filosofias da ciência. Qual era a natureza do empreendimento científico? Qual filosofia da ciência devia ser adotada? Uma das opções para contornar a crise foi a criação de um neo-kantismo modificado, como o de Ernst Cassirer.[6] A outra, que se tornou a mais influente, foi a de adotar uma versão enfraquecida do neo-positivismo machiano, iniciado por Moritz Schlick (1918), em Viena, e Hans Reichenbach (1924), em Berlim (*ibid.*, pp. 10-11).

Para Suppe, apesar desses dois filósofos aceitarem parte da teoria neo-positivista de Ernst Mach – aceitavam, por exemplo, o critério de significado, segundo o qual os conceitos teóricos deveriam ser verificáveis –, eles concluíram que Mach estava errado ao não dar um lugar para a matemática. Introduziram, assim, a proposta matemática de Poincaré de que as leis científicas em geral seriam meras *convenções* a respeito de fatos.[7] As regularidades observadas nos fenômenos seriam caracterizadas, nas teorias, por *termos teóricos*. Esses termos teóricos seriam *convenções*, no sentido de que qualquer afirmação que utilizasse termos teóricos poderia também ser feita em linguagem fenomênica. Os termos teóricos seriam *definidos explicitamente* em função dos fenômenos, sendo, assim, meras descrições abreviadas desses (p. 11).

Os avanços da matemática realizados por Gottlob Frege e Bertrand Russell na segunda metade do século XIX e início do século XX – que propunham axiomatizar a matemática tendo por base a lógica[8] –, eram bem conhecidos pelos matemáticos e por alguns filósofos

- *O círculo de Viena*", in: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, vol. 10, 1986, pp. 5-20.

[4]Destacadamente, a teoria da relatividade (especial e geral) e a mecânica quântica.

[5]Não comentaremos essas escolas nesta dissertação.

[6]Como veremos mais à frente, os defensores do realismo estrutural ontológico buscam apoio histórico nos trabalhos desse filósofo.

[7]Ver seção 1.1.2

[8]Não cabe distinguirmos a lógica já que, como provavelmente sabe o leitor, a única lógica existente nessa época era a que hoje chamamos de 'lógica clássica'.

do Circulo de Viena. Isso sugeriu aos membros do Círculo que os enunciados matemáticos das leis científicas, bem como as definições dos termos teóricos, deveriam ser dados em termos da linguagem da lógica matemática. Desta maneira, segundo Suppe, os membros do Círculo modificaram sua síntese de Mach e Poincaré, criando uma nova concepção de ciência. Esta concepção ficou conhecida como '*Received View*', ou 'Visão Recebida' (ou ainda 'Vista Recebida') das teorias científicas (p. 12).[9]

Segundo a versão original da *Received View*, os termos da axiomatização lógica dividir-se-iam em três tipos: (1) termos lógicos e matemáticos; (2) termos teóricos; (3) termos de observação. Os axiomas da teoria seriam formulações de leis científicas, especificando relações entre termos teóricos. Como vimos, termos teóricos seriam meras abreviações de descrições fenomênicas (com termos de observação), de maneira que haveria definições explícitas dos termos teóricos T em função dos termos de observação O, e que poderiam ser expressas da seguinte maneira, para todo x[10]:

$$Tx \leftrightarrow Ox$$

Essas definições explícitas foram denominadas *regras de correspondência* – também chamadas definições coordenativas, dicionários, sistemas interpretativos, definições operacionais, correlações epistêmicas e regras de interpretação. Os termos de observação eram, em princípio, tidos como descrições de fenômenos perceptivos; posteriormente, passaram a descrever objetos físicos, numa linguagem 'fisicalista' (p. 12, nota 23).

Segundo Suppe, a *Received View* ocupou uma posição central no positivismo lógico. Ela evitava, por exemplo, a introdução de entidades metafísicas na ciência – uma das reivindicações mais caras ao positivismo lógico –, pois um termo teórico (como 'massa' e 'força', por exemplo) teria que ser definido explicitamente em termos de observação. Um conceito que não tivesse essa correspondência com termos de observação, não poderia ser admitido pela ciência. Assim, acreditavam seus defensores, resolvia-se o problema das entidades teóricas sem recurso a quaisquer entidades metafísicas (Suppe *op. cit.*, p. 13).

[9] O termo seria devido a Putnam (1962).

[10] Para nos adequar ao resto da dissertação, modificaremos alguns símbolos lógicos empregados originalmente por Suppe.

O progresso da ciência era caracterizado, às vezes, pela *Received View* da seguinte maneira: inicialmente, a ciência consistiria de generalizações empíricas formuladas com termos de observação. Depois, com o avanço da ciência, introduzir-se-iam termos teóricos através de definições. As leis teóricas ou generalizações seriam, então, formuladas através desses termos teóricos. Assim, a ciência procederia 'ascendentemente', de fatos particulares para generalizações teóricas sobre fenômenos (p. 15).

Seguindo a exposição histórica feita por Suppe, poderíamos resumir uma das versões da *Received View* do seguinte modo. As teorias científicas são teorias axiomáticas formuladas em uma linguagem lógica $\mathcal{L}$ satisfazendo as seguintes condições:

(i) A teoria é formulada na lógica (clássica) de 1ª ordem com igualdade, $\mathcal{L}$.

(ii) Os termos não-lógicos ou constantes de $\mathcal{L}$ são divididos em três classes disjuntas, chamadas *vocabulários*:

  (a) *O vocabulário lógico* consiste de constantes lógicas (incluindo termos matemáticos).

  (b) O *vocabulário observacional* V_O, que contém os termos de observação.

  (c) O *vocabulário teórico* V_T, que contém os termos teóricos.

(iii) Os termos de V_O são interpretados como se referindo a objetos físicos diretamente observáveis ou atributos (diretamente observáveis) destes.

(iv) Há um conjunto de postulados teóricos T cujos únicos termos não-lógicos são de V_T.

(v) Os termos de V_T são definidos explicitamente a partir de V_O por meio de *regras de correspondência* C. Isto é, para cada termo 'F' em V_T, deve haver uma definição da forma $\forall x(Fx \leftrightarrow Ox)$, onde '$Ox$' é uma expressão de $\mathcal{L}$ contendo símbolos apenas de V_O, além do vocabulário lógico.

O conjunto de axiomas T é o conjunto de leis teóricas da teoria, e o conjunto C de regras de correspondência estipula as aplicações permitidas da teoria aos fenômenos; a teoria científica é então identificada como a conjunção de T e C (pp. 16-17).

Segundo Suppe, as regras de correspondência teriam três funções: primeiro, elas definem os termos teóricos; segundo, elas garantem a significância cognitiva dos termos teóricos e terceiro, elas especificam os procedimentos experimentais admissíveis de aplicação de uma teoria aos fenômenos. Essas caracterizações foram alvo de diversas críticas, sendo que dois grandes problemas que afetam a noção de 'regras de correspondência' como sendo definições explícitas ou operacionais podem ser destacados aqui: (a) termos teóricos disposicionais (como 'frágil') não são definíveis explicitamente se a teoria é axiomatizada na lógica de 1ª ordem com igualdade; (b) Não parece razoável definir um mesmo conceito teórico por meio de diferentes procedimentos experimentais.[11] Duas maneiras de se contornar o problema a foram apresentadas. A primeira seria relaxar a cláusula (v) acima, de forma a não se exigir que termos disposicionais sejam definidos de maneira explícita. A segunda é permitir que a teoria seja axiomatizada em uma lógica modal que seja capaz de exprimir condicionais subjuntivos, alterando, dessa maneira, a cláusula (i). A primeira alternativa foi a mais seguida. Quanto ao problema b, a solução seria semelhante à primeira oferecida ao problema a (p. 21).

Devido a esses e a outros problemas, a cláusula (v) foi posteriormente substituída por (v'): a cada termo em V_T é dada uma interpretação parcial em termos de V_O, por meio de sentenças de redução. Mais tarde, esta cláusula foi enfraquecida para (v''), permitindo também regras de correspondência que não são sentenças de redução. As regras de correspondência passaram a ser, então, um *sistema interpretativo* (pp. 24-25). Para Suppe, esse enfraquecimento das exigências sobre as regras de correspondência culminou no seguinte retrato das teorias científicas. Uma teoria científica TC é um sistema axiomático em que T são postulados teóricos ou leis básicas formuladas na linguagem teórica $\mathcal{L}_T$, e C são regras de correspondência que especificam as aplicações admissíveis de T a fenômenos empíricos. A inclusão de C permite que T possa ser usada para fazer *previsões* sobre observações futuras (p. 27).[12]

Resumidamente, a *Received View* defenderia que as teorias científicas devem ser concebidas como *sistemas axiomatizados* de enunciados. Para resolver os problemas funda-

[11] Para detalhes ver Suppe *op. cit.*, pp. 17-20.

[12] Como ressaltamos no início do capítulo, esta subseção é de caráter bastante geral e intuitivo. Uma análise completa da *Received View* e de várias críticas a ela, como já vimos indicando, pode ser encontrada em Suppe *op. cit.*, pp. 6-241.

mentais que lhe competia abordar, por exemplo, o conteúdo empírico (e da relevância empírica) de uma teoria científica, dava prioridade aos aspectos relativos à dedutibilidade de certos enunciados a partir do conjunto previamente fixado de axiomas, em detrimento de suas possíveis interpretações, o que a levou a ser chamada também de *abordagem sintática das teorias científicas.* A abordagem sintática caracteriza-se por considerar as teorias científicas como classes de enunciados, ou seja, elas seriam *entidades lingüísticas* – do cálculo de predicados, geralmente (mas não necessariamente) de 1ª ordem (Bueno 1999, pp. 121-122).[13]

2.1.2 O realismo estrutural 'estilo Ramsey' de Maxwell

No final da década de 1960 e início da de 1970, Grover Maxwell publicou uma série de artigos em que defendia uma espécie de realismo estrutural bastante semelhante ao de Russell.[14] Seguindo seus predecessores, Maxwell defendeu a impossibilidade de termos conhecimento *direto* do mundo exterior tendo em mente a distinção kantiana entre fenômeno e 'coisa em si'. Maxwell também adotou a distinção feita por Russell em sua versão do 'realismo estrutural' entre observável e inobservável, afirmando que todo o mundo exterior, incluindo nossos próprios corpos, é inobservável (Maxwell 1968).[15] No entanto, Maxwell difere de Russell quanto à que coisas os inobserváveis denotam. Diferentemente de Russell, Maxwell se desassocia da 'reificação' das unidades observáveis, evitando referência a coisas como 'dados dos sentidos' e 'perceptos', dando ênfase, ao invés disso, ao nível da linguagem, tomando sentenças observacionais e predicados como

[13]A insistência de Suppe de que todos os defensores da *Received View* sustentavam que as teorias científicas deveriam ser formuladas na lógica de primeira ordem pode ser criticada. Carnap, por exemplo, usou amplamente a lógica de ordem superior em seus trabalhos de reconstrução da ciência. Vale lembrar também que a lógica que Frege formulou originalmente, e empregou em seus estudos sobre os fundamentos da aritmética, era uma lógica de segunda-ordem, e não de primeira. Agradecemos ao Professor Otávio Bueno por esta observação.

[14]Além de Russell, Maxwell também teria identificado alguma espécie de 'realismo estrutural' nos trabalhos de Poincaré, Schlick, Wittgenstein, Beloff, Mandelbaum, Aune e Pepper. Maxwell afirma também que o realismo estrutural é similar ao 'realismo crítico' de Sellars, assim como ao 'realismo representativo' de Locke, com certas modificações (Maxwell 1970b; Votsis *op. cit.*, p. 51 e nota 63).

[15]Assim como Russell, Maxwell utilizou o termo 'inobservável' em sentido diferente daquele que estamos acostumados a usar habitualmente. Maxwell, como Russell, não distingue entre objetos físicos macroscópicos e microscópicos (neste caso), mas toma os inobserváveis como denotando o conjunto de todas as coisas que habitam o mundo exterior, ou seja, o conjunto de todas as entidades *não mentais* (Votsis *op. cit.*, p. 52). Nesta subseção, utilizaremos o termo 'inobservável' *neste* sentido.

primitivos (*ibid.*).

Maxwell geralmente é mais conhecido pela sua crítica da distinção entre termos teóricos e observacionais (Maxwell 1962). Todavia, um tanto paradoxalmente, segundo Votsis, Maxwell parece defender uma forte distinção entre observáveis e inobserváveis, essencial para a sua versão do realismo estrutural. A aparente 'tensão' seria eliminada, segundo Votsis, se lembrarmos que para Maxwell todo o mundo exterior é inobservável. Essa maneira de delinear o observável do inobservável evitaria, então, as espécies de objeções levantadas anteriormente – em seu trabalho de 1962 (Votsis *op. cit.*, p. 52).

Dado esse sentido de inobservável, como podemos ter conhecimento do mundo exterior? Assim como Russell, Maxwell dirá que a resposta repousa sobre a teoria causal da percepção. E um bom motivo para adotarmos a teoria causal da percepção, argumenta Maxwell, é que ela nos é 'forçada' pelo senso comum, assim como pela ciência (Maxwell 1970b). Segundo Maxwell, essa teoria permite que *não seja essencial* ao realismo estrutural que as impressões dos sentidos ou experiências perceptuais 'se assemelhem' (*resemble*) aos objetos físicos que porventura sejam seus antecedentes causais, basta que pelo menos um subconjunto das características das impressões do sentido seja isomorfo a um subconjunto das características do objeto físico. Para apoiar sua teoria, Maxwell recorre à preservação da estrutura através da corrente causal e ao princípio de Helmholtz-Weyl (H-W), ambos presentes no 'realismo estrutural' de Russell[16] (Maxwell 1968, 1970b; Votsis *op. cit.*, pp. 52-53). Maxwell admite que não há razões puramente lógicas ou conceituais para afirmarmos que existem similaridades estruturais entre os objetos no mundo exterior e 'itens' na nossa percepção. Todavia, afirma ele, teorias bem confirmadas dariam apoio a essa suposição. Se houvesse pouca similaridade (estrutural) – ou mesmo virtualmente nenhuma –, o conhecimento do reino físico se tornaria muito difícil de ser adquirido, mas não necessariamente impossível (Maxwell 1970b).

Maxwell, como Russell, afirma que não podemos conhecer as propriedades de primeira ordem dos objetos físicos, mas apenas as propriedades de segunda ordem ou, como chama Maxwell, 'propriedades estruturais'. As propriedades de primeira ordem dos fenômenos (como cores) não precisam se assemelhar (*resemble*) às propriedades de primeira ordem de suas causas (*ibid.*).

[16]Ver subseção 1.3.1

Segundo Maxwell, Russell também acertou ao ligar o realismo ao princípio verificacionista (do significado) do positivismo lógico.[17] Isso teria sido alcançado pelo princípio de familiaridade (*acquaintance*) e pela distinção entre conhecimento por familiaridade e conhecimento por descrição de Russell.[18] O princípio de familiaridade seria o fecho relativo do princípio verificacionista, já que ele assevera que para entendermos uma proposição devemos estar familiarizados com *todos* os seus constituintes. Com apenas alguns ajustes à terminologia – segundo Votsis, talvez não tão triviais –, Maxwell transportou a idéia para o contexto corrente, dizendo que todos os termos descritivos em uma linguagem significativa devem referir a 'itens' de nossa familiaridade, ou seja, todos os termos descritivos *devem ser* termos observacionais (como opostos aos termos teóricos). Dessa maneira, ele assumiu que os termos 'observação' e 'familiaridade' são co-extensivos (Maxwell 1970a; Votsis *op. cit.*, p. 54). Como observa Votsis, Maxwell usa o termo 'item' justamente para não se comprometer com o que seja exatamente a natureza dos objetos de familiaridade (Votsis *ibid.*, nota 64).

Mas o realismo requer que tenhamos conhecimento dos 'itens' com os quais não estamos familiarizados. É neste ponto que o conhecimento por descrição entraria, pois ele permite que conheçamos um objeto através de uma lista de descrições, isto é, sem termos conhecimento por familiaridade primeiro com ele. Assim como para Russell, o conhecimento por descrição é, para Maxwell, o mesmo que conhecimento via teoria (Maxwell 1970b).

Segundo Votsis, a principal contribuição de Maxwell ao realismo estrutural foi sua ligação desse ao chamado 'método das sentenças de Ramsey'. E é nesse ponto que o princípio da familiaridade e a distinção cognitiva familiaridade/descrição tornam-se claras. De acordo com Maxwell, a representação do conhecimento via sentenças de Ramsey valida ambos, o princípio e a distinção. Isto porque a abordagem das sentenças de Ramsey quantifica existencialmente todos os termos teóricos, mas deixam todos os termos observacionais intactos (Votsis *op. cit.*, p. 54). Para ele, podemos formular proposições que se referem às propriedades inobserváveis, ou às classes de coisas inobserváveis, por meio de

[17] A máxima deste princípio é: 'o significado de um termo é seu método de verificação' (Suppe *op. cit.*, p. 13).

[18] Ver seção 1.3 e Russell [1912] 1997.

variáveis de predicados quantificadas existencialmente, e outros termos puramente lógicos, mais termos dos quais a referência direta são observáveis. Maxwell afirma que qualquer teoria pode ser transformada, sem perda de conteúdo significante, dentro de uma tal proposição. Para isso, é necessário apenas substituir a conjunção das asserções da teoria por sua sentença de Ramsey (Maxwell *op. cit.*).[19]

Assim, de acordo com o princípio de familiaridade de Russell, os 'itens' que os termos teóricos supostamente referem, diferentemente dos 'itens' dos termos observacionais, não são 'ingredientes' de uma proposição. Para Russell, isso quer dizer que sentenças que expressam tal proposição não contêm um nome ou uma constante descritiva que refira diretamente a tais 'itens'. Todavia, divergindo do ponto de vista de Russell, Maxwell diz que existe um sentido no qual uma proposição *refere* aos 'itens' que seus termos teóricos prescrevem. Elas referem a eles *indiretamente*, através de duas maneiras: 1) termos cuja referência *direta* são 'itens' de familiaridade; 2) itens de natureza puramente lógica, tais como variáveis, quantificadores e conectivos (Maxwell 1970a; Votsis *ibid.*).

Uma das aparentes vantagens de se aplicar a abordagem das sentenças de Ramsey seria a de que as asserções estariam restritas às propriedades das propriedades dos inobserváveis, não identificando especificamente as propriedades. Isto *aparentemente* estaria de acordo com a afirmação de Maxwell de que não temos acesso às propriedades de primeira ordem dos inobserváveis.[20] Assim, segundo Maxwell, nossas teorias 'ramseyficadas' contam que eles (os inobserváveis) existem e o que algumas de suas propriedades (de segunda ordem ou ordem superior) são (Maxwell 1970b; Votsis *op. cit.*, p. 55).

Para apoiar sua versão do realismo estrutural, Maxwell dá alguns exemplos. Vejamos um deles.[21] Seguindo Maxwell, suponhamos que, dadas numerosas observações, pronunciamos a verdade da seguinte sentença $\forall x \forall y((Ax \wedge Dx) \rightarrow \exists y Cy)$[22], onde A e D são predicados teóricos, sendo A: 'é um átomo de rádio' e D: 'sofreu decaimento radioativo'; e C um predicado observacional, sendo C: 'é um click audível em um contador de Geiger'. Segundo Maxwell, se esta sentença é verdadeira, então sua sentença de Ramsey, a saber, $\exists \Psi \exists \Phi \forall x \forall y((\Psi x \wedge \Phi x) \rightarrow \exists y Cy)$, onde Ψ e Φ são variáveis de predicados, também o é. O

[19]Todavia, isso só seria possível se a teoria fosse *finitamente* axiomatizável.

[20]Para uma crítica a essa afirmação, ver Votsis *op. cit.*, *cap.* 3

[21]Não discutiremos a validade deste exemplo, apenas o exporemos.

[22]Modificamos a notação para adequarmo-la ao resto da dissertação.

princípio de familiaridade assevera que não podemos conhecer sentenças como a primeira, pois elas erroneamente incluem predicados teóricos completamente interpretados, A e D. Por outro lado, a sua sentença de Ramsey contorna este problema dizendo meramente que tais propriedades existem. Desse modo, Maxwell explica que nosso conhecimento dessas propriedades é por *descrição* e, como em todos os casos, não nos referimos a eles por constantes de predicados, mas indiretamente através de termos puramente lógicos mais um termo de observação, neste caso, C (Maxwell 1970a; Votsis *ibid.*).

No entanto, segundo Votsis, a versão do 'realismo estrutural' de Russell e a abordagem das sentenças de Ramsey são incompatíveis. De fato, afirma ele, é verdade que ambos, Russell e Maxwell, defendem uma noção de estrutura que identifica propriedades preservadas por isomorfismos (*isomorphic mappings*). Para Votsis, também parece verdadeiro que ambos estariam de acordo com a noção de estrutura abstrata.[23] Entretanto, apesar desses acordos, o fato de a sentença de Ramsey de uma sentença da teoria preservar a *estrutura lógica* de toda a teoria, entraria diretamente em conflito com a insistência de Russell de que inferimos a estrutura do mundo da estrutura de nossas percepções (Votsis *ibid.*).

Para tornar mais claro o seu argumento, Votsis oferece o seguinte exemplo.[24] Suponhamos que temos em nossas mãos uma teoria, chamada 'K', e que tudo o que ela diz sobre o mundo é capturado pela seguinte sentença: $\forall x((T_1x \to T_2x) \wedge (O_1x \to \neg O_2x))$. Agora, de acordo com Russell, descobrimos algo sobre a estrutura do mundo físico através da estrutura das observações. Primeiramente, tomamos a estrutura observacional concreta de K, isto é, $\forall y(O_1y \to \neg O_2y)$, que denotaremos '$O_K$'. Em seguida, deduzimos então a estrutura abstrata de O_K, ou seja, $\exists \Phi \exists \Psi(\Phi y \to \neg \Psi y)$, a qual chamaremos de 'A_K'. Finalmente, via os princípios H-W e RR, postulamos que existe uma única estrutura física concreta, que a chamaremos de 'P_K', a qual instância A_K e cujos membros do domínio são as causas dos membros do domínio da estrutura observacional concreta. Podemos expressar P_K como $\forall y(Fy \to \neg Gy)$, onde F e G são predicados referindo às propriedades físicas. Como realistas estruturais, não temos acesso epistemológico às propriedades às quais F e G referem, assim não podemos dizer que conhecemos P_K. Tudo o que podemos dizer é que

[23] Ver subseção 1.3.1

[24] Também não discutiremos a validade ou não deste exemplo aqui.

existem dois predicados que: 1) referem às propriedades físicas que causam os observáveis O_1 e O_2; 2) que estes predicados instanciam as variáveis de predicados em A_K. Chamemos esta última afirmação 'K_P'.[25] A questão então é, sustenta Votsis, que K_P é obviamente diferente da sentença de Ramsey de K, *R(K)*: $\exists\Theta\exists\Sigma\forall x((\Theta x \rightarrow \Sigma x) \wedge (O_1 x \rightarrow \neg O_2 x))$. Uma grande diferença, diz Votsis, é que a sentença de Ramsey de K assevera a existência de *pelo menos* duas propriedades, enquanto K_P assevera a existência de *apenas* duas propriedades. Demais, a última diz que as duas propriedades são antecedentes causais de O_1 e O_2, algo que *R(K)* não o faz. Outra grande diferença, diz Votsis, é que as propriedades lógicas de *R(K)* e K_P, pelo menos neste exemplo, são diferentes. Votsis acredita que este exemplo é suficiente para mostrar que os dois métodos, ou seja, o método de Russell e o de Ramsey não são equivalentes (Votsis *op. cit.*, pp. 55-56). Assim, não deveríamos nos surpreender com a afirmação de Maxwell de que "a sentença de Ramsey é *aproximadamente* equivalente à afirmação de Russell de que nós temos conhecimento das propriedades estruturais do inobservável"(Maxwell 1970b, p. 17, ênfase minha).

Em síntese, poderíamos apresentar o seu realismo estrutural da seguinte maneira. Maxwell procurou defender um realismo sobre inobserváveis (entidades teóricas). No entanto, ele procurou fazer com que isso fosse compatível com o que chamou 'conceito empirista' sobre o significado dos termos teóricos. O problema para Maxwell foi este: teorias falam sobre todas as espécies de entidades e processos que não são diretamente observáveis, assim, como podemos referir a eles e a suas propriedades? A resposta de Maxwell é que, certamente, não podemos conhecer nada sobre esses inobserváveis, por exemplo, por *familiaridade* (*acquaintance*), mas podemos conhecê-los por *descrição*, isto é, podemos conhecê-los via sua função em uma teoria, ou seja, através de suas propriedades estruturais. De fato, esse é o limite de nosso conhecimento deles. O modo pelo o qual os realistas tradicionalmente explicam essa noção da estrutura de uma teoria esgotar o conteúdo cognitivo dos termos teóricos é considerando a chamada 'sentença de Ramsey' de uma sentença da teoria. O método de Ramsey permitiria eliminar os termos teóricos de uma teoria substituindo-os por variáveis de predicados quantificadas existencialmente. Assim, a referência *direta* a inobserváveis seria eliminada. Entretanto, segundo Maxwell, permanece a referência por *descrição*, ou pela forma lógica, através de

[25] Ver subseção 1.3.1.

variáveis, conectivos, quantificadores etc., dos quais a referência direta, então, conhecemos por familiaridade. Deste modo, as entidades teóricas e propriedades são compreendidas em termos puramente estruturais, o conhecimento do reino dos inobserváveis é o de suas estruturas ou propriedades de segunda ordem, e não de suas propriedades intrínsecas. Segundo Maxwell, o mundo objetivo é composto de objetos com certas propriedades e relações entre eles, todavia, o nosso conhecimento do mundo exterior está limitado apenas às propriedades e relações dessas propriedades e relações, ou seja, a sua estrutura (Ladyman *op. cit.*).

2.2 O 'renascimento' do realismo estrutural e a abordagem semântica

Como já tivemos a oportunidade de observar, o termo 'realismo estrutural' foi primeiramente cunhado por Maxwell, em seu artigo de 1962. Com efeito, Maxwell pode ser considerado o 'inaugurador' das discussões sobre o realismo estrutural na segunda metade do século XX. Esse fato, como também já tivemos oportunidade de comentar, motivou-nos a fazer uma certa 'demarcação histórica' entre as discussões sobre um 'pré-realismo estrutural' e as que se seguiram, um tanto mais especificadamente, a partir dos trabalhos de Maxwell. Não obstante os trabalhos de Maxwell terem 'inaugurado' o debate sobre um *realismo estrutural* propriamente dito, a eles – pelo menos ao que concerne à teoria de um realismo estrutural –, aparentemente, não foi dada atenção adequada nos anos subseqüentes. O autor que viria a 'resgatar' as discussões em torno do realismo estrutural foi o inglês John Worrall, em seu, agora clássico, artigo *Structural Realism: the best of the both Worlds?*, publicado em 1989. Nesta seção, além de comentarmos a proposta de Worrall, apresentaremos brevemente as propostas de Elie Zahar (2001) e Anjan Chakravartty (1998, 2003). Apresentaremos também alguns aspectos gerais da abordagem semântica, abordagem essa que foi proposta[26] como alternativa à abordagem 'clássica' empregada ao realismo estrutural, ou seja, a abordagem sintática. Os aspectos gerais da abordagem

[26]Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman 2003; French e Saatsi 2004.

semântica, por nós aqui apresentados, ajudarão, assim esperamos, a uma melhor compreensão das discussões que se seguirão na seção seguinte e nos próximos capítulos.

2.2.1 As propostas de Worrall, Zahar e Chakravartty

• **Worrall**

As versões do realismo estrutural de Worrall e Zahar – inicialmente também denominado 'realismo sintático' – são inspiradas nos argumentos históricos de Poincaré, diferindo, neste aspecto, das propostas de Russell e Maxwell (Votsis *op. cit.*, p.57). O artigo de Worrall de 1989 'inaugurou' o debate sobre o realismo estrutural nas recentes discussões em filosofia da ciência. Nesse artigo, Worrall argumenta que uma discussão adequada com respeito ao debate sobre o realismo científico dever levar em consideração dois argumentos conflitantes: o argumento do milagre (ou do não-milagre) e o argumento da meta-indução pessimista sustentados, respectivamente, pelo realismo e pelo anti-realismo.[27] Recordando brevemente, o argumento realista do milagre diz que, dado o grande sucesso preditivo da ciência – principalmente aquelas previsões que não estavam presentes inicialmente nas teorias –, seria um *milagre* de enormes proporções se nossas teorias não fossem verdadeiras, ou aproximadamente verdadeiras. Assim, se descartarmos a possibilidade de existirem 'milagres', o realismo científico seria a *única* visão que não tornaria o sucesso preditivo da ciência um milagre. Por outro lado, o argumento rival anti-realista da meta-indução pessimista diz que não devemos ser tão otimistas com respeito a esse 'sucesso', pois se nos voltarmos à história da ciência, veremos que várias teorias que foram anteriormente 'bem sucedidas' acabaram comprovando-se falsas. Portanto, diz o anti-realista, se raciocinarmos indutivamente sobre a história de ciência[28], concluiremos (indutivamente, claro) que as teorias tidas como bem sucedidas atualmente, um dia também sucumbirão.

Worrall então apresenta o realismo estrutural como alternativa aos dois argumentos constituindo, assim, um 'meio termo' entre o realismo científico tradicional e o empirismo

[27] Worrall remonta os argumentos a Duhem (1912) e Poincaré (1902). Ver Worrall *op. cit.*

[28] Por isso, então, o caráter 'meta' do argumento. Ou seja, seria um argumento indutivo *sobre* o 'aspecto indutivo da ciência'.

construtivo, 'o melhor de ambos os mundos' (Worrall *op. cit.*). Worrall argumenta que o realismo estrutural seria uma alternativa ao argumento do milagre porque ele sustentaria que o sucesso da ciência reflete o fato de que temos a correta estrutura do mundo, ou seja, as teorias científicas 'captariam' a estrutura do mundo.[29] E seria uma alternativa ao argumento da meta-indução pessimista porque o 'abandono', alegado por esse argumento, seria apenas de aspectos não estruturais da teoria, permanecendo sua estrutura (*ibid.*).

Desse modo, Worrall, seguindo Poincaré[30], toma o exemplo da mudança da teoria de Fresnel para a de Maxwell[31] como evidência histórica para o realismo estrutural.[32] Segundo Worrall, a estrutura da teoria de Fresnel – expressada, por exemplo, através de suas equações para intensidades relativas da luz refletida e refratada no limite entre dois meios transparentes de diferentes densidades ópticas –, foi transmitida (*carried*) de maneira ilesa para a teoria de Maxwell (*ibid.*; Votsis *op. cit.*, p. 57). Para Worrall, se olharmos para a mudança das teorias apenas da perspectiva das equações matemáticas, o caso Fresnel-Maxwell conta como evidência para o desenvolvimento essencialmente cumulativo da ciência. A suposição fundamental é a de que é razoável acreditarmos que o que sobrevive na mudança de teorias é o que de fato conhecemos do mundo. Assim, de acordo com Worrall (e Poincaré), Fresnel estava completamente errado sobre a *natureza* da luz, qual seja, que ela consiste de vibrações que são transmitidas através de um meio que tudo permeia, o éter. Todavia, Fresnel estava provavelmente certo quanto à sua *estrutura*, isto é, que os efeitos ópticos dependem de algo que vibre perpendicularmente na direção da propagação da luz, como requisitado pelas equações (Worrall *op. cit.*).

Segundo Votsis, uma questão que surge naturalmente dessa visão de Worrall é aquela de saber se a continuidade matemática alegada no caso acima é um fenômeno comum dentro da história da ciência ou apenas um caso isolado (Votsis *op. cit.*, p. 58). Worrall concorda que o caso Fresnel-Maxwell – onde as equações de Fresnel foram transmitidas para a teoria de Maxwell, segundo ele, *sem quaisquer modificações* – não é representa-

[29] Worrall é um tanto vago com respeito ao que entende por 'estrutura do mundo'. Bueno critica essa 'vaguidade' em sua defesa de um 'empirismo estrutural'. Ele diz que essa idéia de 'estrutura do mundo' do realista estrutural é, ou metafórica, ou – se a ela dermos um tratamento mais 'adequado' – compatível com seu 'empirismo estrutural' (ver Bueno 1999, p. 236). Voltaremos a este tópico no capítulo 4.

[30] Ver, por exemplo, Poincaré [1902] 1988, cap. 12.

[31] Obviamente, trata-se do grande físico escocês James Clerk Maxwell, e não de Grover Maxwell, tratado acima.

[32] Não exporemos essas teorias aqui.

tivo. Geralmente, diz Votsis, é mais freqüente o caso em que as equações de uma velha teoria reapareçam somente como casos-limite das equações em uma nova teoria. De fato, segundo Votsis, as duas maiores teorias do século XX – a teoria da relatividade e a mecânica quântica – se distanciam da física clássica de tal maneira que, *prima facie*, parece difícil – e algumas pessoas têm dito impossível – reconciliá-las (*ibid.*).[33] Segundo Votsis, Redhead, ele próprio um simpatizante do realismo estrutural, apresenta casos onde essa 'continuidade estrutural' entre a velha e a nova teoria é difícil de ser mantida. Por exemplo, o caso que envolve a relação entre o espaço-tempo de Minkowski e o espaço e tempo de Galileu. Diferentemente do espaço e tempo galileano, o espaço-tempo de Minkowski admite uma métrica não-singular. Entretanto, se permitirmos que a velocidade da luz tenda ao infinito, a métrica torna-se singular. Mas se permitirmos que a velocidade da luz tenda ao infinito, então a simultaneidade da relatividade desaparece, permitindo o restabelecimento do espaço e tempo galileano, o que derrocaria a teoria da relatividade (cf. *ibid.*).[34] Este caso de Redhead pretende ilustrar uma abrupta descontinuidade qualitativa entre e 'velha' e a 'nova teoria' (para outro caso de descontinuidade ver *ibid.*). Todavia, apesar dessa descontinuidade, Redhead nota uma *aparente* afinidade entre a 'velha' e a 'nova estrutura' no seguinte sentido:

> "Qualitativamente novas estruturas emergem, mas existe um sentido definido no qual as novas estruturas se desenvolvem naturalmente, embora descontinuamente, fora das velhas estruturas. Para o matemático, introduzir uma métrica em geometria ou a noção de não-comutatividade em álgebra são movimentos bastante naturais. Assim, olhando de uma perspectiva correta, as novas estruturas parecem surgir de uma maneira natural, senão inevitável, fora das velhas estruturas."(Redhead 2001, p. 19, citado em *ibid.*, pp. 58-59).

Em outras palavras, se vemos, assim como os matemáticos, como natural o salto (*leap*)

[33]Ver, por exemplo, Worrall *op. cit.*, p. 104, nota 11.

[34]Lembramos que, segundo a teoria da relatividade especial, a velocidade da luz no vácuo é *constante* (1, 08 bilhão de quilômetros por hora), a relatividade da simultaneidade decorre dessa constância. Para uma excelente exposição intuitiva sobre a teoria da relatividade (especial e geral), ver Greene 2001, 2004.

da velha para a nova estrutura, então a descontinuidade, neste caso, não seria tão problemática. Mas, como observa Votsis, tendo em consideração que esse argumento repousa sobre uma metáfora, não é de admirar que Redhead é reticente quanto a sua força. Como conclusão, podemos dizer que a maior tarefa para o realista estrutural é encontrar um modo de tornar concreta a relação correspondente entre as velhas e as novas estruturas (*ibid.*, p. 59).[35]

- **Zahar**

Geralmente essas estruturas são entendidas, no nível formal (matemático), em uma semântica padrão − quase sempre elaborada em uma teoria de conjuntos usual. Todavia, Zahar recentemente sugeriu que uma defesa adequada do realismo estrutural requer uma ruptura com a semântica padrão (Zahar 2001).[36] Segundo ele, por interpretar as relações apenas através de seus *relata*, a semântica padrão falha ao dar prioridade às relações, que são o foco do realismo estrutural.[37] Para Votsis, há uma associação, implícita nas considerações de Zahar, entre o conhecimento da natureza intrínseca dos objetos e a semântica clássica. Rejeitando a primeira, Zahar crê que devemos rejeitar também a segunda. No entanto, a pressuposta associação, prossegue Votsis, é altamente dúbia, desde que não conhecermos a natureza intrínseca dos objetos não nos força a abandonar a caracterização das relações em termos de indivíduos. Podemos simplesmente aderir à visão menos radical de que os indivíduos são conhecidos apenas sobre isomorfismos, expressando nosso conhecimento das relações através de proposições, em uma linguagem de ordem superior, sobre conjuntos de indivíduos (Votsis *op. cit.*, p. 59).

Além disso, argumenta Votsis, o suporte da abordagem das sentenças de Ramsey requisitado tanto por Zahar quanto por Worrall, não parece adequar-se a essa nova semântica sugerida por Zahar. Assim sendo, ou aceitamos o suporte da abordagem das sentenças

[35]French tem proposto uma solução a essa questão. Voltaremos a falar sobre essa 'descontinuidade estrutural' na seção seguinte.

[36]Não investigaremos aqui essa proposta de Zahar.

[37]Os defensores do realismo estrutural ontológico também terão dificuldade em manter a semântica padrão, já que esses, mais radicalmente que Zahar, não sugerem que a semântica deva ser modificada porque ela dá ênfase aos *relata* e não às relações, mas porque *os relata não existem*, ou *não deveriam existir*, em certo sentido que veremos na seção seguinte.

de Ramsey, associada à semântica clássica, ao realismo estrutural – neste caso, não existiria necessidade de uma nova semântica –, ou aceitamos (potencialmente) uma nova semântica, e então abandonamos essa abordagem (*ibid.*).

- **Chakravartty**

Em um interessante artigo publicado em 1998, Chakravartty argumenta que o realismo estrutural só pode ser sustentado se for associado ao realismo de entidades – o que é surpreendente, já que este último, em certo sentido, é rival do primeiro (aparentemente mais associável a um realismo de teorias).[38] Neste caso, o realismo estrutural seria equivalente a um tipo de realismo defendido por Chakravartty, denominado 'semi-realismo' (Chakravartty 1998). Segundo ele, as propriedades que detectamos nos experimentos científicos deveriam ser centrais a ambas as descrições.[39] O comprometimento com afirmações existenciais do realismo de entidades só pode ser alcançado através do apoio sobre relações entre propriedades detectáveis. Reciprocamente, essas relações, que são o foco do realismo estrutural, contém informações substantivas sobre entidades. Chakravartty então conclui que, propriamente entendidos, o realismo de entidades e o realismo estrutural acarretam um ao outro, na verdade, eles são uma e a mesma posição: *semi-realismo* (*ibid.*).

2.2.2 Abordagem semântica

O que é uma teoria científica? Para a abordagem sintática, como vimos, dito de modo breve, uma teoria científica é um cálculo axiomático ao qual se provê uma interpretação observacional parcial através de um conjunto de regras de correspondência. Isto é, uma teoria, seguindo essa visão, é uma entidade lógico-lingüística. Os problemas enfrentados por essa abordagem são vários e bem conhecidos, e não os abordaremos aqui (ver Suppe 1977). O realismo estrutural desenvolvido pelos autores que mencionamos até aqui, notadamente os de Maxwell, Worrall e Zahar é suportado pela abordagem sintática. Desse

[38]Sobre a distinção entre realismo de entidades e realismo de teorias, ver, por exemplo, Hacking 1983.

[39]Isso iria contra a principal afirmação do realismo estrutural, qual seja, a de que não temos acesso epistêmico às propriedades (mas apenas às propriedades das propriedades) dos objetos.

modo, as dificuldades enfrentadas por essa abordagem transferem-se naturalmente a essa teoria. O problema de Newman, por exemplo, seria essencialmente sintático, e poderia ser contornado se adotássemos uma abordagem alternativa ao realismo estrutural.[40] Como veremos na próxima seção, essa abordagem alternativa seria a semântica. Já que o mínimo entendimento dessa abordagem será essencial para a compreensão da versão do realismo estrutural que veremos na próxima seção, e no resto da dissertação, pensamos ser conveniente traçarmos um esboço geral (e não mais do que isso) de alguns aspectos da abordagem semântica – os detalhes podem ser vistos nas referências.

A abordagem sintática teve marcante presença no cenário filosófico até a década de 1950. Após esse período, como comentamos acima, começou a sofrer inúmeras críticas, algumas delas devido às inúmeras dificuldades em se distinguir termos teóricos e termos observacionais; outras, devido à difícil conceituação precisa das regras de correspondência.[41] Começaram, então, a aparecer teorias alternativas que eram mais interessantes e eficazes para responder à questão acima 'o que é uma teoria científica?'. Uma dessas teorias propostas foi a *abordagem semântica* ou *modelo teórica* (*model-theoretic*), fortemente inspirada pelos trabalhos de Alfred Tarski sobre teoria dos modelos.[42] Essa abordagem, em vez de considerar uma teoria científica como uma classe de enunciados, passou a defini-la como uma classe de *modelos*, isto é, estruturas (ou seja, certos tipos de entidades matemáticas formuláveis – pelo menos em princípio – na teoria de conjuntos. Assim, deveríamos fixar nossa atenção não nos aspectos lógico-lingüísticos (sintáticos) da teoria científica que estamos analisando, pretendendo com isso reduzi-la por completo a um cálculo lógico – isso seria até, dizem os críticos, irrealizável –, mas sim aos seus 'aspectos estruturais'[43] ou a suas diversas 'interpretações' dadas através dos *modelos* de tais estruturas (ou seja, seus aspectos semânticos). Desse modo, as teorias seriam vistas como entidades 'extra-lingüísticas': "[...] teorias não são coleções de proposições ou enunciados, mas são entidades extra-lingüísticas que podem ser descritas ou caracterizadas por várias

[40] Essa afirmação, todavia, tem sido contestada. Voltaremos a essa questão no capítulo 4.

[41] Ver Suppe *op. cit.*, pp. 62-233 e subseção 2.1.2 acima.

[42] Ver Suppe 1989, parte II. Sobre os vários significados e usos do termo 'modelo', ver Suppes 1960.

[43] Em geral, as filosofias da ciência falam apenas de estruturas de primeira ordem para as quais há uma teoria (de modelos) bem estruturada. No entanto, da Costa tem enfatizado que estruturas de primeira ordem não são suficientes para dar tratamento adequado às teorias científicas (da Costa e Rodrigues 2004).

formulações lingüísticas."(Suppe 1977, p. 221).

Há, todavia, várias versões do que se denomina abordagem semântica, associadas a filósofos como E. W. Beth, J. C. C. McKinsey, P. Suppes, van Fraassen, F. Suppe, entre outros. A maneira como essa natureza extralingüística é compreendida, varia de acordo com o tipo de abordagem semântica adotada. Por exemplo, Beth e van Fraassen irão dizer que as estruturas da teoria são capturadas em termos de espaços de estados; para Suppe, elas são entendidas como sistemas relacionais; e para Suppes e Sneed, em termos de predicados conjuntistas. Todavia, a função dessas diferentes caracterizações matemáticas seria a mesma: especificar o comportamento admissível dos sistemas físicos (Suppe 1989, p. 4; da Costa e French 2003, pp. 22-23). Outras duas diferenças, segundo Bueno, se situam no *estatuto cognitivo* da ciência – adotar uma postura *realista* ou *anti-realista* – e nos próprios *métodos* empregados para a implementação da análise lógica – enquanto Beth, por exemplo, se baseará na teoria tarskiana da verdade, Suppes, por outro lado, utilizará a teoria ingênua de conjuntos para dar prosseguimento ao seu programa de axiomatização da ciência. No entanto, afirma Bueno, devem existir interessantes conexões entre esses dois recursos metodológicos, pois, como insistentemente somos lembrados pelo Prof. Newton da Costa em seus seminários, a definição de verdade de Tarski é *dependente* da teoria de conjuntos na qual é formulada – e mesmo de um particular *modelo* da teoria (Bueno *op. cit.*, pp. 98-99; da Costa 2006). Para da Costa e French, a abordagem de Suppes, em certo sentido, seria mais geral que as demais. Por este motivo, e por outros que se justificarão na segunda parte da dissertação, no que segue, vamos nos ater principalmente à abordagem de Suppes e colaboradores (Suppes 1960, 1962, 1975).[44]

Suppes considera que todas as *teorias auxiliares*[45] a uma teoria científica podem ser adequadamente desenvolvidas na (em uma) teoria de conjuntos. Para Suppes, devemos pressupor como conhecida esta teoria e partimos diretamente para os *axiomas específicos* da teoria científica em questão – ou seja, pressupomos os *axiomas lógicos e matemáticos* (neste caso, mas não necessariamente, seriam aqueles da lógica clássica e de uma teoria

[44] Ou, melhor dizendo, a um *esboço* dessa abordagem. Os detalhes se encontram nos trabalhos de Suppes citados na bibliografia e nas referências citadas no texto.

[45] *Grosso modo*, são aquelas teorias que dão 'suporte' à teoria 'principal'. Por exemplo, a análise tensorial, a teoria das equações diferenciais parciais, a teoria das matrizes, os números reais etc., dão 'suporte' à teoria da relatividade e à mecânica quântica (Krause 2002, p. 37).

usual de conjuntos respectivamente).[46] Desse modo, não haveria necessidade de fazermos menção *explícita* a elas. Se estivéssemos interessados na axiomatização da mecânica quântica, digamos, poderíamos deixar de lado (pressupondo-as) as diversas teorias auxiliares como o cálculo tensorial, as equações diferenciais parciais etc. – que podem ser descritas na linguagem de uma teoria de conjuntos – e, de certo modo, ir diretamente para o que interessa ao cientista (Krause 2002, p. 37).

Apesar de trabalharmos em uma teoria ingênua de conjuntos, podemos, caso alguém deseje, *explicitar* a sua lógica subjacente, os procedimentos de prova, os conceitos primitivos e a sua linguagem. Krause salienta, todavia, que certos 'problemas conceituais' que estão presentes nessas 'teorias subsidiárias' e que fazem parte das discussões em fundamentos da matemática – como a redução ao absurdo e o Axioma da Escolha (que são naturalmente transferidos para a teoria científica analisada) – não devem ser desconsiderados por completo. Segundo Suppes, entretanto, partimos do princípio de que *conhecemos* todos esses 'problemas' quando pressupomos a teoria de conjuntos e a lógica que fundamenta a teoria analisada, e podemos resgatá-los caso precisemos.

Cabe, entretanto, a seguinte questão – que tem relevância filosófica óbvia – a qual discutiremos em outra oportunidade: se fôssemos indagados a *tornar explícita* esta base lógico-matemática das teorias, por qual lógica e por qual teoria de conjuntos optaríamos? A lógica de primeira ordem ou de ordem superior? Pela teoria de conjuntos Zermelo-Fraenkel (ZF) ou pelo sistema NF de Quine? Como já vimos, conceitos fundamentais, como o de verdade, no sentido de Tarski, *dependem* da particular teoria de conjuntos usada na metamatemática (por exemplo, o axioma da escolha é *independente* dos demais axiomas de ZF, mas é *falso* em NF, onde também não vale indução no seu sentido usual etc.). Assim, vemos que a análise filosófica da estrutura das teorias científicas, hoje em dia, não pode ficar à parte da consideração das várias teorias de conjuntos (não equivalentes) que há, bem como das variadas lógicas – esses aspectos são, todavia, pouco discutidos na atual filosofia da ciência. Uma discussão pormenorizada sobre *modelos*, *estruturas*, *verdade*, *referência*, *dedução* etc., não poderão nunca ser abrangentes se não forem consideradas essas possibilidades.

[46] Lembramos o leitor que poderiam alternativamente também ser utilizadas lógicas não-clássicas e teorias de conjuntos não-usuais, ou mesmo uma teoria de categorias.

Porém, voltemos ao nosso tema. Como já visto, ao invés de dar ênfase à descrição lógico-lingüística das teorias, a abordagem semântica destaca os seus *modelos*, pois, segundo essa abordagem, as interpretações parciais dadas pelas regras de correspondência não propiciam uma semântica adequada ao cálculo formal, levando-se em conta a então nova teoria dos modelos criada nos anos 1950. Segundo Suppes,

> "[...] muitos filósofos têm mostrado tendência para falar [...] de uma teoria como um cálculo lógico, em termos puramente sintáticos. As definições coordenadoras [regras de correspondência] [...] não propiciam, no sentido da lógica moderna, semântica adequada para o cálculo formal. Sem cogitar de problemas relativos às observações empíricas diretas, é pertinente e natural, de uma perspectiva lógica, falar de modelos da teoria. Esses modelos são entidades altamente abstratas, não-lingüísticas, freqüentemente muito afastadas, quanto à maneira que a concebemos, das observações empíricas. E cabe perguntar que contribuição pode ser trazida pelo conceito de modelo às repetidas discussões em torno da interpretação empírica das teorias" (Suppes 1975, p. 113.).

Por outro lado, Suppes entende as teorias científicas em termos de predicados conjuntistas que *são*, certamente, entidades lingüísticas.[47] O que é então uma teoria? Segundo da Costa e French, esta talvez seja uma das mais delicadas questões em filosofia da ciência, e uma resposta adequada a ela deveria repousar na noção de *representação*, ou seja, de como representamos a teoria. Se quisermos saber o que uma teoria é, o melhor que podemos fazer, dizem os autores, é dar uma resposta ostensiva, olhando para a prática científica e tomando os exemplos que a ciência nos oferece de teorias. Agora, a questão que temos que responder, como filósofos da ciência, é 'qual é a mais apropriada *representação* de teorias?'. Assim, poderíamos responder esta questão dizendo que uma teoria pode ser representada de várias perspectivas: por um predicado de Suppes, entendido lingüisticamente ou, por exemplo, determinando uma família de estruturas, que são entidades não-lingüísticas (da Costa e French *op. cit.*, p. 25).

[47]Não faremos uma análise da filosofia de Suppes nesta dissertação.

Assim, prosseguem da Costa e French, vendo através da representação, as teorias nos apresentam duas faces: a sintática e a semântica. No entanto, ninguém pensa hoje em dia que deveríamos axiomatizar todas as teorias em uma lógica de primeira ordem, pois isso é simplesmente impossível (*ibid.*). Se quisermos insistir na abordagem 'lingüística', podemos empregar ou lógicas de ordem superior ou uma teoria de conjuntos – que, por sua vez, é uma teoria de primeira ordem – mas com '*status*' de teoria de ordem superior. Para os autores, essa talvez seja a abordagem mais apropriada se o nosso objetivo for provar certos metateoremas sobre a teoria. Por outro lado, se o nosso objetivo é acomodar vários aspectos da prática científica – tais como as inter-relações entre teorias e dados ou entre as próprias teorias –, então a axiomatização deveria ser almejada, todavia, por outro método que não o da linguagem lógica de primeira ordem (*ibid.*). Segundo da Costa e French, esse outro método é precisamente o que a abordagem conjuntista oferece, onde

> "uma teoria é apresentada [...] em termos de uma descrição de um conjunto de modelos, no sentido de estruturas relacionais para as quais todas as sentenças em uma formação lingüística particular da teoria expressam propriedades verdadeiras sobre a estrutura quando a esta age como uma interpretação ou 'realização possível' (Suppes 1957) da teoria. Declaramos, então, que axiomatizar uma teoria é aplicar esses métodos conjuntistas [*model-theoretic*]" (*ibid.*).

Então, segundo Suppes, axiomatizar uma teoria seria definir um predicado em termos das noções da teoria de conjuntos. Neste sentido, um predicado conjuntista (*set-theoretical*) é apenas um predicado que pode ser definido de uma maneira completamente formal dentro da (de uma) teoria de conjuntos. Foi demonstrado que esses predicados são idênticos às espécies de estruturas descritas por Bourbaki[48] (Bourbaki 1968, *cap.* 4; para a demonstração, ver da Costa e Chuaqui 1988). Segundo W. Stegmüller, Suppes segue o

[48]Nicolas Bourbaki: pseudônimo de um grupo de matemáticos, principalmente franceses, que formaram um grupo a partir de 1935 tendo como objetivo redigir um tratado sobre os alicerces da análise matemática. Os membros que fundaram o grupo foram: Henri Cartan, Claude Chevalley, Jean Delsarte, Jean Dieudonné, André Weil, Jean Coulomb, Charles Ehresmann, Szolem Mandelbrojt e René de Possel (Krause 1987; Krause *op. cit*, p. 17 e nota 48).

desenvolvimento de sua abordagem semântica como um análogo ao programa de Bourbaki e sua abordagem estruturalista em matemática. Suppes pretendia, segundo Stegmüller, 'estender' o programa estruturalista de Bourbaki para as ciências empíricas, adicionando à idéia de 'espécies de estruturas', um processo que ficou conhecido como 'explicitar o predicado de Suppes' da teoria.[49] O que Suppes desejaria fazer nas ciências empíricas seria um análogo ao que fez Bourbaki na matemática, ou seja, fundamentá-la em uma teoria de conjuntos (Stegmüller 1981, p. 15).[50]

Segundo da Costa e French, como os defensores da teoria de conjuntos gostam de afirmar, a linguagem da teoria de conjuntos seria uma espécie de *linguagem universal*, com a qual podemos reproduzir *toda* a matemática existente – e praticamente todo o pensamento científico também. E é este aspecto que sustentaria a utilidade e importância da abordagem semântica, pois se axiomatizamos nossas teorias desse modo, então teremos aparentemente toda a matemática 'à mão' (da Costa e French *op. cit.*, p. 27).

Portanto, concluem da Costa e French, nesta ótica, axiomatizar uma teoria é definir um predicado conjuntista, e as estruturas que satisfazem esse predicado são os modelos da teoria. Quando uma teoria – seja ela matemática ou das ciências empíricas – é axiomatizada nesses moldes, as estruturas matemáticas que satisfazem o predicado são os modelos desse predicado, ou as estruturas dessas espécies de estruturas (*ibid.*). Como diz Suppes, "there is no systematic difference between the axiomatic formulation of theories in well-developed branches of empirical science and in branches of pure mathematics" (Suppes 1960, p. 294).

Outra vantagem que os defensores da abordagem semântica acreditam haver entre a sua teoria e a abordagem sintática é o fato de que a sua interpretação supostamente estaria 'mais próxima' da prática científica do que esta última. De fato, segundo eles, *os cientistas lidam com modelos*, e não com cálculos lógicos (ver, por exemplo, van Fraassen 1980, p. 65). Como veremos adiante, entretanto, isto não é tão intuitivo como possa parecer à primeira vista. O próprio Suppes, como visto na citação acima, diz que estas entidades (os

[49]Interessantes exemplos da aplicação do método dos 'predicados de Suppes' na matemática e nas ciências empíricas podem ser vistos em Krause 2002, cap. 2.

[50]Bueno critica essa interpretação de Stegmüller. Segundo ele, a proposta de Suppes é muito menos formal que a de Bourbaki, que busca reduzir todas as estruturas matemáticas a combinações de certas estruturas mães. Não se encontraria tal comprometimento, crucial para Bourbaki, na concepção de Suppes (discussão privada).

modelos) são freqüentemente muito afastadas, com respeito ao modo que a encaramos, das observações empíricas. Como relacionar, então, essas entidades a uma melhor 'adequação' à prática científica, tendo em consideração que os cientistas, usualmente, recorrem às observações empíricas?

A esta pergunta, Suppes oferece a seguinte resposta.[51] Após criticar a abordagem sintática dizendo que "a espécie de definições coordenadoras [regras de correspondência] comumente descrita pelos filósofos encontra aplicação nas exposições filosóficas de cunho popular, mas, para relacionar uma teoria aos dados, exige-se maquinaria formal mais elaborada e refinada"(Suppes 1975, p. 118), ele afirma que a experiência concreta, denominada pelos físicos de experimento, não pode ser ligada de forma *direta* e que faça completo sentido à teoria. Essa experiência deve submeter-se a um crivo conceitual que é, na maioria das vezes, muito grosseiro. Após a experiência ter passado por esse crivo, geralmente sob forma de registros muito fragmentários do experimento completo, os dados surgem de forma padronizada, e são formalizados em um *modelo de dados* que, por sua vez, são 'elevados' (na hierarquia) a um modelo de experimento. É então a esse modelo de experimento, e não ao modelo da teoria (física), que se aplicam as definições de coordenação diretas. Uma das características dos modelos de experimento é a de que eles têm tipo lógico relativamente diferente do tipo do modelo da teoria.[52] Por exemplo, freqüentemente os modelos da teoria contêm funções contínuas ou seqüências infinitas, enquanto o modelo de experimento é discreto e finito (*ibid.*). A relação entre o modelo de experimento e um modelo especial da teoria é, segundo Suppes, algo que diz respeito à (então) moderna metodologia estatística.

Para encerrarmos o assunto, é importante salientar que o que Suppes está sugerindo não é que *abandonemos* as caracterizações, ou tentativas de axiomatizações em geral, das teorias. Segundo Suppes, a axiomatização é um componente fundamentalmente importante na filosofia da ciência por vários motivos, entre eles, por sua função em clarificar os conceitos básicos de uma teoria; por ajudar na comparação (equivalência) entre teorias;

[51] Daremos apenas uma 'idéia tosca' da posição de Suppes, com base em seu artigo de 1975. No referido artigo, Suppes apresenta intuitivamente suas idéias. Uma exposição mais detalhada, inclusive com exemplos, pode ser vista em seus textos indicados na bibliografia, principalmente Suppes 1960 e 1962.

[52] Suppes irá argumentar que a relação entre teorias e os dados relevantes clamam por uma hierarquia de modelos de tipos lógicos diferentes (Suppes 1962).

por 'abrir' uma teoria às possíveis novas técnicas matemáticas frutíferas; e mesmo por sua utilidade em resolver certas disputas filosóficas. O que Suppes sugere, com sua abordagem semântica, é que tais axiomatizações não podem proceder apenas lingüística ou sintaticamente − *no sentido esboçado acima.* A espécie de axiomatização que Suppes defende não é lógico-lingüística, como sugerem os defensores da abordagem sintática, mas conjuntista (*set-theoretic*). Assim, a ferramenta adequada para a filosofia da ciência, segundo Suppes, é a matemática e não a metamatemática (da Costa e French *op. cit.*, pp. 23-24, 27).

Como vimos no início da subseção, alguns autores têm sugerido a mudança da abordagem que suporta o realismo estrutural, da sintática para a semântica. A abordagem semântica que esboçamos brevemente acima, nos ajudará a entender melhor os argumentos que esses autores recorrem para defender sua posição e desenvolverem uma versão diferente do realismo estrutural que temos estudando até agora. E é essa 'nova' versão do realismo estrutural que delinearemos a seguir.

2.3 Uma ontologia de estruturas?

> "Está bem", disse o Gato; e dessa vez desapareceu bem devagar, começando pela ponta da cauda e terminando com o sorriso, que persistiu algum tempo depois que o resto de si foi embora. "Bem! Já vi muitas vezes um gato sem sorriso", pensou Alice; "mas um sorriso sem gato! É a coisa mais curiosa que já vi na minha vida!".
>
> Lewis Carroll, Aventuras de Alice no País das Maravilhas

A objeção de Newman (1928) e as críticas de Psillos (1995) ao realismo estrutural, levaram James Ladyman, em um artigo publicado em 1998, a rejeitar a versão *epistemológica* dessa teoria.[53] Segundo Ladyman, o realismo estrutural não pode ser encarado como uma abordagem estrutural ao realismo (científico), mas sim como um *realismo de*

[53] Uma análise pormenorizada dessas críticas ao realismo estrutural pode ser vistas em Psillos 1995, 2001 e Votsis 2004, *cap.* 3 e 4.

estruturas, passando, desse modo, de uma tese epistemológica, para uma tese metafísica ou ontológica. Ou seja, não apenas podemos *conhecer* do mundo físico apenas as estruturas, e nada além, mas, seguindo o pensamento de Ladyman, *não existe* nada além da estrutura (Ladyman 1998). Anos mais tarde, em 2003, em artigo publicado em parceria com Steven French, French e Ladyman voltam a sustentar que as estruturas, e não mais os 'objetos', tornam-se as 'entidades' ontologicamente fundamentais.[54] Embora de maneira um pouco mais elaborada do que no artigo original de Ladyman, nesse mais recente, French e Ladyman deixam de considerar questões fundamentais para se sustentar o que então chamaram de realismo estrutural ontológico ou metafísico (French e Ladyman 2003). Nesta seção, investigaremos a possibilidade de se sustentar essa tese e algumas dificuldades com que ela se depara.

2.3.1 A questão da equivalência teórica

Segundo Ladyman, a sua nova versão do realismo estrutural deve ser desenvolvida no contexto da *abordagem semântica*, diferentemente da abordagem até então considerada como suporte ao realismo estrutural, a saber, a *abordagem sintática*. Ladyman acredita que a abordagem sintática além de não refletir a prática científica, acrescenta, uma vez adotada, inúmeros pseudoproblemas (como a objeção de Newman, entre outros) à análise filosófica das teorias científicas (*ibid.*).[55]

Como vimos acima, Maxwell, em seu realismo estrutural, procurou defender um realismo sobre entidades teóricas (inobserváveis). No entanto, ele procurou fazer com que isso fosse compatível (redutível) com o que ele chamou 'conceito empirista' sobre o significado dos termos teóricos. O modo pelo o qual os realistas tradicionalmente explicam a noção da estrutura de uma teoria 'esgotar' o conteúdo cognitivo dos termos teóricos é considerando a chamada 'sentença de Ramsey da teoria'. O método de Ramsey permitiria eliminar os

[54]French e Ladyman ora falam em substituir ontologicamente os objetos por estruturas, ora afirmam que devemos entender os objetos estruturalmente. Não está muito claro, na visão dos autores, se essas 'duas posturas' seriam ou não diferentes (por um lado, talvez no sentido de que os *relata* seriam também relações; por outro, no sentido de que os objetos teriam apenas uma função heurística (p. 11)). No entanto, recentemente, Psillos parece ter visto uma diferença entre elas (ver Psillos 2004).

[55]Não faremos uma *defesa* da abordagem semântica, no contexto do realismo estrutural, nesta dissertação. O leitor interessado pode ver Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*; French e Saatsi 2004; para críticas, ver Chakravartty 2001.

termos teóricos de uma teoria substituindo-os por variáveis de predicados quantificadas existencialmente (Suppe 1977, p. 32). Assim, a referência *direta* a inobserváveis seria eliminada, permanecendo, entretanto, como vimos, alguma referência *indireta* (via sua estrutura). Esse fato, argumenta Ladyman, dá margem à permanência do problema da descontinuidade ontológica (voltaremos a este ponto na subseção seguinte).

Ladyman, então, chama a atenção para a questão da equivalência teórica, fundamental para as discussões acerca da (des) continuidade ontológica através da mudança de teorias – base do argumento da meta-indução pessimista. Segundo ele, o realismo estrutural epistemológico, em sua formulação sintática, não é capaz de dar uma definição adequada de equivalência teórica. O realismo estrutural deveria ser capaz de incorporar compromissos epistemológicos além do conteúdo empírico de uma teoria[56], ou seja, deveria incorporar questões de como caracterizar as teorias e suas estruturas, bem como da equivalência teórica entre elas.

> "Para o positivista [lógico], é fácil dizer quando duas teorias são equivalentes, a saber, quando elas concordam em suas conseqüências observacionais; o realista precisa de alguma noção de equivalência teórica, não redutível à equivalência empírica, para suportar seus compromissos epistemológicos com o conteúdo teórico da teoria"(*ibid.* p. 9)

Ladyman toma como exemplo a questão da equivalência teórica entre a mecânica ondulatória de Schrödinger e a mecânica matricial de Heisenberg, segundo ele, o mais importante exemplo histórico de equivalência teórica, e do qual a visão sintática não daria conta. Segundo Ladyman, a história ortodoxa da mecânica quântica[57] (a chamada 'interpretação de Copenhague') conta que as duas teorias – a mecânica matricial e a mecânica ondulatória – foram quase que simultaneamente desenvolvidas, e então 'provadas' serem equivalentes, pelo próprio Schrödinger, e independentemente por Eckart e Pauli.[58]

[56]Lembramos que, segundo a visão sintática do realismo estrutural, os termos teóricos são definidos através dos termos observacionais. O acesso epistemológico (direto), porém, está restrito a esses últimos.

[57]Uma bela exposição do desenvolvimento histórico da mecânica quântica, contada por um de seus protagonistas, pode ser vista em Heisenberg 1998.

[58]Cf. Ladyman *op. cit.*

Todavia, podemos nos perguntar, qual a condição para que duas teorias sejam teoricamente equivalentes? Ladyman argumenta que a visão sintática de 'intertraduzibilidade' não é adequada. A equivalência teórica entre duas teorias, segundo essa visão, é obtida quando elas são empiricamente equivalentes e intertraduzíveis. A explicação da equivalência teórica, nesses termos, comprometeria o realista com a teoria contextual ou holística do significado dos termos teóricos. Se aceitarmos a teoria contextual do significado, onde uma teoria é entendida através das sentenças de Ramsey de suas sentenças, então, diz Ladyman, não podemos articular a noção de equivalência teórica além da equivalência observacional, isso porque, como teria sido provado por Jane English, duas sentenças de Ramsey quaisquer que são incompatíveis com uma outra, não podem ter todas as suas conseqüências observacionais em comum. Nessa abordagem, a equivalência teórica colapsaria na equivalência empírica (*ibid.*).

No caso da equivalência entre a mecânica ondulatória e a matricial, Ladyman sustenta que, na época da suposta prova, as duas teorias *careciam de interpretações físicas*. Heisenberg e Schrödinger teriam apresentado equações e métodos matemáticos sem nenhuma justificação real (física), nem mesmo teriam desenvolvido soluções particulares que poderiam ser relacionadas a fenômenos observáveis (*ibid.*). Sem uma interpretação física, o requisito da equivalência empírica não seria satisfeito, segundo Ladyman. Em que, então, consistiu a prova de equivalência feita por Schrödinger, Eckart e Pauli? Segundo N. R. Hanson[59], a chamada 'prova de equivalência' seria a equivalência *matemática* dos formalismos da mecânica ondulatória e matricial, e não da equivalência das teorias *como teorias físicas*, não satisfazendo, assim, o segundo critério de Hanson (ver nota). Portanto, conclui, não foi provado que as teorias, de fato, eram equivalentes (segundo os próprios critérios do realista!).[60]

Isso mostraria, diz Ladyman, a inadequação da abordagem sintática às teorias científicas.

[59]De acordo com Hanson, o único modo de provar a equivalência teórica das duas teorias, *qua teorias físicas*, seria estabelecer: 1) que mais de um algoritmo serve ambas as teorias e 2) a mesma interpretação física foi, em cada caso, forçada sobre o algoritmo (cf. *ibid.*)

[60]Na verdade, Schrödinger não teria provado nem mesmo a equivalência *matemática* entre a mecânica matricial e a ondulatória. Ele teria mostrado apenas um dos lados da equivalência – da mecânica matricial para a ondulatória, mas não vice-versa. O outro lado não tinha como ser provado consistentemente, a menos que as duas teorias fossem completamente reformuladas, como fez von Neumann, empregando a teoria dos espaços de Hilbert. Agradecemos ao Professor Otávio Bueno por ter nos chamado a atenção para esse fato.

Em geral, porque a abordagem sintática não daria conta da prática científica atual – as teorias científicas não são desenvolvidas como sistemas axiomáticos categoriais em uma linguagem de primeira ordem (com igualdade) parcialmente interpretada –, e, especificamente, porque as regras de correspondência seriam uma ficção filosófica (*ibid.*).[61] Por outro lado, diz Ladyman, se considerarmos a abordagem semântica, ao invés da abordagem sintática, como dando suporte às teorias científicas, o problema poderia ser assim contornado:

> "Assim, [de acordo com a visão semântica,] duas teorias são teoricamente equivalentes se elas tem o mesmo conjunto de modelos, e elas são empiricamente equivalentes se é o caso que, se algum fenômeno ajusta-se [*fit*] a um modelo de uma das teorias, então ele também se ajusta a um modelo da outra. Embora a prova de equivalência das mecânicas quânticas tenha estabelecido um isomorfismo matemático entre os formalismos, e não a equivalência das teorias como teorias físicas, isso é inteiramente apropriado, desde que as teorias não tiveram interpretações adequadas no sentido sintático, sua relação matemática foi fundamental"(*ibid.*, p. 15).

Concluindo, Ladyman afirma que, já que o realismo estrutural surge como uma teoria voltada para a análise de teorias físicas altamente 'matematizadas', e torna a referência às equações matemáticas e à estrutura dessas teorias indispensável, então faria mais sentido adotarmos o ponto de vista semântico para dar suporte aos futuros desenvolvimentos do realismo estrutural. Além disso, a recente extensão da abordagem semântica para incorporar 'estruturas parciais', permitiria capturar ambas as relações, entre teorias físicas e teorias matemáticas, e entre teorias físicas e os modelos de dados.[62] Essas estruturas incorporariam um elemento de 'abertura' (*openness*) dentro da representação das teorias via a introdução das chamadas 'relações parciais'. Com respeito às relações intrateóricas, as estruturas parciais poderiam capturar precisamente o elemento de continuidade através

[61]Para dificuldades enfrentadas pelas regras de correspondência, ver o já citado Suppe *op. cit.*
[62]Ver subseção 2.2.2.

da mudança de teorias, o que é desejado pelo realista estrutural, e particularmente oferecer a possibilidade de acomodar exemplos dessas continuidades que vêm sendo descritos como aproximados ou parciais (French e Ladyman *op. cit.*).[63]

2.3.2 A 'inadequação' do realismo estrutural epistemológico

Para desenvolvermos o realismo estrutural, em especial aquela proposta de Worrall (1989) que o vê como uma alternativa substantiva ao debate tradicional do realismo científico[64] – especialmente no que se refere ao argumento do milagre (ou do não-milagre) e o da meta-indução pessimista –, Ladyman acredita que duas questões devem ser consideradas: (*1*) O que é estrutura? e (*2*) Em que sentido o realismo estrutural é uma espécie de realismo? No que segue, veremos o que Ladyman tem a dizer sobre estas duas questões.

(1) O que é estrutura?

Surpreendentemente, embora Ladyman lance a pergunta, ele não oferece uma resposta adequada a ela. Do seu artigo original de 1998, podemos apenas *imaginar* que o tipo de estrutura a qual ele se refere seja aquela entendida em uma teoria de conjuntos, já que Ladyman defende que o suporte adequado ao tipo de realismo que deseja sustentar é aquele oferecido pela abordagem semântica das teorias científicas (usualmente, mas não necessariamente, suportada por uma teoria de conjuntos). Todavia, nesse artigo, a questão permanece sem resposta explícita. Já no artigo posteriormente publicado em parceria com French, os autores assumem – um tanto implicitamente – que a estrutura a qual se referem deve ser entendida em termos conjuntistas (French e Ladyman *op. cit.*).[65]

(2) Em que sentido o realismo estrutural é uma espécie de realismo?

[63]Voltaremos a esse ponto na subseção 3.2.2.

[64]Segundo Ladyman, o artigo de Worrall é ambíguo no que se refere ao *status* do realismo estrutural. Embora a posição *epistemológica* pareça prevalecer, Ladyman afirma que também há trechos que sugeririam uma posição *ontológica* (*ibid.*). No entanto, a posição geral de Worrall com respeito ao realismo estrutural parece mesmo ser epistemológica (ver Votsis *op. cit.*, *cap.* 2).

[65]Isso talvez possa ser justificado pelo fato de que os autores desejam adotar as noções de 'estrutura parcial' e 'quase-verdade', originalmente definidas em uma teoria de conjuntos. Voltaremos a discutir essas questões no capítulo 3.

Como aludimos acima, Ladyman acredita que o realismo estrutural não pode ser encarado como sendo uma abordagem estrutural ao realismo. Essa posição seria, por exemplo, aquela forma de realismo estrutural encontrada nos trabalhos de Russell e Maxwell. Para Ladyman, essa posição seria inadequada aos problemas para os quais ela foi destinada resolver (*ibid.*). Em particular, Ladyman diz que Psillos (1995), entre outros realistas, afirma que o realismo científico tradicional já é uma espécie de realismo estrutural − se esse for entendido da maneira acima referida − no seguinte sentido: o realismo científico tradicional afirmaria que a 'natureza' de algo consiste em suas propriedades básicas, e as equações expressam as leis às quais elas obedecem. Assim, a natureza da massa, por exemplo, não é nada mais do que sua obediência a algum conjunto de leis expressas através das equações descritas estruturalmente. Qualquer tentativa de defesa da existência de algo além das propriedades, segundo Psillos, nos remeteria às discussões medievais sobre formas e substâncias − que não seriam capazes de descrição estrutural −, discussões essas que teriam sido superadas pela revolução científica[66], assim, a 'natureza' de algo seria essencialmente estrutural. Não havendo nada além da estrutura, o realismo estrutural epistemológico colapsaria[67] (Psillos *op. cit.*; Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*).

Esse tipo de abordagem ao realismo estrutural (a abordagem epistemológica) também sofreu uma forte objeção por parte de Newman (1928), como já tivemos a oportunidade de ver[68], e que aqui lembramos resumidamente. A afirmação de que somente a estrutura pode ser conhecida assume que o melhor que podemos estabelecer é um isomorfismo entre um modelo de nossa teoria e o mundo. Mas a existência de um tal isomorfismo é suficiente somente para determinar a cardinalidade do conjunto de objetos no mundo, pois o modelo é conhecido apenas por descrição, e existe interpretações alternativas que serão isomorfas se a cardinalidade for a mesma. Apenas as propriedades *internas* dos

[66]French e Ladyman negam esse fato. Os autores chamam a atenção, por exemplo, para o entendimento da natureza dos átomos em termos metafísicos de 'substâncias' ou, no caso principalmente dos físicos, de localização espaço-temporal das partículas, presentes nas discussões sobre o atomismo científico (*ibid.*). Apesar da relevância da questão, não a abordaremos nesta dissertação.

[67]O que Psillos vê como uma refutação do realismo estrutural epistemológico, French e Ladyman vêem como um suporte para sua defesa de um realismo estrutural ontológico, como veremos abaixo.

[68]Seção 1.3.

modelos nos permitem distinguir as interpretações rivais, mas essas são inacessíveis ao realista estrutural (Ladyman *op. cit.*).

Finalizando suas críticas à versão epistemológica do realismo estrutural, Ladyman invoca a questão da descontinuidade ontológica ocorrida nas mudanças de teorias, o que é a base argumentativa da meta-indução pessimista. Se o problema da descontinuidade através da mudança de teorias é *ontológico*, e se Worrall levanta o realismo estrutural como uma resposta ao argumento anti-realista da meta-indução pessimista, então o realismo estrutural não pode ser apenas *epistemológico* (*ibid.*). Segundo Ladyman, como podemos resolver esse problema ontológico com modificações puramente epistemológicas? É devido a essas questões que Ladyman sustenta que o realismo estrutural não pode ser visto como uma abordagem estrutural ao realismo. Ao invés disso, devemos assumir que ele é uma tese metafísica substantiva, um *realismo sobre estruturas*, que afirma que a estrutura é tudo o que existe (*ibid.*).

2.3.3 O realismo estrutural como tese ontológica

Uma das motivações para o desenvolvimento do realismo estrutural, segundo Ladyman, é a de dar uma explicação *satisfatória* para a questão dos 'novos sucessos preditivos' das teorias, já que o argumento do não-milagre não seria capaz de dar suporte ao realismo científico (*ibid.*). A questão chave seria, então, a seguinte: como é possível as relações de um modelo predizer corretamente relações desconhecidas no mundo? O realismo estrutural (epistemológico) daria uma resposta vaga a esta questão, dizendo que a teoria capta a estrutura do mundo.[69] Para Ladyman, no contexto do dia-a-dia, nossa habilidade para predizer relações entre fenômenos está fundamentada em nossa aceitação da existência de objetos e suas propriedades. No que diz respeito ao mundo inobservável, o realismo sobre objetos inobserváveis tentaria prover um fundamento similar. Todavia, um requisito para o desenvolvimento satisfatório do realismo estrutural é o de explicar como a estrutura modal dos modelos pode representar a estrutura das relações modais entre fenômenos no

[69]Ver, por exemplo, Worrall 1989. Como já vimos, Bueno usa essa 'vaguidade' para atacar o realismo estrutural em sua defesa de um *empirismo* estrutural (Bueno 1999, p. 236). Ladyman observa que o anti-realista (van Fraassen) também não dá uma resposta adequada à questão.

mundo, *sem objetos figurando nessa explicação* (*ibid.*).[70]

Para Ladyman, uma justificativa para adotarmos o realismo estrutural como uma teoria adequada para lidar com a questão dos 'novos sucessos preditivos' da ciência, seria a de que algumas das novas predições mais profundas da ciência são diretamente obtidas de modelos altamente teóricos. Assim, as partes mais teóricas de uma teoria, a estrutura matemática abstrata empregada ao grande nível de generalidade, devem ter algum suporte na realidade.[71] Ladyman lança sua proposta nos seguintes termos:

> "O que estou afirmando, então, é que o realismo estrutural deveria ser desenvolvido como uma tese metafísica radical, ao invés de uma tese epistemológica cautelosa. Estou sugerindo que o realismo tradicional seja substituído por uma explicação que permita uma relação global entre modelos e o mundo, a qual possa suportar os sucessos preditivos das teorias, mas que não se baseie sobre a bem sucedida referência dos termos teóricos às entidades individuais, ou a verdade de sentenças envolvendo elas. Essencialmente, isso é abandonar a afirmação de que teorias fundamentalmente nos contam sobre *objetos* dos quais o mundo é feito e como eles se comportam, e substituir isso com a afirmação de que as teorias nos contam sobre relações"(*ibid.*, p. 19, itálico original).

Outra motivação para o desenvolvimento de uma versão ontológica do realismo estrutural, por parte de Ladyman, é declaradamente as questões filosóficas da física moderna. Segundo ele, embora o problema do realismo na filosofia da mecânica quântica seja usualmente discutido independentemente do assunto geral do realismo − devido à existência de importantes diferenças entre o que está em jogo nos dois debates −, eles possuem pelo menos um ponto em comum, a saber, a dificuldade de manter uma ontologia tradicional de objetos e suas propriedades. De um lado, a questão da mudança de teorias (descon-

[70]Não abordaremos essa questão nesta dissertação.

[71]Ladyman acredita que uma filosofia da matemática é um requisito necessário para a abordagem semântica em geral, e a explicação do realismo estrutural em particular (*ibid.*, nota 18). Mais tarde, French e Ladyman afirmarão que a fronteira entre a matemática e a física, no contexto do realismo estrutural ontológico, pode torna-se nebulosa (*blurred*) (*ibid.*).

tinuidade ontológica) no realismo científico tradicional; do outro, o teorema de Bell e a superposição (*entanglement*) quântica no realismo da mecânica quântica (*ibid.*). Segundo Ladyman, a contraparte do debate do realismo na filosofia da mecânica quântica, com respeito à teoria da relatividade geral, é o debate sobre o substancialismo. Ladyman aponta as então recentes sugestões de Robert Disalle de que a *estrutura* do espaço-tempo deva ser aceita *sem* apoio (*supervenience*) sobre a realidade dos pontos do espaço-tempo.[72]

Mais recentemente, French e Ladyman apontaram como principal motivação para o desenvolvimento do realismo estrutural ontológico, o problema filosófico da subdeterminação da metafísica pela física moderna, em termos de individualidade/não-individualidade. Segundo os autores, essa questão lança um obstáculo fatal ao realismo científico tradicional.[73] Se as teorias físicas representam o mundo tal como ele é, segundo afirmam os realistas, e se a física é compatível com ambos os pacotes metafísicos de indivíduos/não-indivíduos, então qual é a metafísica do mundo, a de indivíduos ou a de não-indivíduos? Esta questão colocaria em xeque o realista padrão[74] , van Fraassen, vendo esse desafio ao realista (e um certo 'desdém' desse para com ele), expressou sua conclusão com um 'adeus metafísica', deixando o campo livre para o empirismo construtivo (*ibid.*).[75]

O problema da subdeterminação repousa na noção ('clássica') de objeto. Para French e Ladyman, a única maneira de solucionarmos a questão, seria adotarmos o realismo estrutural ontológico.[76] Entendendo os objetos *estruturalmente*, podemos dizer que os pacotes metafísicos de individualidade e de não-individualidade são apenas diferentes representações (metafísicas) – modelos diferentes – da mesma estrutura. E uma maneira de entender essa estrutura em termos matemáticos, afirmam os autores, seria através da

[72]Não abordaremos essa questão nesta dissertação. Indicamos, para uma primeira leitura e para referências adequadas, Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*; Stachel 2002, 2004, 2005.

[73]A questão da subdeterminação será investigada mais a fundo no capítulo 4.

[74]Para uma crítica a essa afirmação, ver Chakravartty 1998; para uma réplica, ver French e Ladyman *op. cit.*, nota 14.

[75]'*Goodbye to metaphysics*' é o título da última seção do livro de van Fraassen sobre mecânica quântica.

[76]French e Ladyman lembram que Arthur Eddington também teria tomado as implicações da mecânica quântica para a individualidade das partículas como motivação para o seu estruturalismo. Segundo Eddington, a mecânica quântica implica que as partículas 'últimas' (fundamentais) são "unidades estruturais idênticas"; e "[...] toda variedade tem origem na estrutura, e não nos elementos externos à sua construção"(Eddington 1939, p. 135, citado por French e Ladyman *op. cit.*, p. 51, nota 16). As partículas seriam então 'um produto da análise da estrutura de grupo', e não seriam essenciais para a existência da estrutura. Em uma frase que, segundo os autores, se assemelha ao que eles estão querendo sustentar, Eddington afirma: "[d]o nosso ponto de vista, a relação vem primeiro"(*ibid.*, p. 166, citado por *ibid.*).

teoria de grupos, fundamental no formalismo da mecânica quântica.[77] Vejamos como isso pode ser entendido.

O realismo estrutural tradicional, em sua versão epistemológica, sustenta uma distinção entre 'ontologia', 'natureza' ou 'conteúdo' e 'estrutura' (ver Worrall *op. cit.*, por exemplo). Segundo French e Ladyman, o realismo estrutural ontológico não permite tal dicotomia, já que ele sustenta uma 'reconceitualização' da ontologia, no nível mais básico, que oferece uma mudança de objetos para estruturas. Essa 'reconceitualização' seria motivada pelo entendimento desses 'objetos' como indivíduos de alguma espécie. Como já tivemos a oportunidade de ver, esse entendimento culmina na subdeterminação metafísica em termos de individualidade/não-individualidade, o que traria grandes problemas ao realista. Se reconhecermos tal subdeterminação[78], então uma forma adequada de realismo para a física precisa ser construída sobre uma base ontológica alternativa, a qual substitua a noção tradicional de um objeto em termos de indivíduo/não-indivíduo por uma noção estrutural de objeto, em algum sentido (*ibid.*).

A questão seria, então, se essa 'reconceitualização' não violaria um dos requisitos básicos do realismo, a saber, o de um mundo independente da mente. Isto é, a *objetividade* pode ainda ser mantida sem os *objetos* (entendidos individualmente)? Essa é uma preocupação que os autores remontam a Cassirer[79], quem escreve: "não estamos muito preocupados com a existência das coisas, mas sim com a validade objetiva das relações; e todo o nosso conhecimento dos átomos pode ser reconduzido, e dependente, dessa validade"(Cassirer 1936, p. 143, citado por *op. cit.*, p. 38). Para Cassirer, na mecânica clássica, a objetividade repousa na persistência espaço-temporal de objetos individuais.[80] Isso formaria a base da 'visão de mundo' da física clássica (de partículas), onde teríamos objetos individuais possuindo propriedades temporais e trajetórias espaço-temporais bem definidas, e seria essa 'visão de mundo' que a mecânica quântica derrocaria (pelo menos na versão ortodoxa). No entanto, segundo French e Ladyman, não podemos dizer que as

[77]Como motivação, os autores citam a seguinte passagem de Eddington: "[q]ue tipo de coisa conheço? A resposta é estrutura. Para ser bastante preciso, é aquele tipo de estrutura definido e investigado na teoria matemática de grupos"(*ibid.*, p. 147, itálico de Eddington, citado por *op. cit.*, p. 50, nota 12).

[78]Para uma defesa da tese da subdeterminação da metafísica pela física, ver French e Krause 2006, cap. 4.

[79]French e Ladyman declaradamente se inspiraram bastante nas filosofias de Cassirer e Eddington para o desenvolvimento de sua forma ontológica do realismo estrutural.

[80]Cf. *ibid.* Ver também French e Krause *op. cit.*

partículas possuem, o tempo todo, propriedades definidas, não ambíguas − mesmo além das interações de mensuração −, ou que elas sempre viajam com trajetórias bem definidas (*ibid.*, ver também French e Krause *op. cit.*).

Assim, Cassirer é levado a perguntar: "[...] o que são esses elétrons cuja trajetória não podemos seguir? Existe algum sentido em atribuir a eles uma definida, e estritamente determinada existência à qual, entretanto, nos é apenas parcialmente acessível?"(*ibid.*, p. 178, citado por *ibid.* p. 39). E é respondendo a essa questão que Cassirer lança, segundo os autores, uma exigência fundamental do realismo estrutural ontológico: as 'condições de acessibilidade' como 'condições dos objetos da experiência', em suas palavras, "[...] não mais existirá um objeto empírico que em princípio possa ser designado como totalmente inacessível; e pode existir classes desses objetos que teremos que excluir do domínio da existência empírica porque é mostrado que com os meios de conhecimento empíricos e teóricos a nossa disposição, elas não são acessíveis ou determináveis"(*ibid.*, p. 179, citado por *ibid.*). Então, o que são os elétrons? Segundo Cassirer, nada como objetos individuais. Nos referimos a eles como objetos somente porque nos falta o aparato lógico-lingüístico adequado para fazermos de outra maneira.[81] Deste modo, French e Ladyman concluem: não existem objetos epistemologicamente inacessíveis além das estruturas que podemos conhecer (*ibid.*).

Uma propriedade intrínseca como 'carga', por exemplo, é descrita de acordo com as leis relevantes da física. O que Cassirer afirmaria, então, é que teríamos uma inversão da relação clássica entre os conceitos de objeto e lei. Ao invés de começarmos com uma 'entidade absolutamente definida' que possui certas propriedades, e que entra em relações bem definidas com outras entidades, onde essas relações são expressas como leis da natureza, começaremos agora com as leis que expressam as relações em termos das quais as 'entidades' são constituídas. Ou seja, do ponto de vista estruturalista, a entidade não constituiria um ponto de partida auto-evidente, mas o objetivo final e a conclusão das considerações. Assim sendo, *a objetividade é determinada através da lei*, que é anterior a ela, e os limites da lei são os limites do nosso conhecimento objetivo (*ibid.*). É garantido,

[81] Ver French e Krause *op. cit.*. Ladyman, em seu artigo de 1998, cita a seguinte passagem de Ernan McMullin: "O que são elétrons? Apenas o que a teoria dos elétrons diz que eles são, nem mais, nem menos, sempre tendo em conta a probabilidade de que a teoria está aberta para maiores refinamentos"(McMullin 1982, citado por Ladyman *op. cit.* p. 5).

então, desse modo, o requisito básico do realista, o de um mundo independente da mente.

Voltando à questão da subdeterminação, de que modo ela é acomodada na matemática clássica (que supostamente trata de indivíduos)? Segundo French e Ladyman, nós vemos, por exemplo, *flashes* de luz brilhante (*flashes* individuais) em uma tela cintilante, e esse fato parece suportar uma metafísica de individualidade para os objetos quânticos. Sobre a base desse fenômeno observável tentamos, então, transportar nossa metafísica de individualidade, que é apropriada ao domínio clássico. Todavia, o modo pelo qual as permutações são tratadas na mecânica quântica é totalmente diferente do da física clássica, e isso faria surgir novamente a subdeterminação.[82] Deste modo, temos um 'pacote' metafísico de objetos individuais ao qual a matemática e a física da teoria quântica são aplicadas, e essas, por sua vez, questionam o próprio 'pacote' metafísico do qual partimos. Desta perspectiva, dizem os autores, os objetos teriam apenas uma função *heurística*[83], nos permitindo aplicar a matemática clássica, e então, nos conduzindo às estruturas teóricas de grupos, digamos. Uma vez feito isso, os objetos poderiam ser dispensados (*ibid.*).

Para finalizarmos, levantamos aqui uma questão que tem sido colocada contra o realismo estrutural ontológico, e que é crucial para o desenvolvimento desse. Como as estruturas podem ser anteriores, em algum sentido, aos objetos, se elas – entendidas como um sistema de relações – tradicionalmente necessitam desses objetos, os *relata*, para serem definidas? As relações relacionariam o quê? Como uma estrutura pode ser relacional *em si mesma*? Em que teoria (matemática) essa estrutura deve ser definida? Estas, entretanto, são questões a serem discutidas na subseção seguinte.

2.3.4 Algumas críticas ao realismo estrutural ontológico

O realismo estrutural ontológico, como vimos acima, surge como uma alternativa à suposta inadequação do realismo estrutural epistemológico. No entanto, a versão ontológica tampouco está a salvo de críticas, algumas menos, outras mais substantivas. Algumas

[82]Lembramos, novamente, que voltaremos a essas questões no capítulo 3 e 4. Os detalhes podem ser vistos em French e Krause *op. cit.*

[83]Não discutiremos, nessa dissertação, essa suposta função heurística dos objetos.

delas aplicam-se ao realismo estrutural em geral.[84] Estenderíamos em demasia esta dissertação se fôssemos tratar com detalhes todas essas críticas. Todavia, no que segue, escolhemos algumas que acreditamos serem mais substantivas, e que atingiriam a versão ontológica do realismo estrutural especificamente. Mesmo a essas selecionadas críticas, não daremos um tratamento detalhado, nos limitando apenas à apresentação da problemática. Voltaremos a discuti-las no final da dissertação.

- **Meta-indução pessimista, novamente**

Como visto, o argumento da meta-indução pessimista é utilizado pelos anti-realistas para atacarem seus 'rivais' realistas. Trata-se de um argumento voltado para a história da ciência, e que tem como base a questão da descontinuidade ontológica – no nível inobservável – através das mudanças de teorias. Essa ontologia é tradicionalmente entendida em termos de 'objetos' (individuais). O realismo estrutural ontológico, como declaramos anteriormente, sugere uma 'reconceitualização' dessa ontologia, no nível mais básico, oferecendo uma mudança de 'objetos' (individuais) para estruturas.

Um dos objetivos do realismo estrutural, tal como Worrall sugere, é o de contornar o problema da meta-indução pessimista. Segundo ele, na mudança da mecânica clássica de Newton para a relativística de Einstein "[...] existiu 'continuidade aproximada' da *estrutura* [...]"(Worrall 1989, p. 121, itálico original). Worrall continua, no parágrafo seguinte, dizendo que "[m]uito trabalho classificatório precisa ser feito sobre essa posição, especialmente no que diz respeito à noção da estrutura de uma teoria se aproximar de outra"(*ibid.*). Bueno sugere, então, a seguinte questão a French e Ladyman[85]: se considerarmos apenas a correspondência aproximada (da estrutura), então isso pode fatalmente enfraquecer o realismo estrutural, já que aparentemente ela permite que possa haver 'perdas estruturais'. Assim, uma forma da meta-indução pessimista pode ser restabelecida, ou seja, haveria também 'descontinuidade estrutural' através das mudanças de teorias.[86] Embora o realismo estrutural de Worrall seja epistemológico, isto é, ele afirma que existe

[84]Para críticas ao realismo estrutural em geral, ver Votsis 2004, *cap.* 3 e 4; para algumas críticas ao realismo estrutural ontológico, ver, por exemplo, Psillos 2001, 2004 e Cao 2003, 2003a, 2003b, 2003c.

[85]Discussão privada.

[86]O problema teria sido primeiramente levantado por Redhead (2001), como vimos acima na subseção 2.2.1.

uma 'natureza' além da estrutura, a crítica acima se aplica obviamente à versão ontológica também.

A resposta de French e Ladyman é a de que, de fato, nem todas as estruturas são transmitidas através das mudanças, mas apenas aquelas que são genuinamente *explanatórias* (*ibid.*). Os autores sugerem que a abordagem das 'estruturas parciais' pode contribuir para a clarificação desse ponto, indicando como essas relações intrateóricas podem ser representadas por isomorfismos parciais entre as estruturas das teorias consideradas, capturando precisamente o elemento de continuidade através da mudança de teorias, e particularmente oferecer a possibilidade de acomodar exemplos dessas continuidades descritas como aproximadas ou parciais (*ibid.*; Bueno, French e Ladyman 2002; da Costa e French *op. cit.*).

• **Ontologia *vs.* descrição da ontologia**

Bueno também levantou a seguinte questão a French e Ladyman[87]: qual a natureza do *entendimento* dessas estruturas em si mesmas? Se ele é estrutural em si mesmo, então aparentemente caímos em uma regressão; mas se ele não é estrutural, então aparentemente questionamos o completo estruturalismo defendido pelos autores (no sentido de negar 'algo além' da estrutura). Segundo French e Ladyman, uma possível resposta está na distinção entre a ontologia e a *descrição* dessa ontologia. Assim, a mais apropriada 'imagem' ontológica do mundo, considerando-se a física moderna, seria aquela do mundo como estrutura. Essa ontologia poderia então ser *descrita*, matematicamente, no nível da própria física, usando a teoria de grupos, e semanticamente, no nível da filosofia da física, em termos das 'estruturas parciais'. Ambos esses modelos de representação − teoria de grupos e teoria de conjuntos − pressupõem objetos distinguíveis, o que é exatamente o que a física moderna parece questionar (French e Krause *op. cit.*). Para os autores, se quisermos levar a proposta do realismo estrutural ontológico a sério, deveríamos refletir seriamente sobre alternativas estruturais a essas teorias − teoria de grupos e teoria de conjuntos.

Se o que estamos sugerindo, prosseguem French e Ladyman, é uma teoria de conjuntos

[87]Discussão privada.

sem conjuntos (de objetos individuais), mesmo assim ainda teríamos que falar sobre as estruturas envolvidas, isso significaria colocarmos condições de identidade para elas, por exemplo. Se essas condições podem ser expressas somente em termos não-estruturais, isso refletiria apenas as nossas limitações descritivas da ontologia, e não questionaria a própria ontologia. Por outro lado, se pudermos oferecer um entendimento estrutural da estrutura, então o regresso é daquele tipo que aflige qualquer *descrição* filosófica, e não um regresso no nível ontológico (*ibid.*).

Voltemos à questão acima levantada por French e Ladyman, qual seja, a de que a indistinguibilidade de objetos na física moderna sugeriria que uma teoria de conjuntos usual, tal como Zermelo-Fraenkel (ZF), por exemplo, não seria a mais adequada – pelo menos filosoficamente – para fundamentar o formalismo dessa teoria (French e Krause *op. cit.*). O realismo estrutural ontológico, aparentemente, tem como conseqüência a mesma sugestão. Ou seja, aparentemente não seria possível fundamentarmos essa teoria em uma teoria de conjuntos usual, sem modificações, e isso por razões formais fundamentais que veremos a seguir.

• **Relações sem os *relata*?**

No que segue, veremos, de forma breve, uma das principais objeções ao realismo estrutural ontológico. Sem uma resposta adequada a essa objeção, certamente o realista estrutural fica impossibilitado de dar continuidade ao seu projeto. A objeção teria sido proposta inicialmente a French e Ladyman por Redhead[88], e desde então vem sendo discutida por outros autores (por exemplo, Krause 2005). O cerne da questão é sucintamente o seguinte: como é possível, formalmente (matematicamente), termos relações sem as coisas que estão sendo relacionadas, os chamados '*relata*'?[89]

Um dos primeiros passos para uma defesa séria do realismo estrutural seria dar uma definição adequada de estrutura. Ora, tal definição – dado os propósitos do realismo estrutural – deveria ser, pelo menos a princípio, de caráter matemático e, segundo os

[88] Discussão privada.

[89] Lembramos que é exatamente isso o que os defensores do realismo estrutural ontológico desejam, uma vez que sustentam que não há objetos (individuais), apenas relações; ou que as relações 'vêm antes' dos objetos (Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*; French e Saatsi *op. cit.*).

defensores da versão ontológica dessa teoria, conseqüentemente conjuntista. Em uma teoria de conjuntos usual, digamos ZF[90], que é a adotada por French e Ladyman, para podermos definir relações entre conjuntos (de objetos), precisamos ter, antes de tudo, os próprios conjuntos! Não é possível, pelo menos em ZF, ter relações *sem* os relacionados (*relata*), como desejam esses autores. Como vimos acima, French e Ladyman 'adotam' a abordagem conjuntista (semântica) porque estão interessados, entre outras coisas, nos conceitos de 'estrutura parcial' e 'quase-verdade', que são baseados nessa abordagem (ver da Costa e French *op. cit.*, cap. 1 e 2). Entretanto, outras abordagens, como a categorial, poderiam também ser utilizadas para fundamentar o realismo estrutural.[91]

Como exemplo, admitamos uma relação binária r entre os conjuntos A e B, ou seja, $r \subseteq \mathcal{P}(A \times B)$, onde os elementos da relação são pares ordenados $\langle a, b \rangle$, com $a \in A$ e $b \in B$. Então, para obtermos r, precisamos construir a escala A, B, $A \times B$, $\mathcal{P}(A \times B)$ e selecionar um adequado elemento que nos interesse (por exemplo, satisfazendo certos axiomas). Portanto, não se pode, em ZF, ter r sem A e B e seus elementos (Krause *op. cit.*). Remetemos o leitor à bela epígrafe no início da seção. Aparentemente, não poderíamos ter 'um sorriso sem gato'![92]

French e Ladyman admitem que uma teoria de conjuntos usual, sem modificações, não permite fundamentar a tese defendida por eles, e concluem, ironicamente, relegando a solução dessa questão a 'habilidosos filósofos' (*ibid.*, p. 13, nota 21). A discussão de possíveis alternativas a essa objeção será postergada para o capítulo 4, já que será necessário o uso de certo 'aparato formal', apresentado no capítulo 3.

[90]Uma discussão detalhada pressuporia a própria teoria de conjuntos Zermelo-Fraenkel, portanto limitamo-nos apenas a uma descrição intuitiva.

[91]Não investigaremos essa possibilidade aqui. Sobre o uso da abordagem categorial em filosofia da ciência, ver, por exemplo, Landry 1999, 2004.

[92]Psillos, em artigo contra o realismo estrutural ontológico, recorre a essa metáfora para ilustrar sua crítica, ver Psillos 2004. Todavia, de certa forma, negaremos isso no capítulo 4.

Parte II

Contraparte formal e novas perspectivas

Capítulo 3

A natureza da estrutura

As três maneiras mais usuais de se definir *estrutura matemática*, segundo da Costa e French, são as seguintes: (1) usando uma teoria de conjuntos, no estilo de Bourbaki; (2) através da lógica de ordem superior (ou teorias de tipos); (3) através da teoria de categorias. Quanto à primeira, o conceito usual de espécie de estruturas em geral e de estrutura em particular é essencialmente aquele de Bourbaki (1968, cap. 4). Essa noção de estrutura é, segundo os autores, aquela utilizada por Beth e Suppes, por exemplo, em sua defesa da abordagem semântica. Nesta visão, um modelo é uma estrutura que satisfaz certas sentenças de uma linguagem conveniente. Essas caracterizações podem ser consideradas como expressando os conceitos padrões de estrutura (matemática) e modelo (da Costa e French *op. cit.*, cap. 3). Na segunda opção, ao invés da teoria de conjuntos, usamos a lógica de ordem superior para definirmos estrutura. Essa é basicamente, de acordo com da Costa e French, a abordagem adotada por Rudolf Carnap, e pode-se mostrar que ela é essencialmente equivalente à definição de Bourbaki. A grande diferença, todavia, é que podemos interpretar os elementos básicos de uma estrutura como *predicados* e não como *conjuntos*. Desse modo, não só podemos definir estruturas *extensionais*, mas também *intensionais* (*ibid.*). No que diz respeito à terceira maneira de se definir estrutura, já tinha sido observado por Bourbaki que muitas propriedades das estruturas dependem não apenas de uma estrutura particular, mas de uma *coleção* de estruturas, compondo objetos matemáticos conhecidos como *categorias*. Charles Ehresmann, membro do grupo Bourbaki, teve então, segundo da Costa e French, a feliz idéia de generalizar essa situação e definir espécies de estruturas como um *funtor* agindo sobre categorias apropriadas. Esse conceito categorial ou funtorial de espécies de estruturas pode ser visto como estendendo a definição conjuntista (*set-theoretical*) o que, talvez, com futuros desenvolvimentos, nos leve a preferir essa àquela.[1]

Neste capítulo, devido ao fato de utilizarmos os conceitos aqui apresentados para uma 'defesa' do realismo estrutural ontológico que, como já vimos, apóia-se na abordagem semântica, adotaremos a definição de estrutura de acordo com a primeira opção.[2] No entanto, pelos motivos apresentados abaixo, o faremos não em uma teoria de conjuntos usual, mas na teoria de quase-conjuntos. Assim, faremos uma breve exposição do principais conceitos dessa teoria para, em seguida, definirmos *estrutura matemática*. Tendo feito isso, estenderemos essa noção às *estruturas parciais* e, em seguida, definiremos *quase-verdade*, conceitos fundamentais para nossa 'reformulação' do realismo estrutural ontológico, a ser realizada no próximo capítulo.

3.1 A teoria de quase-conjuntos

A teoria de quase-conjuntos, assim como várias outras idéias do programa de pesquisas de da Costa, foi primeiramente sugerida em seu livro *Ensaio sobre os Fundamentos da Lógica* (da Costa 1980, pp. 117-119). Entretanto, foi a partir do início da década de 1990 que Décio Krause começou a fornecer base formal para tal idéia[3] e, desde então, tal teoria tem encontrado várias aplicações em diversos assuntos, principalmente ligados aos fundamentos da física quântica (Krause Sant' Anna e Volkov 1999; Krause 2003; French e Krause 2006). No que segue, veremos os principais traços dessa teoria.[4]

3.1.1 Motivação: a indistinguibilidade de partículas elementares

Logo após o 'surgimento' da mecânica quântica, alguns eminentes físicos com inclinações filosóficas, entre eles Erwin Schrödinger, ganhador do prêmio Nobel, notaram

[1]Intuitivamente, uma categoria é dada por uma coleção de objetos (que seriam as estruturas matemáticas) e uma coleção de funções (morfismos) entre esses objetos, satisfazendo certos axiomas. Os funtores são certos morfismos entre categorias (cf. Krause 2002, p. 25, nota 70).

[2]Entretanto, à primeira vista, não descartamos a possibilidade de serem utilizadas definições diferentes para uma mesma 'defesa' do realismo estrutural ontológico – por exemplo, poderíamos utilizar a abordagem categorial –, todavia, aqui, preferimos a conjuntista.

[3]Ver, por exemplo, Krause 1992.

[4]Tratar-se-á, todavia, de uma exposição *intuitiva*, sem os devidos detalhes formais; esses poderão ser encontrados nas referências indicadas.

uma surpreendente conseqüência filosófica dessa teoria. Segundo Schrödinger, por exemplo, na física quântica − no que diz respeito à partículas elementares −, o conceito de identidade não se aplica (Schrödinger 1952, pp. 17-18, 2000, pp. 60-66).

Usaremos aqui o termo 'indistinguível' como *não* sendo sinônimo de 'idêntico'. Apesar da maioria dos físicos usarem o termo 'idênticas' para se referirem a essas partículas, usaremos o primeiro termo − indistinguíveis − para nos referir a elas, isso porque na matemática (clássica) − e também, em geral, na filosofia −, 'idêntico' implica a não diversidade numérica. Ou seja, se $x = y = z = w \ldots$, então *'x'*, *'y'*, *'z'*, *'w'* etc. representam a *mesma* entidade; diz-se então que eles são apenas *nomes*, *denotações*, *símbolos* etc., do *mesmo* objeto (utilizamos aqui o símbolo de igualdade '=' para representar a identidade).[5] Por outro lado, isso certamente não é o que ocorre com as partículas elementares. Se, digamos, o átomo de hélio possui dois elétrons 'orbitando' ao redor do núcleo, e se 'chamarmos', 'identificarmos'[6], esses elétrons de x e y, por exemplo, obviamente o físico não quer dizer com '$x = y$' que eles são o *mesmo* objeto.

Na verdade, tanto as partículas clássicas quanto as quânticas (da mesma espécie ou tipo) são *indistinguíveis*, no sentido de partilharem o mesmo conjunto de propriedades intrínsecas, independentes de estado, como carga, massa, *spin* etc.. Todavia, há uma diferença fundamental no comportamento dessas coleções de partículas, o que é caracterizado pelas estatísticas clássica e quânticas respectivamente. *Grosso modo*, na mecânica clássica, as estatísticas de Maxwell-Boltzmann contam como *distinto* do original o arranjo obtido após a permutação de partículas entre estados, o que não acontece nas estatísticas quânticas de Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Portanto, vem sendo argumentado que as partículas clássicas são 'indivíduos' de alguma espécie (*kind*). Obviamente, entra em questão o que de fato são esses objetos da física clássica. Trata-se, é claro, de questão complexa, e não a exploraremos no momento.[7] Todavia, como argumenta Krause, esses objetos são, de fato, tratados como *indivíduos* de certa espécie, aos quais

[5]Portanto, a diferença nos nomes 'x' e 'y', por exemplo, reflete uma diferença *epistemológica*, e não *ontológica*; assim, podemos eliminar a diferença dos nomes e ficar com '$x = x$', a identidade então se reduz a auto-identidade. Isso é o que pareceu pensar David Lewis quando este afirmou que a identidade é "completamente simples e não problemática"(Lewis 1986, pp. 192-193, citado por French e Krause 2006, cap. 1).

[6]Como veremos a seguir, este será justamente o problema: aparentemente, não podemos 'chamá-los', 'identifica-los' de um modo não-ambíguo.

[7]Voltaremos a essa questão no próximo capítulo.

podemos atribuir propriedades, atributos, nomes, bem como equacionar suas trajetórias (Krause 1999, French e Krause *op. cit.*). Um indivíduo seria, então, algo que pode ser considerado como uma 'unidade individual', tendo alguma característica só sua, ou seja, um 'algo' que o individualizaria (*ibid.*). Já que, no sentido referido acima, tais partículas são indistinguíveis, sua individualidade deveria ser descrita por algo que 'transcenda' suas propriedades (Krause *et al.*, *op. cit.*; Krause *op. cit.*; French e Krause *op. cit.*).[8]

Por outro lado, nas estatísticas quânticas, o chamado Postulado da Indistinguibilidade assegura que 'se uma permutação é aplicada a uma coleção de partículas em qualquer estado, então *não existe maneira de distinguir* a função resultante do estado original por meio de qualquer observação, em qualquer tempo'. O Postulado da Indistinguibilidade (PI) é um dos princípios mais básicos da teoria quântica, e implica que permutações de partículas quânticas não são consideradas como observáveis (*ibid.*). Este postulado é geralmente interpretado de duas maneiras. A primeira afirma que PI implica que partículas quânticas não podem ser observadas como 'indivíduos', já que um 'indivíduo' deveria ser algo que tivesse propriedades semelhantes àquelas dos corpos (macroscópicos) usuais. Essa interpretação aparentemente estaria de acordo com o que é assumido na teoria quântica de campo, pois, *grosso modo*, as teorias quânticas de campos não lidam com 'indivíduos'.[9] A segunda maneira é considerar as partículas quânticas como indivíduos em algum sentido, e a contagem não clássica das estatísticas quânticas seria então entendida como resultando de restrições impostas ao conjunto de possíveis estados acessíveis às partículas. Ou seja, resumindo, apenas estados simétricos e anti-simétricos estariam disponíveis, e a individualidade inicialmente associada às partículas seria então 'vedada' por tal critério. Todavia, ambas as alternativas, embora usadas na literatura corrente, apresentam problemas do ponto de vista 'fundacionista' (*ibid.*).

Como vimos brevemente, a questão da individualidade de partículas elementares na

[8]O problema seria, então, identificar esse 'algo'. Algumas alternativas apontadas na literatura sobre o assunto seriam '*primitive thisness*' (da qual a auto-identidade seria um candidato), '*haecceity*', 'unidade fundamental', localização espaço-temporal (Post 1963) ou *substratum*, do qual John Locke expressou-se em termos de "um não sei o que"(French e Krause *op. cit.*). No caso da física clássica, a 'propriedade' espaço-temporal assume implicitamente algum *princípio de impenetrabilidade*, isto é, 'objetos clássicos' seriam impenetráveis, *grosso modo*, no sentido de não poderem ocupar o mesmo lugar no espaço no mesmo instante de tempo. Partículas quânticas violariam esse princípio quando entram nos chamados *estados de superposição*.

[9]Para referências, ver Krause *et al. op. cit.*.

física quântica é um tanto obscura, pelo menos do ponto de vista filosófico. Assim, foi sugerido que essas partículas seriam 'não-indivíduos'. No entanto, o caminho mais adotado é o de considerar um pacote metafísico alternativo, a saber, que os objetos quânticos são indivíduos de alguma espécie, mas totalmente diferentes dos objetos descritos pela mecânica clássica.[10] Segundo Krause *et al.*, nos estudos fundacionistas sobre a teoria quântica, é mais usual considerar questões de *interpretação* do formalismo ao invés de analisar a possibilidade de mudança do aparato lógico-matemático (ver também Krause *op. cit.*).

A teoria de quase-conjuntos é uma proposta que segue a segunda abordagem. Usando a teoria de quase-conjuntos, não estamos comprometidos com a suposição de que partículas quânticas são, pelo menos em princípio, objetos individualizáveis, cuja indistinguibilidade é relacionada somente *a posteriori*, escolhendo vetores simétricos (e anti-simétricos) ou, de maneira alternativa, as soluções simétricas (e anti-simétricas) da equação de Schrödinger. Por outro lado, observamos que, usando a matemática clássica − erigida, digamos, na teoria de conjuntos ZF (Zermelo-Fraenkel) − para fundamentar a teoria quântica, estamos necessariamente comprometidos com *indivíduos* de alguma espécie (*ibid.*; French e Krause *op. cit.*). Isso seria assim porque, *grosso modo*, cada entidade é, no fim das contas, um conjunto, e um conjunto seria, segundo Cantor, "[...] qualquer coleção, reunida numa totalidade M, de objetos m definidos e *distintos* (os quais são chamados de 'elementos' de M) de nossa intuição ou pensamento"(Cantor 1955, p. 85, citado por Krause *op. cit.*, p. 165; a ênfase é minha). Mesmo se a teoria de conjuntos incorpora átomos (*Urelemente*), como parece adequado nas ciências empíricas, esses átomos são igualmente individualizáveis, uma vez que, dado qualquer átomo a, sempre se pode obter dos axiomas da teoria o seu conjunto unitário $\{a\}$, de forma que $b \in \{a\}$ se, e somente se, $b = a$. A existência dos unitários de cada átomo mostra que, não obstante eles possam ser invariantes por automorfismos (Krause e Coelho 2005), são *indivíduos*. Diferentemente da maneira usual − e seguindo de perto a proposta de Heinz Post (1963) de que a 'não-individualidade' dos objetos quânticos deveria ser considerada '*right from the start*' −, na teoria de quase-conjuntos, a ordem de consideração das entidades quânticas é invertida; a indistinguibilidade entre certos objetos quânticos é assumida como um *conceito primitivo*,

[10] Para detalhes, ver French e Krause *op. cit.*

e a indistinguibilidade não implicará identidade, como veremos na subseção seguinte.

Dissemos acima que partículas elementares da mesma espécie são indistinguíveis, no sentido de partilharem todas as suas propriedades *intrínsecas*. Outra questão a ser considerada, portanto, é a da natureza das 'propriedades' a serem consideradas como *propriedades lícitas* dos objetos quânticos. A questão é sutil e está relacionada com o conceito de indistinguibilidade tal qual apresentado acima. Ou seja, se partículas indistinguíveis são aquelas que possuem o mesmo conjunto de propriedades (de alguma espécie), então parece razoável clamarmos por uma clarificação de tais propriedades.[11] Tem sido mencionado por alguns autores que é necessário restringir a coleção de propriedades para certos casos particulares (*ibid.*). Qualquer que seja a definição adotada, entretanto, parece que há apenas razões *ad hoc* nas tentativas de rejeitar alguns atributos possíveis de uma coisa como *propriedades legítimas* dela, e o mesmo acontece se essa 'coisa' for uma partícula elementar. Em poucas palavras[12], podemos entender melhor esse ponto da seguinte maneira. Quando consideramos o chamado Princípio de Identidade dos Indiscerníveis (PII), que remonta pelo menos a Leibniz,[13] e que pode ser formulado em uma linguagem de segunda ordem com igualdade como: $\forall P(P(x) \leftrightarrow P(y)) \rightarrow x = y$, onde P é uma variável para predicados e x e y são variáveis individuais $-$ P pode ser interpretado como uma propriedade que percorre o conjunto de atributos de x e y $-$, devemos entender o quantificador universal '$\forall$' como a lógica clássica o faz (pressupondo a validade da lógica clássica por hipótese). Isto é, 'qualquer que seja' significa *para todo*, e não para alguns.[14] Apesar disso parecer trivial, sem esta observação não poderíamos justificar as restrições do escopo de P às propriedades monádicas apenas, ou às propriedades relacionais, ou àquelas espaço-temporais. Assim, em todos esses casos, podemos dizer que PII não foi assumido por completo, já que o escopo de P foi restringido. Portanto, o fato de existirem várias formas de PII sustentaria o argumento de que não existem razões para supormos

[11] Implicitamente, estamos adotando uma teoria que identifica um objeto com a coleção ou 'pacote' de suas propriedades, geralmente chamadas de *bundle theories*. Voltaremos às '*bundle theories*' no próximo capítulo.

[12] Lembramos, mais uma vez, que apresentamos aqui apenas um breve *esboço* da problemática, uma descrição completa pode ser vista em French e Krause *op. cit.*

[13] Versões desse princípio podem ser encontradas em *A Monadologia*, *Discurso de Metafísica* e em outros de seus escritos.

[14] Assim, é imperativo que se considere o domínio desse quantificador, ou seja, que se especifique o que são as propriedades dos objetos x, y, etc.

que algumas espécies de atributos, propriedades relacionais, por exemplo, não são 'lícitas' (*ibid.*).

Intuitivamente, cada fórmula de uma linguagem adequada com apenas uma variável livre pode ser tida como uma 'propriedade'. Assim, segundo Krause *et al.*, mesmo a propriedade 'problemática' da auto-identidade I_a de um objeto a, definida por $I_a(x) \leftrightarrow x = a$, deve contar como lícita. O problema repousaria no fato de que, se I_a é incluído na classe dos atributos de a, então de cada objeto b que partilhe todas as suas propriedades com a (isto é, cada objeto indistinguível de a) segue que $I_a(b)$ e, portanto, ele é idêntico a a. O problema é, então, o seguinte: se x e y – da nossa fórmula acima – são as tais 'partículas elementares indistinguíveis', e tendo em consideração o que dissemos acima, PII é *falso*; todavia, se uma propriedade como I_a é incluída aos atributos de a, então segue que PII *não* é falso, na verdade, pode ser provado que ele é um *teorema* da lógica clássica de segunda ordem. Uma saída para esse impasse – se assumirmos a indistinguibilidade dos objetos quânticos e quisermos negar alguma forma do PII – seria *restringirmos* as 'propriedades' ou 'atributos' de uma entidade (Krause *op. cit.*).[15]

Na teoria de quase-conjuntos que apresentaremos resumidamente abaixo, não é necessário fazer tais restrições, que seriam *ad hoc*, sobre o conjunto de propriedades possíveis de uma partícula elementar, pois nessa teoria a falta de identidade de alguns objetos quânticos permitiria, do ponto de vista sintático, que fosse considerada como lícita mesmo uma propriedade como $I_a(x)$. No entanto, ela não poderá ser adequadamente atribuída a a, já que o conceito de identidade (representado pelo símbolo de igualdade) não terá sentido para objetos desse tipo (*ibid.*). A teoria de quase-conjuntos encerra, então, uma formalização das idéias presentes nos trabalhos de Schrödinger, por exemplo, sobre a falta de identidade das partículas quânticas, e figura como uma proposta de tratar a questão, como sugeriu Post, '*right from the start*', e não com 'truques' introduzidos *ad hoc*.

3.1.2 Alguns axiomas da teoria $\mathcal{Q}$

No que segue, acompanharemos basicamente as exposições feitas em (Krause 1992; Krause *et al.* *op. cit.*; Krause *op. cit.*), com algumas adições acompanhadas de re-

[15]Para detalhes, ver French e Krause *op. cit.*.

ferências. Trata-se, obviamente, de uma exposição *resumida* da teoria, onde os axiomas, definições e teoremas foram escolhidos, principalmente, para satisfazerem o objetivo principal deste capítulo, qual seja, a definição de *estrutura matemática*. Pressuporemos a teoria de conjuntos ZFU (Zermelo-Fraenkel com *Urelemente*). Os detalhes podem ser vistos nos artigos mencionados acima e no capítulo 7 de French e Krause 2006.[16]

A teoria de quase-conjuntos $\mathcal{Q}$ permite dois tipos de átomos (*Urelemente*), denominados m-átomos e M-átomos $-$ os M-átomos têm as propriedades usuais dos *Urelemente* de ZFU, enquanto os m-átomos podem ser entendidos como representando as partículas elementares da física quântica). No que diz respeito aos m-átomos, uma 'relação de indistinguibilidade' fraca '$\equiv$', ao invés da identidade, é postulada. Essa relação de indistinguibilidade possui as propriedades de uma relação de equivalência, ou seja, ela é reflexiva, simétrica e transitiva. Refletindo as idéias de Schrödinger, o predicado de igualdade *não* pode ser aplicado aos m-átomos, ou seja, uma expressão da forma $x = y$ não é uma fórmula de $\mathcal{Q}$, se x e y são m-átomos. Assim, podemos falar precisamente em m-átomos que são indistinguíveis, mas não são idênticos $-$ no sentido referido acima, isto é, eles diferem *solo numero* $-$, e fundamentar a idéia de que certos objetos não têm identidade.

O Universo de $\mathcal{Q}$ é composto, então, de m-átomos, M-átomos e *quase-conjuntos* '*qc*', que são definidos como algo que não é um *Urelemente*. Os axiomas de $\mathcal{Q}$ consistem de adaptações daqueles de ZFU mais axiomas específicos. Se restringirmos a teoria de modo a considerar apenas M-átomos, excluindo os m-átomos, então a teoria de quase-conjuntos é equivalente a ZFU, onde os *qc* podem ser denotados como conjuntos de ZFU. Se ambos os m-átomos e os M-átomos são excluídos, então a teoria colapsa em ZFC (Zermelo-Fraenkel com o Axioma da Escolha).

Uma *Igualdade Extensional* é introduzida para preservar o conceito de identidade para os objetos 'bem comportados', aqueles que não são m-átomos, da seguinte maneira. Para todos x e y, se x e y não são m-átomos, temos:

$$x =_E y =_{def.} (Q(x) \wedge Q(y) \wedge \forall z(z \in x \leftrightarrow z \in y)) \vee$$

[16] O leitor não familiarizado com a lógica e a teoria de conjuntos não precisa intimidar-se com a simbologia abaixo, pois o que, na verdade, interessa-nos aqui são as *conseqüências* dessas 'ferramentas' para a nossa 'defesa' do realismo estrutural ontológico, no próximo capítulo.

$$(M(x) \land M(y) \land \forall_Q z(x \in z \leftrightarrow y \in z)).$$[17]

Pode ser provado que $=_E$ tem todas as propriedades da identidade clássica que se aplicam aos M-átomos e aos 'conjuntos clássicos' de ZFU. Neste contexto, $=$, $\leq$ e $\geq$ são $=_E$, $\leq_E$ e $\geq_E$ respectivamente. Podemos, então, começar a delinear a teoria $\mathcal{Q}$ com as seguintes definições:

Definição 1.1.1

(i) [Quase-conjunto (*qc*)] $Q(x) =_{def.} \neg(m(x) \lor M(x))$

(ii) [*qc* puro] (uma coleção de m-átomos indistinguíveis) $P(x) =_{def.} Q(x) \land \forall y(y \in x \to m(y)) \land \forall y \forall z(y \in x \land z \in x \to y \equiv z)$.

(iii) [*Dinges*] (ou 'conjuntos' ou *Urelemente*)$D(x) =_{def.} M(x) \lor Z(x)$, onde $Z(x)$ denota um 'conjunto clássico'. Eles são as 'coisas (clássicas)', usando a terminologia original de Zermelo (1908).[18]

(iv) [Um *qc* cujos elementos são também *qc*] $E(x) =_{def.} Q(x) \land \forall y(y \in x \to Q(y))$.

(v) [Subqc] Para todos *qc* x e y, $x \subseteq y =_{def.} \forall z(z \in x \to z \in y)$.

Alguns dos axiomas de $\mathcal{Q}$ são os seguintes, onde os três primeiros são aqueles característicos de uma relação de equivalência:

Q1 [Reflexividade] $\forall x(x \equiv x)$.

Q2 [Simetria] $\forall x \forall y(x \equiv y \to y \equiv x)$.

Q3 [Transitividade] $\forall x \forall y \forall z(x \equiv y \land y \equiv z \to x \equiv z)$.

Q4 $\forall x \forall y(x =_E y \to (A(x,x) \to A(x,y)))$, com as restrições sintáticas usuais, isto é, $A(x,x)$ é uma fórmula qualquer e $A(x,y)$ surge de $A(x,x)$ pela substituição de algumas ocorrências livres de x por y, desde que y esteja livre para x em $A(x,x)$.

Teorema 1 Se *Q(x)* e *Q(y)* ou *M(x)* e *M(y)*, então $x =_E y$.

[17] $\forall_Q$ e $\exists_Q$ são, respectivamente, os quantificadores universal e existencial relativizados a *qc*.

[18] A teoria de conjuntos de Zermelo lida com um domínio (*Bereich*) de indivíduos, os conjuntos e os *Urelemente*, aos quais ele se refere simplesmente como *objetos* (*Dinges*) (cf. Krause *op. cit.*).

Prova: Se *Q(x)* e *Q(y)*, uma vez que $\forall z(z \in x \leftrightarrow z \in y)$, então $x =_E y$ pela definição de identidade extensional. Se *M(x)* e *M(y)*, então certamente para todo *qc* *z*, temos que $x \in z \leftrightarrow y \in z$, assim $x =_E y$.■[19]

Q5 Nada é ao mesmo tempo um m-átomo e um M-átomo: $\forall x(\neg(m(x) \wedge M(x))$.

Teorema 2 Se $Q(x)$ ou $M(x)$, então $\neg m(x)$.

Prova: Se *Q(x)*, então $\neg m(x)$ pela definição de *qc*. Se *M(x)*, então $\neg m(x)$ por **Q5**. ■

Q6 Os átomos são vazios: $\forall x \forall y(x \in y \rightarrow Q(y))$.

Este axioma é interessante do ponto de vista da física, pois parece que estamos supondo que os M-átomos podem ser 'compostos' de m-átomos de algum modo. É precisamente essa interpretação física que a teoria $\mathcal{Q}$ está propondo. Neste caso, a relação entre os átomos não deveria ser a de 'pertinência', mas alguma forma de mereologia, adequada para expressar essas relações, deveria ser adotada (ver Krause *op. cit.*).

Q7 Todo conjunto é um *qc*: $\forall x(Z(x) \rightarrow Q(x))$.

Q8 [Este axioma é conjunção dos dois itens abaixo] Quase-conjuntos cujos elementos são 'coisas clássicas' são conjuntos, e inversamente:

(i) $\forall_Q x(\forall y(y \in x \rightarrow D(y)) \rightarrow Z(x))$,
(ii) $\forall_Q x(Z(x) \rightarrow \exists y(y \in x \rightarrow D(y)))$.

A intenção é caracterizar *conjuntos* em $\mathcal{Q}$ para que eles possam ser identificados com os conjuntos 'clássicos' de ZFU. Isso seria alcançado se eles fossem tomados serem aqueles

[19] As provas dos teoremas aqui apresentados são de Krause *op. cit.*

qc cujos fechos transitivos não contêm m-átomos.[20] A parte '$\rightarrow$' de **Q8** dá metade da resposta: se todos os elementos de x são *Dinge* (conjuntos de M-átomos), então x é um conjunto. No que diz respeito à inversa, não é suficiente postular que nenhum elemento de um conjunto é um m-átomo, desde que os elementos de seus elementos possam ter m-átomos como elementos, e assim por diante. Mas esta questão pode ser corretamente respondida se temos $Z(y) \rightarrow \forall y(y \in x \rightarrow D(y))$, que é precisamente a parte '$\leftarrow$' de **Q8**

Q9 Este axioma é a conjunção dessas três sentenças:

$$\forall x \forall y(m(x) \wedge x \equiv y \rightarrow m(y))$$
$$\forall x \forall y(x =_E y \wedge M(x) \rightarrow M(y))$$
$$\forall x \forall y(x =_E y \wedge Z(x) \rightarrow Z(y))$$

Q10 [Quase-conjunto vazio] Existe um qc (denotado '$\emptyset$') que não possui elementos: $\exists_Q x \forall y(\neg(y \in x))$.

Teorema 3 O qc vazio é um conjunto.

Prova: Seja $x =_E z$, onde $Q(z) \wedge \forall w(w \notin z)$. Como $y \notin z$, por (ii) acima temos $\forall y(y \in z \rightarrow D(z))$, logo $Z(z)$ por (ii).$\blacksquare$

Q11 *Dinge* indistingüíveis[21] são idênticos extensionalmente: $\forall_D x \forall_D y(x \equiv y \rightarrow x =_E y)$.

Teorema 4 A relação de igualdade extensional possui todas as propriedades da igualdade clássica.

Prova: Seja y tal que $D(y)$. Suponha que $y \equiv x$ e $x \in w$. Então, por **Q9**, $D(x)$, pois se $\neg D(x)$, teríamos $m(x)$ e, desde que $y \equiv x$, teríamos $m(y)$ por *Q9*, o que é absurdo.

[20]O conceito de 'fecho transitivo' é o usual: $TC(x) =_{def.} x \cup \bigcup x \cup \bigcup \bigcup x \ldots$.

[21]Ver definição 1.1.1 acima.

Portanto $D(x)$. Logo $y \equiv x \wedge x \in w$ e $D(y)$ e $D(x)$. Por **Q11**, $y \equiv ximplicay =_E x$.■

Teorema 5 Se *M(x)* e $x \equiv y$, então *M(y)*; o mesmo vale para 'conjuntos', a saber, *Z(x)* e $x \equiv y$, então *Z(y)*.

Prova: (para M-átomos) Suponhamos *M(x)* e $x \equiv y$. Se *m(y)*, desde que $y \equiv x$ por **Q2**, então *m(x)* por **Q9**. Assim, *M(y)* ou *Z(y)*. Mas, por **Q11**, sendo x um M-átomo, $x \equiv y$ confere $x =_E y$, portanto por ***Q4***, se *M(x)* mantém $A(x, x)$ obtemos *M(y)*. O mesmo vale se supormos *Z(x)*.■

Intuitivamente, a distinção entre identidade extensional e a relação primitiva de indistinguibilidade pode ser traçada da seguinte maneira. Pelos axiomas e teoremas acima, a relação de indistinguibilidade $\equiv$ permite substitutividade para todos os símbolos não-lógicos primitivos, exceto a pertinência. Ou seja, se B é m, M, Z ou mesmo qc, então $B(x) \wedge x \equiv y \rightarrow B(y)$ é um teorema. Se isto fosse possível também para $\in$, então desde que $\equiv$ é reflexiva (axioma **Q1**), teríamos a substitutividade completa para $\equiv$, portanto ela não seria distinta da identidade usual. Mas, com respeito à pertinência, este não é o caso, isto é, $x \in w \wedge y \equiv x$ não garante que $y \in w$, pois a teoria não possui nenhum axioma que permita isso. Assim, a indistinguibilidade não é a identidade 'padrão'.

Q12 [Axioma do Par 'fraco'] Para todos x e y, existe um qc cujos elementos são indistinguíveis ou de x ou de y : $\forall x \forall y \exists_Q z \forall t (t \in z \leftrightarrow t \equiv x \vee t \equiv y)$. Esse qc é denotado $[x, y]$ e, em particular, quando $x \equiv y$, temos $[x]$ por definição. Esse qc, no entanto, *não pode* ser tomado como o 'unitário' de x, pois seus elementos são *todos* os objetos indistinguíveis de x, desse modo, como veremos abaixo, sua 'cardinalidade' pode ser maior que 1.

Q13 [Esquema da Separação] Considerando as restrições sintáticas usuais da fórmula $A(t)$, isto é, $A(t)$ ser uma fórmula bem-formada na qual y ocorre livre, temos o seguinte esquema de axioma: $\forall_Q x \exists_Q y \forall t (t \in x \leftrightarrow t \in y \wedge A(t))$. Esse qc é denotado $[t \in x : A(t)]$, quando qc é um *conjunto*, usamos a notação padrão '{' e '}' ao invés de '[' e ']', assim temos o usual $\{t \in x : A(t)\}$.

Q14 [União] $\forall_Q x(E(x) \to \exists_Q y(\forall z(z \in y \leftrightarrow \exists t(z \in t \wedge t \in y)))$. Esse qc é denotado $\bigcup x$ ou $\bigcup_{t \in x} t$ ou também $u \cup v$ quando t tem apenas dois elementos (qc) u e v.

Q15 [Quase-conjunto Potência ou Quase-conjunto das Partes] $\forall_Q x \exists_Q y \forall t(t \in y \leftrightarrow t \subseteq x)$. Esse qc é denotado $\mathcal{P}(x)$.

Definição 1.1.2

(i) ['Par ordenado'] $\langle x, y \rangle =_{def.} [[x], [x, y]]$.

(ii) [Unitário 'fraco'] $[x] = [x, x]$. $[x]$ é a coleção (qc) de indistinguíveis de x.

(iii) [Produto cartesiano] $x \times y =_{def.} [\langle z, u \rangle \in \mathcal{P}\mathcal{P}(x \cup y) : z \in x \wedge u \in y]$

Como no caso de $[x, y]$, $[x]$ é o qc de todos os indistingüíveis de x, podendo, assim, ter mais de um elemento $-$ uma das principais diferenças entre a relação de indistinguibilidade '$\equiv$' e a de identidade '$=$' $-$, podemos dizer o mesmo do produto cartesiano dos dois qc e assim por diante. Os conceitos de *interseção* e de *diferença* de qc são definidos da maneira usual: $t \in x \cap y$ sse $t \in x \wedge t \in y$ e $t \in x - y$ sse $t \in x \wedge t \notin y$.

Q16 [Infinito] $\exists_Q x(\emptyset \in x \wedge \forall y(y \in x \wedge Q(y) \to y \cup [y] \in x))$

Q17[Regularidade ou Fundamento] Quase-conjuntos são bem fundados: $\forall_Q x(E(x) \wedge x \neq_E \emptyset \to \exists_Q y(y \in x \wedge y \cap x =_E \emptyset))$.

Embora não as tratemos aqui, vale observar que várias questões interessantes surgem destes axiomas. Por exemplo, se os m-átomos são pensados como representando partículas elementares, então aparentemente estamos face a um velho problema da 'divisão contínua' de um certo objeto. Os axiomas acima talvez sugiram que uma tal 'divisão' tem um fim. Mas certamente este não é o caso, pois os axiomas falam em termos de qc; cada qc tem um qc como elemento, não tendo nenhum elemento em comum, mas nada é dito sobre átomos.

3.1.3 Quase-função e quase-cardinal em $\mathcal{Q}$

O conceito de *função* também *não* pode ser definido de maneira padrão. É necessário, assim, introduzir um conceito fraco de quase-função, o qual irá mapear coleções de objetos indistinguíveis dentro de coleções de objetos indistinguíveis. Quando m-átomos não estiverem envolvidos, o conceito é reduzido àquele de função usualmente compreendido. Relações, por ora, podem ser entendidas de maneira usual[22], embora nenhuma relação de ordem possa ser definida sobre um quase-conjunto de m-átomos indistinguíveis, pois ordens parciais e totais (não estritas) pressupõem anti-simetria, e essa não pode ser definida sem identidade. Assimetria também não pode ser suposta, desde que, se $x \equiv y$, então para cada relação R tal que $\langle x, y \rangle \in R$ segue que $\langle x, y \rangle =_E [[x]] =_E \langle x, y \rangle \in R$, por força dos axiomas de $\mathcal{Q}$.

Como já mencionado, podemos definir uma tradução da linguagem de ZFU na linguagem de $\mathcal{Q}$ de tal maneira que podemos obter uma 'cópia' de ZFU em $\mathcal{Q}$. Nessa cópia, todos os conceitos matemáticos usuais (como ordinal, cardinal etc.) podem ser definidos. Os 'conjuntos' – ou seja, os *qc* que são 'cópias' dos conjuntos de ZFU – são então aqueles *qc* cujos fechos transitivos não contêm m-átomos.[23]

Embora usualmente (em ZF, por exemplo) o conceito de *ordinal* venha 'antes' do de *cardinal* – isto é, o último é definido a partir do primeiro –, a mecânica quântica parece apresentar fortes argumentos para que este não seja o caso. A idéia de apresentar coleções que não têm ordinal é um dos pressupostos básicos da teoria de quase-conjuntos. Assim, o conceito de quase-cardinal (que denotaremos aqui por '*qcar*') é primitivo em $\mathcal{Q}$, e é submetido a certos axiomas que nos permitem operar com quase-cardinais de uma maneira similar àquela dos cardinais nas teorias de conjuntos usuais. Deste modo, *qcar(x)* significa o quase-cardinal do quase-conjunto x, na medida que *Z(x)* diz que x é um conjunto (em $\mathcal{Q}$); *Cd(x)* e *card(x)* significam, respectivamente, 'x é um cardinal' e 'o cardinal de x', definidos de forma padrão na 'cópia' de ZFU em $\mathcal{Q}$. Esses são alguns axiomas da quase-cardinalidade:

[22] Todavia, na seção 4.2 abaixo, voltaremos a considerar 'particularidades' do conceito de *relação* na teoria de quase-conjuntos.

[23] Foi provado (da Costa e Krause 1999) que a teoria de quase-conjuntos é eqüiconsistente com as teorias de conjuntos usuais (como ZFC).

Q18 [Quase-cardinalidade] Cada *qc* tem um único quase-cardinal que é um cardinal (definido na 'parte ZFU' da teoria) e, se o *qc* é, em particular, um conjunto, então esse quase-cardinal é seu cardinal *stricto sensu*:[24]

$$\forall_Q x \exists_Q ! y (Cd(y) \wedge y =_E qcar(x) \wedge (Z(x) \rightarrow y =_E card(x)))^{25}$$

A teoria $\mathcal{Q}$ também incorpora um axioma que diz que, se o quase-cardinal de um *qc* é α, então para cada quase-cardinal $\beta \leq \alpha$, existe um subquase-conjunto de x cujo quase-cardinal é β (o conceito de subquase-conjunto é o usual):

Q19 [Os quase-cardinais de subquase-conjuntos]

$$\forall_Q x (qcar(x) =_E \alpha \rightarrow \forall \beta (\beta \leq_E \alpha \rightarrow \exists_Q y (y \subseteq x \wedge qcar(y) =_E \beta))$$

Outro axioma diz que

Q20 [O quase-cardinal do quase-conjunto potência (das partes)]

$$\forall_Q x (qcar(\mathcal{P}(x)) =_E 2^{qcar(x)})$$

onde $2^{qcar(x)}$ tem seu significado usual.

Como mencionamos anteriormente, existem *qc* que possuem como elementos apenas m-átomos, chamados *qc* 'puros'. Quando m-átomos de um *qc* puro x são indistinguíveis uns dos outros, ou seja, quando eles partilham a relação de indistinguibilidade '$\equiv$', os axiomas de $\mathcal{Q}$ garantem que nada (na teoria) pode distinguir os elementos de x. Todavia, o que garante que x tenha mais de um elemento? A resposta é dada pelos axiomas de $\mathcal{Q}$ mencionados acima (entre outros). Do fato de o quase-cardinal do *qc* potência de x ter quase-cardinal $2^{qcar(x)}$, temos que, se $qcar(x) =_E \alpha$, para cada quase-cardinal $\beta \leq_E \alpha$ existe um subquase-conjunto $y \subseteq x$ tal que $qcar(y) =_E \beta$ por força de **Q19**. Portanto, se $qcar(x) =_E \alpha \neq_E 0$, a axiomática não proíbe a existência de α subquase-conjuntos de x que podem ser observados como 'unitários'.

[24]Desta maneira, cada quase-cardinal é um cardinal, e a expressão 'existe um único' faz sentido. Além disso, do fato de $\emptyset$ ser um conjunto, segue que seu *qcar* é 0 (Krause *op. cit.*).

[25]Onde $\exists_Q ! y$ significa 'existe um *único* quase-conjunto y tal que...'.

No entanto, a teoria não pode provar que esses subquase-conjuntos 'unitários' $-$ supondo que $qcar(x) \geq_E 2$ $-$, são distintos, pois não há como 'identificarmos' seus elementos, o que está exatamente de acordo com os aspectos intuitivos da teoria. Ou seja, em $\mathcal{Q}$ podemos manter que x tenha α elementos, os quais podem ser observados como objetos absolutamente indistinguíveis. Do fato de os elementos de x poderem compartilhar a relação $\equiv$, eles podem ser entendidos como pertencendo a mesma 'classe de equivalência' (sendo elétrons indistinguíveis, por exemplo), mas de tal modo que não podemos dizer nem que eles são idênticos, nem que eles são distintos de um outro da mesma espécie. Assim, definimos x e y como *qc similares* (denotando $Sim(x,y)$) se os elementos de um deles forem indistinguíveis dos elementos do outro, isto é, $Sim(x,y)$ se, e somente, $\forall z \forall t(z \in x \wedge t \in y \rightarrow z \equiv t)$. Além disso, x e y são *Q-Similares (QSim(x, y)* se, e somente se, eles são similares e têm a mesma quase-cardinalidade. Desde que o *qc* quociente $x/_{\equiv}$ pode ser visto como uma coleção de classes de equivalência de objetos indistinguíveis, podemos, agora, enunciar o axioma da extensionalidade 'fraca' da seguinte maneira:

Q21 [Axioma da Extensionalidade 'Fraca']

$$\forall_Q x \forall_Q y(\forall z(z \in x/_{\equiv} \rightarrow \exists t(t \in y/_{\equiv} \wedge QSim(z,t)) \wedge \forall t(t \in y/_{\equiv} \rightarrow \exists z(z \in x/_{\equiv} \wedge QSim(t,z)))) \rightarrow x \equiv y)$$

Intuitivamente, o axioma diz que aqueles *qc* que têm 'a mesma quantidade' de elementos da mesma espécie $-$ no sentido de que eles pertencem a mesma classe de equivalência de objetos indistinguíveis $-$ são indistinguíveis.

3.1.4 O 'Postulado' da Indistinguibilidade

Como vimos anteriormente, o Postulado da Indistinguibilidade intuitivamente diz que permutações de partículas elementares indistinguíveis não são observáveis. Antes de vermos como esse fato é expresso na teoria de quase-conjuntos, deixe-nos introduzir a seguinte definição:

Definição 1.1.3 Um *unitário forte* de um objeto x é um *qc* x' que satisfaz a seguinte propriedade:

$$x' \subseteq [x] \wedge qcar(x') =_E 1.$$

De acordo com a definição acima, x' é um subquase-conjunto de $[x]$ (a coleção de *todos* os objetos indistinguíveis de x) que tem apenas 'um elemento'. Esta definição só faz sentido porque os quase-cardinais são cardinais, como garante o axioma **Q18**. Pode ser provado em $\mathcal{Q}$ que para cada x existe um unitário forte de x (Krause 2003). Podemos, agora, enunciar o seguinte teorema de $\mathcal{Q}$:

Teorema 6 [O 'Postulado' da Indistinguibilidade] Seja x um *qc* finito e z um m-átomo tal que $z \in x$. Se $w \equiv z$ e $w \notin x$, então existe w' tal que:

$$(x - z') \cup w' \equiv x$$

A prova desse teorema é uma conseqüência imediata (principalmente) do axioma **Q21**. Lembrando que z' e w' denotam o unitário forte de x e w, então quando $w \notin x$ podemos interpretar o teorema como dizendo que 'trocamos' um elemento de x por um indistinguível dele, e o fato resultante é que 'nada aconteceu' (os *qc* resultantes são indistinguíveis). Em outras palavras, podemos dizer que um indistinguível de z foi trocado por um indistinguível de w (desde que z e w sejam indistinguíveis), e nada aconteceu com x — o *qc* resultante é indistinguível do *qc* original.

3.2 Estruturas parciais e quase-verdade em $\mathcal{Q}$

O conceito de estrutura parcial, bem como o de quase-verdade, que veremos à frente, foi primeiramente apresentado em Mikenberg, da Costa e Chuaqui 1986. Desde então, têm havido numerosas publicações tratando desse conceito, com diversas aplicações em filosofia da ciência. Lembramos que apresentaremos nesta dissertação apenas uma *visão geral* desses conceitos e alguns usos destes em filosofia da ciência serão brevemente comentados. No próximo capítulo, analisaremos eles à luz de uma 'defesa' do realismo estrutural ontológico.

3.2.1 Estruturas, predicados de Suppes e modelos matemáticos

A seguir, apresentaremos uma *idéia esquemática* (deixando de lado considerações mais rigorosas) do conceito de *estrutura matemática* e, conseqüentemente, da noção de *modelo* (matemático) e *predicado de Suppes*, todos formulados dentro da teoria de *quase-conjuntos*.[26]

Suponhamos que sejam dados os *qc* $A_1, A_2, \ldots, A_n$, chamados de *quase-conjuntos base*. Partindo desses *qc*, podemos formar outros *qc*, que terão como elementos os quase-conjuntos de subquase-conjuntos e os quase-conjuntos de subquase-conjuntos do produto cartesiano dos *qc* dados. Em geral, podemos obter uma *escala* de tipos de *qc* como a que se segue (com apenas dois quase-conjuntos base A e B, para exemplificar):[27]

$$A \times B, \mathcal{P}(A), \mathcal{P}(A \times B), \mathcal{P}(A \times \mathcal{P}(B) \times A), \mathcal{P}(\mathcal{P}(A)).$$

Os elementos dos quase-conjuntos da escala acima podem ser caracterizados por seus tipos. Consideremos, a seguir, a definição de *tipo* de um elemento de uma escala como a acima:

Definição 1.2.1 Chama-se tipo de um quase-conjunto de uma escala de quase-conjuntos de base $A_1, A_2, \ldots, A_n$ ao objeto definido como se segue:

(i) O tipo dos elementos dos quase-conjuntos base $A_1, A_2, \ldots, A_n$ são respectivamente $a_1, a_2, \ldots, a_n$, sendo $a_i \neq_E a_j$ para $i \neq_E j$.

[26] Seguiremos, em parte, da Costa e French *op. cit.*, pp. 21-60 e Krause 2002, pp. 18-22. No entanto, adaptaremos esses conceitos para a linguagem da teoria de *quase-conjuntos*. Faremos assim porque, como vimos no capítulo anterior, French e Ladyman sustentam que o realismo estrutural ontológico é uma teoria que deve estar voltada para os fundamentos da mecânica quântica. Tendo em vista a indistinguibilidade dos quanta mencionada acima, justificamos, assim, o uso da teoria de quase-conjuntos como sendo 'mais adequada' para entendermos o conceito de estrutura que nos interessa nesta dissertação.

[27] Enfatizamos, mais uma vez, que para obter estes objetos dependemos dos axiomas da teoria de quase-conjuntos. Assim, dependendo do que desejamos obter, podemos escolher entre uma ou outra versão desta teoria (por exemplo, se necessitamos ou não do axioma da escolha etc.).

(ii) O tipo de um elemento de $\mathcal{P}(A_i)$ é $\langle a_i \rangle$.

(iii) Se os elementos de um quase-conjunto X_i têm tipo $x_i, i =_E 1, \ldots, k$, então os elementos do quase-conjunto $X_1 \times \ldots \times X_k$ têm tipo $\langle x_1, \ldots, x_k \rangle$.

Suponhamos que os elementos dos quase-conjuntos A e B tenham tipos respectivamente a e b. Então os elementos da escala do exemplo acima terão respectivamente os tipos $\langle a, b \rangle, \langle a \rangle, \langle\langle a, b \rangle\rangle, \langle a, \langle b \rangle, a \rangle$ e $\langle\langle a \rangle\rangle$.

Dados dois quase-conjuntos A e B, uma *relação binária* entre os elementos desses *qc* (nessa ordem) é um elemento de $\mathcal{P}(A \times B)$, ou seja, um objeto de tipo $\langle\langle a, b \rangle\rangle$.[28] De um modo geral, consideraremos apenas relações *finitárias*, ou seja, aquelas que têm aridade *finita*. Neste contexto, uma relação *monádica* é simplesmente um quase-conjunto. Funções podem ser definidas como acima, e elementos constantes são identificados com relações *0*-ádicas.

Desta maneira, uma *estrutura* (matemática) é uma seqüência finita de quase-conjuntos base − que eventualmente podem ser reduzidos a apenas um, bastando para isso fazer a união dos quase-conjuntos que houver e adaptando os demais conceitos envolvidos − e de relações (ou quase-relações, como veremos à frente) sobre esses *qc*. Tais relações também são quase-conjuntos, portanto, têm tipos fixos de acordo com a definição dada. Conseqüentemente, por abuso de linguagem, a própria estrutura terá um tipo. Por exemplo, seja $\mathcal{S} =_E \langle A, \leq_E \rangle$ uma estrutura, onde A é um quase-conjunto não vazio cujos elementos tenham tipo a e $\leq_E$ uma relação de tipo $\langle\langle a, a \rangle\rangle$ (isto é, $\leq_E$ é uma relação binária sobre A, ou seja, um quase-conjunto de pares ordenados de elementos de A). Assim, o tipo de $\mathcal{S} =_E \langle A, \leq_E \rangle$ será $\langle a, \langle\langle a, a \rangle\rangle\rangle$.

Um fato importante deve ser destacado. Na verdade, algo como $\mathcal{S} =_E \langle A, \leq_E \rangle$ não representa *uma única* estrutura, mas uma certa classe delas. Se A' é indistinguível de A e $\leq'_E$ é a correspondente relação em A' (cuja definição faz sentido manter pelos motivos abaixo), então $\mathcal{S}' =_E \langle A', \leq'_E \rangle$ substitui perfeitamente $\mathcal{S}$ acima para todos os efeitos. É mais ou menos o que se passa em química, quando afirmamos que H_2O é uma molécula de água. Na verdade, o que importa é a *estrutura*, posto que quaisquer 'outros' átomos de H

[28]No entanto, ver subseção 4.2.1 adiante.

e de O condizem a exatamente o mesmo composto químico. Em $\mathcal{Q}$, isso se deve ao fato de que se R é uma relação n-ária sobre A, e $R(x_1, \ldots, x_n)$ para $x_i \in A$, então $R(x'_1, \ldots, x'_n)$ desde que $x'_i \equiv x_i$ – desde que essa relação não seja a de pertinência, como veremos detalhadamente mais à frente. Em outras palavras, em $\mathcal{Q}$ realmente podemos falar em estruturas sem se levar em conta os *particulares* relacionados (*relata*), como destacaremos no próximo capítulo. É claro que, como é fácil verificar, as estruturas $\mathcal{S} =_E \langle A, \leq_E \rangle$ e $\mathcal{S}' =_E \langle A', \leq'_E \rangle$ são *isomorfas* (Krause 2005).

Por conseguinte, dito de outra forma, uma estrutura é simplesmente uma n-upla ordenada que contém alguns quase-conjuntos base de uma escala de quase-conjuntos que tem por base os quase-conjuntos dados, como segue:

$$\mathcal{E} =_E \langle A_1, A_2, \ldots, A_k, s_1, \ldots, s_j \rangle,$$

sendo os A_k quase-conjuntos base da estrutura e os s_j elementos de quase-conjuntos de uma escala baseada nos A_k. Tais elementos s_j devem satisfazer os *axiomas da estrutura*, $AX_1, \ldots, AX_n$, que são fórmulas *transportáveis* (no sentido de Bourbaki 1968, cap. 4).[29] Outro conceito importante é o de *isomorfismo entre estruturas.* Seja $\mathcal{E} =_E \langle A_1, \ldots, A_k, s_1, \ldots, s_j \rangle$ uma estrutura como acima. Sejam $A'_1, \ldots, A'_k$ tais que $A'_1 \equiv A'_k$ e sejam $s'_1, \ldots, s'_j$ os correspondentes elementos obtidos de s_i mediante adequadas transformações de A'_i. Então $\mathcal{E}' =_E \langle A'_i, \ldots, A'_k, s'_1, \ldots, s'_j \rangle$ é isomorfa a $\mathcal{E}$. Vejamos, a seguir, o conceito de 'predicado de Suppes'. Seja $\mathcal{L}_{qc}$ a linguagem da teoria de quase-conjuntos. Um predicado em $\mathcal{L}_{qc}$ é uma fórmula com uma única variável livre. Suponhamos que P seja um predicado definido da seguinte maneira (sendo X a variável livre):

$$P(X) \leftrightarrow \exists X_1 \ldots \exists X_k \exists Y_1 \ldots \exists Y_m (X =_E \langle X_1, \ldots, X_k, Y_1, \ldots, Y_m \rangle \wedge AX_1, \ldots, AX_n).$$

P é satisfeito por estruturas da forma dada acima, onde os AX_n são expressões de $\mathcal{L}_{qc}$ que correspondem aos axiomas a que os elementos de X estão sujeitos. Essas estruturas são

[29] A definição de estrutura dada acima é apenas *inspirada*, e enfatizamos esta palavra, na definição de Bourbaki. Sobre a definição de estrutura de Bourbaki ver, além do próprio Bourbaki, por exemplo, Krause 1987, 2002, cap. 1

os *modelos* do predicado dado. Este predicado é uma fórmula transportável da linguagem da teoria de quase-conjuntos, e podemos denominá-lo aqui de *quase-predicado de Suppes*. Vale observar que este tipo de predicado identifica-se com o conceito de *espécies de estruturas* no sentido de Bourbaki. A estrutura $\mathcal{E}$ é então denominada uma *estrutura de espécie* P, ou uma P*-estrutura*. Um predicado de Suppes caracteriza uma família de estruturas, que são os *modelos* dos axiomas AX_n $-$ tal família pode também ser caracterizada por vários predicados (equivalentes entre si). Sintetizando, como diz o próprio Suppes, "axiomatizar uma teoria é apresentar um predicado conjuntista"(citado por Krause *op. cit.*, p. 20-21 nota 55). Vejamos a seguir um exemplo da Teoria de Grupos.

Informalmente, um grupo é um quase-conjunto não vazio G munido de uma operação binária $*$ satisfazendo os seguintes axiomas:

(GI) $*$ é associativa,
(GII) existe um elemento neutro $e \in G$ relativo a G e
(GIII) todo elemento $x \in G$ admite um inverso $x' \in G$.

Na teoria ZF $-$ na verdade, na *cópia* de ZF em $\mathcal{Q}$ $-$, podemos dizer que um grupo G é um par ordenado $\langle G, * \rangle$, onde $G \neq_E \emptyset$ e $* \in \mathcal{P}(G \times G \times G)$, e os seguintes axiomas são satisfeitos, para todo x, y e z em G:[30]

(G1) $\forall x \forall y \forall z (x * (y * z) =_E (x * y) * z)$
(G2) $\exists e (e \in G \land \forall x (x \in G \rightarrow x * e =_E x))$
(G3) $\forall x (x \in G \rightarrow \exists x' (x' \in G \land x * x' =_E x' * x =_E e))$.

O predicado de Suppes correspondente é:

$$G(X) =_{def.} \exists G \exists * (X =_E \langle G, * \rangle \land G \neq_E \emptyset \land * \in \mathcal{P}(G \times G \times G) \land \forall x \forall y \forall z ((x * (y * z) =_E (x * y) * z) \land \exists e (e \in G \land x * e =_E x) \land \exists x' (x' \in G \land x * x' =_E x' * x =_E e))).$$

[30]Lembramos que, se os elementos de G têm tipo a, então e tem tipo a, x, y, z... têm tipo a e $*$ tem tipo $\langle\langle a, a, a \rangle\rangle$.

Os *modelos* desse predicado, por exemplo, a estrutura $\mathcal{R} =_E \langle \Re, + \rangle$, com $\Re$ o conjunto dos números reais e $+$ a usual adição de reais, são os *grupos*. Assim, *dar* o predicado é caracterizar os grupos. Um outro exemplo interessante é o da mecânica de partículas. Os modelos são as várias 'mecânicas de partículas': o sistema Sol e Lua, as moléculas de um gás, o sistema solar etc.[31]

Desta maneira, para sabermos se uma certa sentença da teoria de grupos − por exemplo, $\forall x \forall y \forall z (x * z =_E y * z \rightarrow x =_E y)$ − é verdadeira para uma certa interpretação, devemos recorrer à verdade de Tarski, via teoria de conjuntos.[32]

Vejamos outro interessante exemplo, envolvendo m-átomos, dado por Krause *et al.*, onde é apresentado um predicado quase-conjuntista para partículas quânticas. Segundo Krause *et al.*, podemos começar com a seguinte definição:

Definição 1.2.2 Uma estrutura $\mathcal{Q}_{bf} =_E \langle P, \mathcal{P}, F, S, R \rangle$ é um sistema de partículas quânticas se, e somente se, os seguintes axiomas são satisfeitos, onde x, y, z são variáveis percorrendo P e p, q, r são variáveis percorrendo $\mathcal{P}$:

QP(1) P é um quase-conjunto finito.

QP(2) $\forall x (x \in P \rightarrow m(x))$

QP(3) $\forall p (p \in \mathcal{P} \rightarrow p \subseteq P)$

QP(4) $\forall x (x \in P \wedge F(x) \rightarrow m(x)) \wedge \forall y (y \equiv x \rightarrow F(y)))$

Definição 1.2.3 $B(x) =_{def.} m(x) \wedge \neg F(x)$

Podemos dizer que F é um predicado unário tal que *F(x)* diz, intuitivamente, que x é um '*férmion*'. Se x obedece o predicado B, dizemos que x é um '*bóson*'. Assim sendo, a definição acima diz que um microobjeto que não é um férmion é um bóson − assumimos, portanto, que todo microobjeto ou é um férmion ou é um bóson; todavia, comentam Krause *et al.*, podemos modificar a definição para que ela possa abranger outras espécies de microobjetos, tais como as *parapartículas* (*ibid.*)

[31]Este e outros exemplos em biologia e na mecânica quântica são dados em Krause *op. cit.*, cap. 2.

[32]Não comentaremos a verdade de Tarski nesta dissertação.

QP(5) S é um conjunto munido de uma relação de ordem. Os elementos de S são chamados 'estados quânticos'. Os elementos de S serão denotados por $s, s_1, s_2, \ldots$.

QP(6) R é uma quase-relação com domínio $\mathcal{P}$ e contra-domínio S, isto é, $R =_E [[p, s] : p \in \mathcal{P}, s \in S]$.

QP(7) $\bigcup_{p \in \mathcal{P}} =_E P$.

QP(8) $\forall p \forall s([p, s] \in R \rightarrow \forall q(qcar(q) > qcar(p) \rightarrow [q, s] \notin R)$.

QP(9) $\forall p \forall s \forall q \forall t([p, s] \in R \wedge [q, t] \in R \wedge s \neq_E t \rightarrow p \cap q =_E \emptyset)$.

QP(10) [Princípio de Pauli] $\forall x \forall p \forall s(p \in \mathcal{P} \wedge x \in p \wedge s \in S \wedge F(x) \rightarrow ([p, s] \in R \rightarrow qcar(p) \leq_E 1))$.

Intuitivamente, o axioma **QP(1)** diz que estamos considerando apenas um número finito de partículas. **QP(2)** diz que estamos considerando apenas microobjetos, isto é, P é um quase-conjunto puro. **QP(3)** diz que os elementos de $\mathcal{P}$ são subquase-conjuntos de P. O axioma **QP(4)** diz que todo férmion é um microobjeto, e que qualquer microobjeto indistinguível de um férmion é também um férmion. **QP(5)** diz que podemos ordenar estados quânticos. **QP(6)** postula que R é uma relação cujos primeiros elementos são subquase-conjuntos de P e cujos segundos elementos são estados quânticos; podemos também interpretar fisicamente R do seguinte modo. Se $[p, s]$ pertencem a R e $qcar(p) =_E n$, então podemos dizer que 'o estado quântico s teve número de ocupação igual a n', ou seja, 'existem n partículas quânticas no estado s'. O axioma **QP(7)** diz que cada partícula do domínio pertence a um dos elementos da coleção considerada $\mathcal{P}$. **PQ(8)** postula que os primeiros elementos dos pares em R têm o 'número maximal' de elementos. O axioma **PQ(9)** garante que uma partícula não pode estar simultaneamente em dois estados quânticos diferentes. Por fim, **QP(10)** é a versão quase-conjuntista do Princípio de Exclusão de Pauli.[33] A relação R propicia uma maneira de rotular certas coleções de partículas elementares. Mas **QP(10)** diz que a quase-cardinalidade de coleções de férmions associadas ao mesmo estado por R não pode ser maior do que 1. Como teoremas, seguem-se estes, por exemplo (as provas são imediatas):

[33]Em poucas palavras, o princípio diz que dois ou mais férmions não podem ocupar o mesmo estado.

Teorema 7 Qualquer objeto indistinguível de um bóson é também um bóson.

Teorema 8 Cada microobjeto é ou um férmion ou um bóson.

Na seqüência, como exemplo da estrutura acima, Krause *et al.* apresentam um modelo para a estrutura eletrônica do átomo de sódio (Na). Todavia, não a apresentaremos aqui. O leitor interessado pode consultar o referido artigo.

Vimos acima dois exemplos de modelos de predicados de Suppes. Segundo W. Stegmüller, Suppes segue o desenvolvimento de sua abordagem semântica como um análogo ao programa de Bourbaki e sua abordagem estruturalista em matemática. O que Suppes pretenderia seria 'estender' o programa estruturalista de Bourbaki para as ciências empíricas, adicionando à idéia de 'espécies de estruturas', um processo que ficou conhecido como 'explicitar o predicado de Suppes' da teoria (ver Krause 1987, 2002, cap. 1). O que Suppes deseja fazer nas ciências empíricas seria um análogo ao que fez Bourbaki na matemática, ou seja, fundamentá-la em uma *teoria de conjuntos* – ou, poderíamos reformular, na teoria de quase-conjuntos – (Stegmüller 1981, p. 15).

3.2.2 Estruturas parciais em $\mathcal{Q}$

Dado o conceito de estrutura acima, podemos agora apresentar o conceito de *estrutura parcial*. Uma estrutura parcial (de primeira ordem) pode ser representada da seguinte maneira.[34] Seja $\mathcal{S} =_E \langle A, R_i \rangle_{i \in I}$ uma estrutura como definido acima, onde A é o quase-conjunto de elementos do domínio sob consideração e R_i, com $i \in I$, é uma família de relações parciais definidas sobre A. Se A é um *qc* não vazio, então uma *relação parcial n-ária* R sobre A é uma tripla ordenada $\langle R_1, R_2, R_3 \rangle$[35], onde R_1, R_2 e R_3 são *qc* mutuamente disjuntos, com $R_1 \cup R_2 \cup R_3 \equiv A^n$, sendo que: R_1 é o *qc* de n-uplas que pertencem a R, R_2 é o *qc* de n-uplas que não pertencem a R e R_3 é o *qc* de n-uplas para os quais não se

[34] O conceito de *estrutura parcial* foi originalmente formulado em uma teoria de conjuntos. Assim como fizemos acima, adaptaremos esse conceito para a linguagem da teoria de quase-conjuntos. Seguiremos aqui as formulações apresentadas em French 2000 e Bueno, French e Ladyman 2002, com algumas adaptações.

[35] Na verdade, como veremos no próximo capítulo, $\langle R_1, R_2, R_3 \rangle$ caracteriza uma classe de relações parciais $\langle R_1', R_2', R_3' \rangle$, com $R_i \equiv R_i'$.

sabe (não está definido) se pertencem ou não a R – obviamente, se R_3 for vazio, R é uma relação n-ária normal que pode ser identificada com R_1 (French 2000).[36] Uma estrutura parcial $\mathcal{S}$ pode então ser estendida à uma estrutura total via as chamadas estruturas $\mathcal{S}$-normais, onde a estrutura $\mathcal{T} =_E \langle A', R'_i \rangle_{i \in I}$ é dita ser $\mathcal{S}$-normal se:

(i) $A \equiv A'$,

(ii) cada constante da linguagem em questão é interpretada por indistinguíveis, tanto em $\mathcal{S}$ como em $\mathcal{T}$, e

(iii) R'_i estende a relação correspondente R_i, no sentido que cada R'_i é *definida* para cada n-upla de objetos indistinguíveis desse domínio.

Outro conceito importante nessa abordagem é o de *isomorfismo parcial*. Sejam $\mathcal{S} =_E \langle A, R_i \rangle_{i \in I}$ e $\mathcal{S}' =_E \langle A', R'_i \rangle_{i \in I}$ duas estruturas parciais, onde R_i e R'_i são relações parciais como definido acima, com $R_i =_E \langle R_1, R_2, R_3 \rangle$ e $R'_i =_E \langle R'_1, R'_2, R'_3 \rangle$, então uma uma função parcial $f : A \to A'$ é um isomorfismo parcial entre $\mathcal{S}$ e $\mathcal{S}'$ se (1) f é bijetiva e (2) para todo x e y em A, R_1xy se, e somente se, $R'_1f(x)f(y)$ e R_2xy se, e somente se, $R'_2f(x)f(y)$. Neste contexto, destacamos também o caso particular em que $R_i \equiv R'_i$ – voltaremos a este ponto à frente. É claro que, se $R_3 =_E R'_3 =_E \emptyset$, então as estruturas são 'totais' e, portanto, temos o conceito usual de isomorfismo.

Como vimos no capítulo anterior, de acordo com a abordagem semântica (*model-theoretic*), uma teoria pode ser *apresentada* em termos de uma *família de modelos*.[37] Introduzindo estruturas parciais nessa abordagem, podemos capturar, de uma maneira rigorosa, a 'abertura' (*openness*) das teorias científicas para novos desenvolvimentos, onde essa 'abertura' é expressa em termos daqueles membros de R_i para os quais não se sabe se eles pertencem ao domínio ou não. Além disso, as estruturas parciais permitem uma descrição unitária dos vários tipos de modelos usados em ciência – por exemplo, 'icônico', 'analogia', teórico etc. Segundo French, a análise dos modelos icônicos feita por Mary Hesse em analogias 'positivas', 'negativas' e 'neutras', adequa-se muito bem dentro das

[36] Intuitivamente, por um lado, tais relações podem representar a 'parcialidade' ou 'incompletude' da nossa informação sobre as relações atuais entre os elementos de A, do lado do nível empírico; do outro lado, a maneira que podemos representar o fenômeno de nossos modelos teóricos (*ibid.*; Bueno *et al.*, *op. cit.*

[37] Ver, por exemplo, van Fraassen 1980, p. 64

R_1, R_2 e R_3 da representação das estruturas parciais, por exemplo (*ibid.*; Bueno *et al. op. cit.*; da Costa e French *op. cit.*, cap. 3).

Analogias entre, digamos, um gás 'clássico' e uma reunião de bolas de bilhar, repousam sobre uma correspondência entre estruturas formais que não pode ser aquela de 'identidade' ou isomorfismo, classicamente entendidas. Mais especificamente, relações intra-modelos deveriam ser representadas em termos de uma correspondência entre subfamílias de famílias relevantes de relações. Assim, considerando essas famílias como um todo, a relação entre estruturas é mais acuradamente caracterizada em termos de isomorfismos parciais. Desse modo, dois modelos, por exemplo, podem ser relacionados não por inclusão, mas por essa, um pouco mais fraca, noção de isomorfismo parcial, que captura a idéia de que eles podem compartilhar *partes* de sua estrutura (*ibid.*).

Por exemplo, a hierarquia de modelos de Suppes (Suppes 1962) − modelos de dados, de instrumentação, de experimento − comentada brevemente no capítulo anterior, que vai do nível fenomênico ao teórico, pode ser representada em termos de estruturas parciais da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
\mathcal{S}_n &=_E \langle A_n, R_{ni}, f_{nj} \rangle_{i \in I, j \in J} \\
\mathcal{S}_{n-1} &=_E \langle A_{n-1}, R_{n-1i}, f_{n-1j} \rangle_{i \in I, j \in J} \\
&\dots \\
\mathcal{S}_3 &=_E \langle A_3, R_{3i}, f_{3j} \rangle_{i \in I, j \in J} \\
\mathcal{S}_2 &=_E \langle A_2, R_{2i}, f_{2j} \rangle_{i \in I, j \in J} \\
\mathcal{S}_1 &=_E \langle A_1, R_{1i}, f_{1j} \rangle_{i \in I, j \in J}
\end{aligned}$$

onde cada R_{li} é uma relação parcial da forma $\langle R_{l1}, R_{l2}, R_{l3} \rangle$ − com R_{l1} representando aquelas n-uplas que pertencem a R_{li}; R_{l2} aquelas que não pertencem e R_{l3} aquelas para as quais não está definido se pertencem ou não − assim, para cada l, $1 \leq_E l \leq_E n$, temos que $qcar(R_{l3}) > qcar(R_{(l+1)3})$ (Bueno *et al. op. cit.*). As relações parciais são então estendidas na medida em que 'sobem' na hierarquia, no sentido que para cada nível, as relações parciais que que não estavam definidas no nível anterior tornam-se definidas no nível 'acima', com seus elementos pertencendo ou a R_1 ou a R_2 (*ibid*). Isso nos permitiria, segundo Bueno *et al.*, responder a certas críticas à abordagem semântica que têm se concentrado na função do isomorfismo no chamado nível 'vertical' das teorias, como acontece no contexto das relações entre modelos e dados, bem como acomodar as inter-relações entre estruturas matemáticas e físicas no chamado nível 'horizontal' (*ibid.*).[38]

French também afirma que esse suporte (*framework*) das estruturas parciais permitira capturar (i) as inter-relações 'horizontais' entre teorias, provendo, assim, um suporte conveniente pra o entendimento da construção e mudança das teorias científicas; e também (ii) as relações 'verticais' entre estruturas teóricas e modelos de dados, acomodando, em particular, a função das idealizações (French *op. cit.*). Todavia, a situação torna-se um pouco diferente quando consideramos as inter-relações entre uma teoria matemática e uma científica (ou seja, das ciências empíricas). Se a relação entre a matemática e a física é representada em termos de uma *imersão* (*embedding*) da teoria científica dentro da estrutura matemática, isso dá à teoria acesso à estrutura matemática 'excedente' (*surplus*), o que pode representar uma função essencial no desenvolvimento futuro da teoria. Bueno tem sugerido que essa noção de estrutura 'excedente' pode ser capturada se, do lado matemático, introduzirmos uma *família* de estruturas. A questão, então, é como representar as relações entre os membros de uma tal família e a família em si mesma, e uma teoria científica. Segundo French, quanto ao último, o que é importante é a 'importação' das estruturas relevantes da família, e isso pode ser representado através de um *homomorfismo parcial*.

Sejam $\mathcal{S} =_E \langle A, R_i\rangle_{i\in I}$ e $\mathcal{S}' =_E \langle A', R'_i\rangle_{i\in I}$ estruturas parciais. Sendo que cada R_i é da forma $\langle R_1, R_2, R_3\rangle$, e cada R'_i é da forma $\langle R'_1, R'_2, R'_3\rangle$. Dizemos que $f : A \to A'$ é um homomorfismo parcial de S em S' se, para cada x e y pertencentes a A, temos: (i) $R_1xy \to R'_1f(x)f(y)$ e $(ii)R_2xy \to R'_2f(x)f(y)$. É também possível introduzir *funções* $-$ ou quase-funções $-$ *parciais* nas estruturas parciais consideradas, isto é, funções que não estão necessariamente definidas para cada valor de seus argumentos. Assim, se $\mathcal{S} =_E \langle A, g, R_i\rangle_{i\in I}$ e $\mathcal{S}' =_E \langle A', g', R'_i\rangle_{i\in I}$ são estruturas parciais, onde g e g' são funções parciais (sendo $g : A \times A \to A$ e $g' : A' \times A' \to A'$), dizemos que que $f : A \to A'$ é uma homomorfismo parcial de S em S' se, não apenas (i) e (ii), para cada x e y em A, mas também (iii) $f(g(x, y)) =_E g'(f(x), f(y))$, para cada x e y pertencentes a A onde g é

[38]Outros nomes que vêm sendo usados para representar esses níveis são '*bottom level* e '*top level*' (por exemplo, Bueno *et al.*, *op. cit.*); e '*downward*' e '*upward*' (por exemplo, Votsis 2004), respectivamente.

definida (Bueno *et al.*, *op. cit.*).

Como observa French, há ainda dois pontos importantes a serem considerados. Primeiro, geralmente acontece de a teoria matemática sob consideração estar aberta a desenvolvimentos futuros, assim como as teorias científicas. Nesse caso, a representação apropriada da matemática seria também via estruturas parciais. Em segundo lugar, a 'completa' noção de homomorfismo não seria adequada nesse contexto devido as idealizações que estão fundamentalmente envolvidas na aplicação da matemática à ciência (French *op. cit.*). Todavia, recentemente Bueno *et al.* têm sugerido que apenas os componentes *relevantes* da estrutura são tipicamente importados do reino matemático ao científico, esses componentes sendo representados por R_1 e R_2 acima. Vamos tentar entender um pouco melhor esse ponto.

Como é bem conhecido, o empirismo construtivo afirma, *grosso modo*, que o objetivo da ciência é a busca por teorias *empiricamente adequadas*.[39] No entanto, como se sabe, ambos, realistas e anti-realistas, concordam que as teorias científicas deveriam ser empiricamente adequadas[40], e essa adequação tem sido famosamente caracterizada por van Fraassen em termos de isomorfismo: para ser empiricamente adequada, uma teoria científica deve ter pelo menos um modelo tal que todas as *aparências* – as estruturas descritas nos relatórios experimentais – são *isomorfas* às subestruturas empíricas desse modelo – ou seja, às estruturas teóricas que representam o fenômeno observável (*ibid.*; Bueno *et al.*, *op. cit.*). Essa noção vem sendo criticada, todavia, tanto por ser restritiva demais, como por ser abrangente em demasia. Ela seria abrangente demais porque, dadas duas estruturas com a mesma cardinalidade, existirá isomorfismo entre elas (ou, diríamos melhor, *poderá* existir isomorfismo entre elas).[41] A saída então seria rejeitar aquelas estruturas que não são, em certo sentido, interessantes. Por outro lado, essa descrição seria restritiva demais, pois teria havido casos na história da ciência onde teorias científicas foram consideradas empiricamente adequadas, não obstante não ter existido nenhum isomorfismo entre as aparências e as subestruturas empíricas dessas teorias (Bueno *et al.*,

[39] van Fraassen *ibid.*; para uma defesa do empirismo construtivo, ver Bueno 1999.

[40] O que eles discordam, na verdade, é que essa adequação empírica deva ser o *objetivo* da ciência. Isto é, o realista científico (tradicional), *grosso modo*, afirmará que a verdade – ou a verdade aproximada – é que é o objetivo da ciência, dando assim um 'passo além' do empirista.

[41] Note o leitor que isso nada mais é do que uma versão da nossa velha conhecida 'objeção de Newman', ver subseção 1.3.2.

op. cit.).

No caso do primeiro problema, o uso de isomorfismos parciais, ao invés do isomorfismo 'padrão', vem sendo apontado como sendo mais adequado para lidar com as relações entre as aparências e as estruturas teóricas, o que iluminaria as considerações heurísticas no nível da busca por teorias (*theory pursuit*), 'resolvendo' o problema da abrangência (*ibid.*). Como apontaram os autores mencionados acima, em poucas palavras, a idéia seria de que alguns isomorfismos 'desinteressantes' poderiam ser rejeitados sob o argumento de que eles não representariam apropriadamente as relações entre os componentes R_1 e R_2 das relações parciais encontradas nas aparências e sua 'contraparte' teórica. Eles mapeariam 'inapropriadamente' as relações das primeiras dentro das segundas. Essa noção crucial de 'inapropriação' seria essencialmente *pragmática* – dependendo de certos objetivos e expectativas. Assim, além de requisitos puramente formais para o isomorfismo entre aparências e as subestruturas empíricas, considerações pragmáticas determinariam quais deles seriam interessantes ou apropriados. Desse modo, embora possa haver isomorfismos entre as duas estruturas, nem todos eles serão interessantes ou apropriados (*ibid.*).[42]

No que diz respeito à segunda questão, uma noção de adequação empírica mais 'estrita', baseada também em isomorfismos parciais – permitindo, assim, um 'ajuste' da descrição empírica com os registros da prática científica –, foi primeiramente proposta por Bueno (por exemplo, Bueno 1999, parte II). Todavia, mais recentemente, Bueno *et al.* assumiram que o uso de isomorfismo para caracterizar a noção de adequação empírica é *inapropriado*. Isso porque foi argumentado que a cardinalidade dos domínios das subestruturas empíricas e o dos modelos de fenômenos geralmente não é a mesma – sendo esses domínios geralmente finitos. Para que possa haver isomorfismo entre estruturas, entretanto, é necessário que a cardinalidade – ou a quase-cardinalidade, se estivermos trabalhando dentro da teoria de quase-conjuntos – do domínio das estruturas envolvidas seja a *mesma*. Este argumento, chamado pelos autores de 'objeção da cardinalidade', tornaria a noção de adequação empírica, formulada em termos de isomorfismo, inaceitável (*ibid.*). A saída então seria, como comentado anteriormente, a de se adotar uma noção de

[42]Segundo French, a abordagem dos isomorfismos parciais juntamente com a noção de analogia de Hesse, comentada acima, nos permitiria delinear as espécies de considerações que são tipicamente feitas na rejeição dos isomorfismos 'desinteressantes' e 'impraticáveis'.

homomorfismo parcial – ao invés de isomorfismo parcial –, juntamente com a de uma hierarquia de modelos, para representar adequadamente as relações entre as aparências e as subestruturas empíricas de um modelo da teoria científica. Da mesma forma, poderíamos representar as inter-relações entre os membros de uma família de estruturas matemáticas e a família em si mesma, e uma teoria científica. A 'objeção da cardinalidade', portanto, seria aparentemente superada, haja visto que a noção de homomorfismo não requer eqüicardinalidade dos domínios das estruturas. Os autores acreditam que, em termos deste suporte, podemos acomodar a hierarquia de estruturas na ciência, do 'alto' nível da matemática, para o chamado nível fenomenológico (*ibid.*).

3.2.3 Quase-verdade em $\mathcal{Q}$

Procurando responder à perguntas tais como: 'a ciência fornece-nos uma descrição *verdadeira* do mundo?' ou, como foi sustentado por alguns realistas científicos, 'a ciência fornece-nos uma descrição *aproximadamente* verdadeira do mundo?', Newton da Costa e colaboradores vêm, a partir da segunda metade dos anos 1980, propondo um amplo programa, baseado na noção de estruturas parciais, onde o conceito mais apropriado para responder às perguntas acima é o de *quase-verdade* ou *verdade parcial.* Dentro desse programa, a ciência pode ser melhor compreendida em termos da busca por teorias quase-verdadeiras; teorias que, no máximo, descrevem parcialmente os fenômenos para os quais está voltada, mas não capturam, em cada detalhe, todos seus traços. A noção de quase-verdade – ou verdade pragmática, como é às vezes chamada – é de fato uma generalização, via estruturas parciais, da noção de 'verdade em uma estrutura' de Alfred Tarski, portanto surgiu de um programa em fundamentos da lógica e da matemática, mas que foi – e vem sendo – estendido aos fundamentos da física e à filosofia da ciência em geral (da Costa e French *op. cit.*, cap. 1; Bueno 2000).

Lembramos que, como foi comentado no início do capítulo, teorias de conjuntos usuais – onde geralmente a teoria de quase-verdade é formulada – aparentemente lidam com indivíduos que têm condições de identidade bem definidas. Todavia, são exatamente essas condições de identidade que as partículas elementares, na mecânica quântica, parecem não possuir. Isso motivou o desenvolvimento de uma teoria de quase-conjuntos, como vimos acima, onde o conceito de identidade é enfraquecido, e introduz-se um de *indistinguibilidade*, adequado para tratarmos de partículas indistinguíveis. Originalmente, a teoria de quase-verdade foi desenvolvida na teoria de conjuntos ZF. Seguindo o desenvolvimento deste capítulo, dentro da nossa proposta, apresentaremos a seguir uma versão dessa teoria, proposta por Bueno (2000), desenvolvida na teoria de quase-conjuntos.

Tal como vimos anteriormente, existe uma 'cópia' de ZFU na teoria $\mathcal{Q}$. Assim sendo, o conceito usual de quase-verdade, definido em ZF $-$ ou ZFU $-$, pode ser naturalmente incorporado à $\mathcal{Q}$ (*ibid.*). No entanto, se estivermos na 'parte não clássica' da teoria de quase-conjuntos, ou seja, na parte onde estão envolvidos m-átomos, faz-se importante definir a quase-verdade para tais objetos. Seguindo Bueno (*op. cit.*), podemos prosseguir com a definição de quase-verdade na teoria de quase-conjuntos do seguinte modo.[43] Devemos começar, segundo ele, com a noção de quase-modelo, que é a contraparte metalingüistica da noção de relação parcial. É claro que, quando estamos lidando com m-átomos, restringimo-nos a quase-conjuntos. Um quase-modelo é então um par ordenado $\langle D, I\rangle$, onde D é um quase-conjunto não vazio, e I é uma quase-função tal que: (1) para cada constante c da linguagem, $I(c) \in D$; e (2) para cada símbolo de predicado $F_i^n, I(F_i^n) =_E \langle I_T(F_i^n), I_F(F_i^n), I_U(F_i^n)\rangle$, onde $(i) I_T(F_i^n), I_F(F_i^n), I_U(F_i^n) \subseteq D^n$ são pares disjuntos[44]; e (ii) $I_T(F_i^n) \cup I_F(F_i^n) \cup I_U(F_i^n) =_E D^n$, sendo D^n o quase-conjunto de n-uplas de objetos em D. Assim, podemos dizer, intuitivamente, que I_U corresponde àquelas n-uplas para às quais não sabemos se estão ou não na relação, I_T corresponde àquelas que estão e, por fim, I_F àquelas que não estão.

Segundo Bueno, na descrição tarskiana padrão, a noção de quase-verdade não é definida de maneira direta, podendo ser definida através da noção de *satisfação*. No presente caso, Bueno introduz uma noção de *quase-satisfação*. Seja s uma quase-função tal que, para cada variável individual v_i, existe um elemento d de D tal que $s(v_i) \equiv d$, e, para cada constante c, $s(c) \equiv I(c)$. Dizemos que essa quase-função é uma quase-seqüência em $\langle D, I\rangle$. Assim, usamos a notação $s \approx_v s'$ para expressar que as quase-seqüências s e s' estão de acordo com todas as variáveis, talvez exceto v_j, isto é, para

[43]Segundo Bueno, trata-se de uma adaptação de uma versão 'alternativa' de quase-verdade apresentada em Bueno e de Souza 1996.

[44]Onde 'T', 'F' e 'U' significam *truth*, *false* e *uncertain*, respectivamente.

todo $i \neq_E j, s(v_i) \equiv s'(v_i)$. A relação s quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$ é definida indutivamente da seguinte maneira: (1) s quase-satisfaz $F_i^n t_1 \ldots t_n$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, $\langle s(t_1), \ldots, s(t_n)\rangle \in I_T(F_i^n) \cup I_U(F_i^n)$; (2) s quase-satisfaz $\neg A$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, s quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$; (3) s quase-satisfaz $A \vee B$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, s quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$ ou s quase-satisfaz B em $\langle D, I\rangle$; (4) s quase-satisfaz $A \wedge B$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, s quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$ e s quase-satisfaz B em $\langle D, I\rangle$; (5) s quase-satisfaz $A \to B$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, s não quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$ ou s quase-satisfaz B em $\langle D, I\rangle$; (6) s quase-satisfaz $\exists v A$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, para algum s', $s \approx_v s'$, e s' quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$; (7) s quase-satisfaz $\forall v A$ em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, para todo s', $s \approx_v s'$, e s' quase-satisfaz A em $\langle D, I\rangle$ (Bueno *op. cit.*).

Como observa Bueno, o principal ponto a ser enfatizado nesta definição é a condição (1), onde os componentes de I_U do quase-modelo figuram. Temos, assim, uma definição de quase-satisfação, pois estamos falando explicitamente daquelas relações − encontradas nos componentes de I_U − cujo '*status* epistemológico' ainda desconhecemos. Dependendo de como essas relações são depois tratadas − com o crescimento de nosso conhecimento sobre o domínio em questão, eles tornam-se membros ou I_T ou de I_F −, nossas afirmações de quase-satisfação podem mudar. Por exemplo, se essas relações tornam-se agora elementos de I_F, uma seqüência que uma vez quase-satisfez uma fórmula $F_i^n t_1 \ldots t_n$ não mais a quase-satisfará. Tendo sido feitas tais observações, podemos agora apresentar a definição de quase-verdade na teoria de quase-conjuntos − segundo esta interpretação − da seguinte maneira:

Definição 1.2.2 [Quase-verdade na teoria de quase-conjuntos] Uma fórmula A é quase-verdadeira em $\langle D, I\rangle$ se, e somente se, A é quase-satisfeita em $\langle D, I\rangle$ por todas as quase-seqüências em $\langle D, I\rangle$.

Vimos, no início do capítulo, que outra maneira de se definir estrutura é através da lógica de ordem superior (teorias de tipos). Interessados na questão da indistinguibilidade − e da não-individualidade −, optamos por definir estrutura matemática na teoria de quase-conjuntos. Todavia, essa questão também recebeu tratamento formal, através de linguagens de ordem superior (teorias de tipos), nas chamadas *Lógicas de Schrödinger* (da Costa e Krause 1997). Nessas lógicas, assim como na teoria de quase-conjuntos, a identidade não se aplica a todos os objetos, desse modo, são formulados dois conceitos: o de indistinguibilidade absoluta e o de indistinguibilidade relativa. O primeiro é definido em termos da Lei de Leibniz[45], mas com a substituição do símbolo de identidade '=' pelo de indistinguibilidade '≡'. Com essa definição, não há como estabelecer uma distinção *sintática* entre a indistinguibilidade absoluta e a identidade da Lei de Leibniz, tal distinção tem que ser necessariamente *semântica*, e pode ser feita em uma teoria de quase-conjuntos (*ibid.*; Krause *op. cit.*).[46] A indistinguibilidade relativa, por outro lado, permite que dois objetos sejam indistinguíveis relativamente a uma certa coleção de predicados, podendo-se entender tal coleção como designando as propriedades intrínsecas de uma entidade. Desse modo, as Lógicas de Schrödinger permitem o desenvolvimento de matemáticas onde a indistinguibilidade não seja excluída por definição, tal como faz a Lei de Leibniz na matemática clássica (*ibid.*).

Tendo essas 'ferramentas' em mãos, veremos a seguir de que maneira elas podem nos auxiliar em uma 'defesa' do realismo estrutural ontológico.

[45]A chamada 'Lei de Leibniz' é a junção do Princípio de Identidade dos Indiscerníveis, visto acima, com o seu inverso, o Princípio de Indiscernibilidade dos Idênticos, e pode ser representada da seguinte maneira: $\forall P(P(x) \leftrightarrow P(y)) \leftrightarrow x = y$. Este princípio, segundo Krause, reflete a caracterização do conceito de identidade utilizada na matemática padrão (Krause 1999)

[46]Por isso optamos por trabalhar nessa teoria. Ou seja, desde de que vem sendo defendido (Ladyman 1998; French e Ladyman 2003, 2003a; French e Saatsi 2004) que a abordagem semântica suporta melhor o realismo estrutural do que a abordagem sintática, seguimos com a opção conjuntista ou, melhor dizendo, quase-conjuntista.

Capítulo 4

A ‘estrutura’ da Natureza

Como vimos na primeira parte da dissertação, o realismo estrutural epistemológico apóia-se sobre uma distinção entre estrutura e conteúdo/natureza. Sobre esta distinção, afirma ele que podemos conhecer apenas a *estrutura* do mundo, e nada da ‘natureza’ ou do ‘conteúdo’ da estrutura; ou seja, podemos conhecer apenas as *relações* entre os objetos físicos, mas não os ‘próprios’ objetos, as ‘coisas em si mesmas’. Diferentemente dessa abordagem, o realismo estrutural ontológico afirma que não há esse ‘conteúdo’ da estrutura, com isso querendo dizer que esses objetos físicos também dever ser entendidos *estruturalmente*. Todavia, o que seria, deveras, esse ‘conteúdo’ da estrutura? O que seriam os objetos físicos? Neste último capítulo, veremos brevemente algumas considerações acerca do objeto físico, baseados principalmente em G. Toraldo di Francia (1978). Essas considerações irão culminar em uma teoria dos objetos físicos proposta por esse autor, tal teoria os entenderá como *objetos nomológicos*. Um breve comentário sobre uma interessante questão filosófica que tem sido levantada recentemente, qual seja, a da subdeterminação da metafísica pela física, também será abordada. Na segunda seção, apresentaremos uma proposta de ‘reformulação’ do realismo estrutural ontológico.

4.1 O ‘conteúdo’ da estrutura

Parece razoável sustentarmos que uma teoria (filosófica) que pretenda dizer o que um objeto físico seja, deva, impreterivelmente, voltar-se para uma teoria física da matéria. Assim sendo, Toraldo di Francia, em seu artigo, apresenta brevemente uma ‘evolução’ do conceito de objeto físico em ciência, considerando desde Galileu até a física quântica, e mostrando como o conceito de objeto físico sofreu uma 'revolução', da física clássica para a física moderna.

4.1.1 Algumas observações sobre a natureza do objeto físico

Dizer o que seja exatamente um objeto físico é tarefa de extrema dificuldade, pelo menos do ponto de vista filosófico. Parece certo, todavia, que qualquer tentativa de resposta filosófica deve voltar-se para a ciência, e se estamos pensando em termos reducionistas, devemos considerar o que a física, em especial, nos tem a dizer. Obviamente não empreenderemos aqui tal tarefa. No entanto, mesmo não dizendo o que um objeto físico seja exatamente – talvez não seja possível dar uma definição não-ambígua –, nada nos proíbe de tecermos algumas breves observações sobre o que foi apontado, ao longo dos anos, como sendo a natureza dos objetos. Sendo assim, no que segue, vamos acompanhar as considerações feitas por Toraldo di Francia a essa questão.

Segundo Toraldo di Francia, o mundo físico é freqüentemente referido com o termo 'coisas'. Os termos 'mundo exterior', 'natureza', 'matéria', 'realidade' etc. pertenceriam a uma linguagem filosófica elaborada. Crianças, pessoas incultas e mesmo muitos estudiosos da antiguidade, desconheceriam tais termos, como afirma Toraldo di Francia. Coisas aparentemente são bem determinadas, auto-suficientes e *unitárias*, existindo e tendo individualidade, independentemente de qualquer observador (Toraldo di Francia 1978). Coisas foram consideradas em certo momento como *sujeitos*, cuja unidade seria garantida pela sua própria natureza; seriam como pessoas, e sua existência *individual* não mereceria uma análise mais profunda. Com o passar dos anos, segundo Toraldo di Francia, a noção de individualidade de uma coisa deixou de ser associada a sujeitos e passou a ser associada a *objetos*, acarretando que sua unidade individual teria uma origem diferente das pessoas (*ibid.*). A noção de individualidade *intrínseca* das coisas torna-se hoje em dia vacilante, pois podemos fracionar coisas cujas partes são coisas que, por sua vez, podem ser fracionadas, e assim por diante. E a todas essas partes podemos denominar coisas, ou seja, tudo depende do que queremos chamar de coisa.

Segundo Toraldo di Francia, embora essas considerações tenham sido analisadas pelos estudiosos da antiguidade, foi somente na Idade Média que a palavra '*objectum*' surgiu, motivada pelo interesse crescente na distinção entre sujeito e objeto. A partir dessa época, as pessoas passaram então a se referir a objetos e, em particular, a *objetos físicos* (*ibid.*). Na medida em que foi reconhecido que não é o mundo em si mesmo que é feito de objetos, mas que *nós* dividimos o mundo em objetos, surgiu a questão de como essa divisão poderia ser realizada. Assim, segundo Toraldo di Francia, quando falamos, falamos de objetos; nossa linguagem e nossos pensamentos podem proceder somente quando dominamos o conceito de objeto. Todavia, aparentemente, toda definição de objeto resulta ser *circular*, ou seja, objetos seriam definidos em termos de coisas; e coisas seriam definidas em termos de objetos. A essa peculiar atividade da mente que decompõe o mundo em objetos, Toraldo di Francia denomina *objectuação* (*objectuation*), e ela seria *primitiva* e *não-analisável*; qualquer tentativa de explicá-la seria inútil, a menos que estejamos preparados para admitir uma grande quantidade de circularidade (*ibid.*).

Para Toraldo di Francia, a objectuação está estritamente conectada com, ou consiste de, uma habilidade da mente em distinguir *este* e *outro*. *Este* tem uma unidade intrínseca e *outro* tem uma unidade intrínseca que nega *este*. Assim, outro é simplesmente *não-este*. A objectuação também estaria estritamente conectada com a noção elementar de *número ordinal* e com a atividade de *contar*. *Um* é o termo usado para o ato inicial e fundamental do ato de objectuação, quando chegamos ao *dois*, reconhecemos a existência do *não-um*; quando chegamos ao *três*, reconhecemos a existência do *não-um-nem-dois*, e assim por diante. Esta seria, segundo o pensador italiano, apenas uma descrição, restando definir o que um número é. Todavia, a objectuação viria antes da definição de número; mesmo em uma axiomatização como a de Peano, por exemplo, dever-se-ia primeiro ser capaz de distinguir *diferentes* símbolos e *diferentes* objetos (*ibid.*).

Se nos voltarmos para a física, segundo Toraldo di Francia, também encontramos sérias dificuldades em definir um objeto físico. Considerando-se a mecânica clássica, poderíamos entender o objeto físico como uma partícula (clássica) e procedermos assim. Poderíamos considerar a seqüência de aspectos que consistem em medir a posição e o momento da partícula, assim como seu campo potencial, em diferentes tempos. Esses aspectos têm em comum o invariante x_1, que representa a posição da partícula no tempo $t = 0$, eles poderiam então pertencer a uma classe de equivalência ω_i fora do conjunto completo de todos os aspectos possíveis. Assim, podemos tomar ω_i como a definição de objeto. Um objeto macroscópico pode então ser definido como uma certa coleção de suas partículas.[1]

Na mecânica clássica, uma partícula tem uma bem determinada linha de mundo que nunca encontra outra linha de mundo, e um objeto macroscópico tem um tubo de mundo. Todavia, argumenta Toraldo di Francia, se considerarmos corpos microscópicos a situação torna-se mais delicada. Cada medida perturba as partículas; além disso, quando duas partículas idênticas (indistinguíveis) se encontram, não há como saber qual é qual (*ibid.*). Nesse campo, físicos começaram a depender cada vez mais de entidades abstratas, como simetrias e invariantes, ao invés de objetos do senso comum. Toraldo di Francia conclui, portanto, que a definição de objeto físico não pode ser feita de maneira formal e precisa. Nossa tentativa de representar a noção de objeto físico falha, pois ela vale somente na mecânica clássica, que sabemos não ser absolutamente válida. Hoje, a declaração 'há objetos físicos' seria melhor substituída por 'há invariantes no mundo físico'. O máximo que podemos fazer, portanto, segundo Toraldo di Francia, é darmos uma descrição *histórica* e *convencional* do conceito de objeto físico (*ibid.*). A seguir, vejamos brevemente como esse conceito foi considerado na ciência ao longo dos anos.

4.1.2 Breve descrição da evolução do conceito de objeto físico

Segundo Toraldo di Francia, no começo da evolução científica, os cientistas pensavam quase que exclusivamente em termos dos objetos físicos e seus comportamentos. Galileu falou de 'corpos' ou 'coisas', corpos eram a ferramenta da física, e a tarefa dos físicos era descobrir seus comportamentos. Galileu falou de bolas, gotas d'água, moscas, e assim por diante; uma de suas grandes realizações foi ter convertido o céu em um conjunto de corpos, corpos que tinham a mesma natureza desses encontrados na terra. A transformação do conceito de corpo físico teria dado início com E. Torricelli, que converteu o *ar* em um corpo físico, mas mostrou, juntamente com B. Pascal, que a maquinaria experimental e

[1] Mas se o objeto físico − que aparentemente deveria ser algo *concreto*, que se encontra no espaço e no tempo − fosse definido como uma classe de equivalência, então ele seria uma entidade *abstrata* e, portanto, não se encontraria no espaço nem no tempo! Mais uma vez agradecemos ao Professor Otávio Bueno pela observação.

conceitual necessária para estudar esse corpo era substancialmente nova.

Com o desenvolvimento da mecânica do contínuo, no início do século XIX, nasceu o conceito de *campo*, devido principalmente a Faraday e Maxwell. A partir desse conceito, os físicos viram que pouca ou nenhuma importância deveria ser dada a que *corpos* o observador era capaz de distinguir em uma dada região do espaço (*ibid.*). O que importava, segundo Toraldo di Francia, era a *distribuição* da densidade, tensão, esforço, carga, intensidade de campo etc., definidas como funções de ponto na região de interesse. Desse modo, os objetos da física tornam-se regiões do espaço, cujas condições iniciais e limítrofes são designadas.

Assim, afirma Toraldo di Francia, a tarefa *experimental* do observador era determinar essas condições o mais precisamente possível, enquanto que sua tarefa *teórica* era inferir desse conhecimento como as distribuições evoluiriam em tempos subseqüentes. Toraldo di Francia acredita que a principal razão para esse desenvolvimento é que os corpos físicos eram reconhecidos como *contingentes*. Ou seja, suas formas, massas, cargas etc. poderiam ser prescritas 'à vontade'. Por exemplo, a segunda lei da dinâmica estabeleceu $f = ma$, mas nenhuma lei prescreveu o valor de m. Objetos não eram, portanto, como *leis* ou *nomológicos* − isto é, *dados* por leis físicas −; sua configuração individual não tinha nada que ver com leis. Poderia-se imaginar ou construir qualquer objeto de qualquer massa, forma, carga, etc., sem violar *nenhuma* lei da física (*ibid.*). No entanto, afirma Toraldo de Francia, uma grande revolução ocorreu na virada do século XIX para o XX, originando um 'novo' tipo de objeto, do qual falaremos agora.

4.1.3 Objetos nomológicos e os 'pacotes' de propriedades

Toraldo di Francia acredita que um fato interessante ocorreu no final do século XIX e início do século passado. Segundo ele, os historiadores talvez tenham sido ofuscados pelo *glamour* da teoria da relatividade e da mecânica quântica e foram levados a descrever essas teorias como *as* revoluções do início do século XX. Entretanto, para o pensador italiano, um desenvolvimento muito mais importante ocorreu na virada do século, um desenvolvimento que, acredita ele, os historiadores ainda darão a devida importância, trata-se da descoberta dos *objetos nomológicos*, ou seja, objetos *dados* por leis físicas.

Objetos nomológicos teriam massas, cargas, momentos angulares (*spin*) etc. *bem determinados*. Alguns deles, como fótons e neutrinos, teriam até uma velocidade bem determinada. Objetos nomológicos seriam, portanto, 'prescritos' por leis físicas; ou, talvez, cada uma de suas classes representaria uma lei física. Assim, por exemplo, alguém pode formular a lei em que a massa $m = 9,1 \times 10^{-23}g$ deve sempre ser acompanhada por uma carga elétrica $e = \pm 4,8 \times 10^{-10}e.s.u.$, por um *spin* $\hbar/2$, e assim por diante (*ibid.*). Com essa concepção de lei física, Toraldo di Francia reconhece que todos os objetos físicos seriam mais ou menos nomológicos. A diferença com o caso da mecânica quântica seria a de que o objeto estaria 'submetido' a uma *espécie* (*kind*), no sentido de que um elétron, por exemplo, é definido ser aquela espécie de coisa que tem uma massa de $9,1 \times 10^{-23}g$, uma carga elétrica $\pm 4,8 \times 10^{-10}e.s.u.$ etc., e qualquer coisa que tenha essa coleção – que seria bem definida – de propriedades *deve* ser um elétron. A conjunção dessas propriedades (e eventualmente outras) daria a *intensão* do conceito 'elétron'. Deste ponto de vista, portanto, todos os elétrons são indistinguíveis, já que partilham das mesmas propriedades 'essenciais'. Isso seria assim porque, segundo a teoria (mecânica quântica), basta conhecer-se os valores de algumas previamente descritas 'variáveis dinâmicas' para se conhecer o estado do sistema analisado; os valores de tais variáveis 'nos dão tudo o que precisamos saber' sobre o sistema físico em questão (Krause 1999). A diferença entre esse tipo de entidade e os objetos macroscópicos pode ser ilustrada da seguinte maneira: uma pessoa que emagrece continua sendo ainda 'a mesma pessoa', só que mais magra.[2] Por outro lado, se um físico observa uma partícula com as propriedades do elétron descritas acima, exceto que sua massa é $1,9 \times 10^{-25}g$ ao invés da massa indicada anteriormente, ele não dirá que ainda tem um elétron que 'ganhou massa', mas que se trata de *outra* partícula, ou seja, um *múon* (*ibid.*).[3]

Sendo assim, afirma Toraldo di Francia, a *medida* parece reduzir-se à *contagem*. Porém, como vimos anteriormente, a contagem de partículas elementares é problemática

[2]Esta é uma questão clássica nas teorias filosóficas da identidade, e está relacionada à questão da identidade transtemporal. Sobre teorias da identidade, ver French e Krause 2006, cap. 1.

[3]Segundo Toraldo di Francia, uma interessante característica dos objetos nomológicos é a de usarmos as leis da física para imaginar e construir *novas classes* de objetos, muito antes mesmo de descobrirmos sua real existência. Como exemplos, teríamos as anti-partículas, os neutrinos, estrelas de nêutrons, buracos negros etc.. Segundo Toraldo di Francia, Bertrand Russell (1914) teria apontado na direção correta; *de certo modo*, objetos físicos são hoje *grupos (knots) de propriedades*, prescritos por leis físicas (Toraldo di Francia *op. cit.*).

– pois não podemos ordená-las –; o máximo que podemos obter de um sistema de partículas idênticas (indistinguíveis) é a sua *cardinalidade*. Isso, todavia, trás problemas do ponto de vista lógico, e uma possível solução, como visto, seria adotarmos a teoria de quase-conjuntos.[4]

Como observam French e Krause, a teoria dos objetos nomológicos está implicitamente apoiada em uma visão metafísica que considera os objetos físicos como coleções ou 'pacotes' de propriedades. Segundo esses autores, há duas maneiras usuais de se caracterizar a individualidade de uma entidade: apelando para algum conjunto ou subconjunto de propriedades da entidade – de acordo com as chamadas *blundle theories* –; ou apelando para algo *além* dessas propriedades – conhecido como *individualidade transcendental*. 'Princípios' de individualidade que envolvem conjuntos, 'pacotes' ou feixes (*bundles*) de propriedades ou atributos devem enfrentar o problema da instanciabilidade múltipla que pode ser expresso com a questão: o que é que garante que alguma outra entidade não possa possuir o *mesmo* conjunto ou subconjunto de propriedades? A falta de uma tal garantia seria desastrosa para essa abordagem (French e Krause *op. cit.*, cap. 1). Assim, uma saída seria invocar algum conjunto ou subconjunto de propriedades juntamente com um princípio que assegure que nenhuma outra entidade possa possuir esse mesmo conjunto ou subconjunto. Alguém poderia então incluir a propriedade espaço-temporal e invocar algum princípio de impenetrabilidade, ou seja, duas entidades não podem ocupar a mesma localização espacial no mesmo instante de tempo. Segundo French e Krause, esta é a resposta mais comum não só na filosofia, mas também na física (clássica). De um modo mais geral, a garantia vem sendo procurada através do Princípio de Identidade dos Indiscerníveis (PII) (*ibid.*).

Como vimos no capítulo prévio, esse princípio garante que dois, ou mais, indivíduos não podem ter as mesmas propriedades em comum. A questão que surge, então, é a de quais propriedades devem entrar no escopo desse princípio. Se os objetos aos quais o princípio se aplica são descritos pela mecânica clássica, e assumindo-se algum princípio de impenetrabilidade, então o princípio aparentemente pode ser sustentado. Por outro

[4] A alternativa que Toraldo di Francia propõe é adotar uma teoria de conjuntos *fuzzy* ou uma semântica intensional apropriada para tais objetos. Posteriormente, Toraldo di Francia e M. L. Dalla Chiara desenvolveram uma teoria de *qua-conjuntos* (*quaset*); para uma descrição dessa teoria e referências adequadas, ver French e Krause *op. cit.*, cap. 5.

lado, se o princípio abarca entidades quânticas, foi apontado que ele é *violado*, implicando que as entidades quânticas seriam *não-indivíduos* (*ibid.*; ver também os capítulos 3 e 4 dessa obra).[5] No entanto, grande esforço também foi empregado para 'salvar' o PII, no intuito de garantir que as entidades quânticas sejam *indivíduos* de algum tipo. Do ponto de vista do formalismo da mecânica quântica, tal postura parece ser lícita (ver French e Krause *op. cit.*, cap. 4). Sendo assim, a mecânica quântica seria compatível com duas visões metafísicas distintas: uma que vê as partículas quânticas como *indivíduos* e outra que as vê como *não-indivíduos*. Surge, então, uma interessante questão filosófica.

4.1.4 A subdeterminação da metafísica pela física

Como vimos no início do capítulo 3, partículas elementares podem ser vistas como não-indivíduos, no sentido de não terem identidade. Todavia, um amplo esforço foi empregado para garantir que tais partículas são indivíduos, mas totalmente diferentes das partículas descritas pela mecânica clássica. French e Krause, após minuciosa análise dessa proposta, concluíram que de fato ela pode ser sustentada, mesmo ao custo de se perder uma certa 'naturalidade', ou seja, ao custo de uma grande carga de artifícios *ad hoc* (French e Krause *op. cit.*, cap. 4).[6] Embora não tratemos dessa questão aqui[7], vale considerarmos brevemente uma conseqüência que os autores extraem dela.

Segundo French e Krause, o formalismo da mecânica quântica é compatível com ambas as visões metafísicas, a que considera partículas elementares como indivíduos e a que as considera não-indivíduos. Isso geraria, portanto, segundo os autores, uma certa *subdeterminação* da metafísica pela física, trazendo grandes questões à filosofia da ciência. Por exemplo, a afirmação de certos filósofos 'naturalistas' de que podemos simplesmente ler nossa metafísica da física relevante, torna-se altamente suspeita (*ibid.*). Existe alguma preferência a uma dessas visões ou 'pacotes' metafísicos? Por um lado, se considerarmos as partículas elementares como indivíduos, estaremos comprometidos com uma compli-

[5] O critério que garantiria a individualidade das partículas clássicas, a saber, algum 'princípio de impenetrabilidade', seria violado na mecânica quântica, nos chamados 'estados de superposição (*entanglement*)', característicos do caráter ondulatório da matéria. Para detalhes, ver *ibid.*.

[6] Sobre a possibilidade das partículas serem indivíduos, ver também o capítulo 5 dessa obra.

[7] Isso certamente demandaria outra dissertação!

cada noção metafísica de individualidade transcendental, referida geralmente em termos de *substância* ou *primitive thisness*. A vantagem seria a de mantermos a lógica clássica e a teoria de conjuntos 'ilesas'. Por outro lado, se considerarmos tais partículas como não-indivíduos, livramo-nos da problemática noção metafísica da individualidade transcendental. No entanto, modificações serão necessárias no aparato lógico e matemático, o que foi sugerido através das chamadas 'lógicas de Schrödinger' e teoria de quase-conjuntos, como vimos anteriormente.

Resumindo, a escolha por um dos 'pacotes' metafísicos parece depender da formação particular de cada filósofo. Assim, um filósofo dito 'clássico', irredutível, aparentemente preferiria o 'pacote' de *indivíduos*, preservando a lógica clássica e a teoria de conjuntos padrão; já uma mente 'mais aberta' à novas perspectivas, estaria mais propensa a aceitar o 'pacote' de *não-indivíduos*. Mas será que não pode existir uma teoria que possa explicar a subdeterminação, acomodando assim a ambos os tipos de personalidades? Segundo French e Ladyman (2003) tal teoria existe, trata-se − adivinhem − do nosso conhecido realismo estrutural ontológico.

Vimos, no capítulo 2, que French e Ladyman apontaram o problema da subdeterminação como uma das principais motivações para o desenvolvimento do realismo estrutural ontológico. Para os autores, a subdeterminação da metafísica pela física lança um obstáculo crucial ao realismo científico tradicional. Se as teorias físicas representam o mundo tal como ele é, segundo afirmam os realistas, e se a física é compatível com ambos os 'pacotes' metafísicos de indivíduos e não-indivíduos, então qual é a metafísica subjacente ao mundo, a de indivíduos ou a de não-indivíduos? Esta questão colocaria em xeque o realista padrão (French e Ladyman *op. cit.*).[8] O problema da subdeterminação repousa na noção (digamos 'clássica') de *objeto*. Para French e Ladyman, a única maneira de solucionarmos a questão seria adotarmos o realismo estrutural ontológico; entendendo os objetos *estruturalmente*, podemos dizer que os dois 'pacotes' metafísicos são apenas diferentes representações (metafísicas) de uma mesma estrutura. E uma maneira de entender essa estrutura em termos matemáticos, afirmam os autores, seria através da teoria de

[8]Como vimos no capítulo 2, van Fraassen, vendo esse desafio ao realista (e um certo 'desdém' desse para com ele), expressou sua conclusão com um 'adeus metafísica', deixando o campo livre para o empirismo construtivo (*ibid.*).

grupos, fundamental no formalismo da mecânica quântica (*ibid.*). French e Ladyman, todavia, não especificaram como essa 'reconceitualização' dos objetos em termos estruturais poderia ser feita.

Tendo caracterizado o tipo de estrutura que queremos empregar – ou seja, definida em uma teoria de quase-conjuntos – e seguindo o 'tipo' de objeto tratado pela física moderna proposto acima – isto é, objetos nomológicos –, partiremos agora para uma proposta de reformulação do realismo estrutural ontológico.

4.2 'Reformulando' o realismo estrutural ontológico

Nesta seção, apresentaremos uma proposta de 'reformulação' do realismo estrutural ontológico. Começaremos com uma resposta à objeção de termos relações sem os *relata*. Mostraremos que é possível, em certo sentido a ser especificado abaixo, termos relações sem os (particulares) *relata*. Em seguida, veremos se o realismo estrutural ontológico pode ou não superar a objeção de Newman, apontada como a objeção mais crucial apresentada ao realismo estrutural. Encerraremos com uma proposta de um 'novo' realismo estrutural ontológico.

4.2.1 Um sorriso sem gato

Antes de tudo, faremos uma breve observação sobre o título acima. Stathis Psillos, crítico ferrenho do realismo estrutural, em um artigo em que critica o realismo estrutural ontológico (Psillos 2004), cita como epígrafe desse trabalho a célebre passagem de *Alice no País das Maravilhas*, de Lewis Carroll, onde Alice fica perplexa por notar que o gato com o qual falava – o famoso gato de Cheshire – começa a desaparecer aos poucos, restando, por fim, apenas seu sorriso.[9] Psillos usa essa metáfora justamente para criticar a proposta de French e Ladyman de termos relações sem os *relata*: não poderíamos ter relações sem os *relata*, assim como não poderíamos ter um sorriso sem gato. Este título, portanto, é em homenagem ao pensador grego.

[9]Ver epígrafe da seção 2.3.

No capítulo anterior, comentamos que relações poderiam ser entendidas de maneira usual na teoria de quase-conjuntos. Entretanto, para um tratamento formal adequado quando estamos lidando com m-átomos, faz-se necessário algumas modificações desse conceito, permitindo que as relações não dependam dos elementos (particulares) envolvidos, resultando em uma alternativa à objeção acima de termos relações sem os *relata*. Vejamos do que se trata.

Voltemos a considerar a teoria $\mathcal{Q}$ apresentada no capítulo precedente. Estaremos considerando os conceitos a seguir dentro da parte 'pura' de $\mathcal{Q}$, ou seja, a parte que envolve apenas m-átomos. Assim, uma quase-relação sobre um quase-conjunto A é um quase-conjunto R cujos elementos são 'pares' ordenados que pertencem a A. Esses 'pares', como comenta Krause, devem ser entendidos de maneira adequada. Ou seja, relembrando o que foi dito no capítulo anterior, já que a identidade não pode ser aplicada a m-átomos, um par ordenado $\langle z, w\rangle$ pode ser entendido como uma coleção de indistinguíveis de z (denotada $[z]$) e uma coleção de indistinguíveis de z ou de w (denotada $[z, w]$) que pertencem a A; podemos então representá-lo como $\langle z, w\rangle =_{def.} [[z], [z, w]]$ − o que lembra a definição usual de par ordenado em ZF. Portanto, como já mencionado, cada 'par' pode conter mais de dois elementos − sendo assim, a palavra 'par' pode ser entendida como 'par de espécies (*kinds*)'. Uma quase-relação binária R sobre A é um quase-conjunto que obedece o seguinte predicado $\mathcal{R}$:

$$\mathcal{R}(R) =_{def.} \forall z(z \in R \rightarrow \exists u \exists v(u \in A \wedge v \in A \wedge z =_E \langle u, v\rangle)).$$

Krause levanta então a seguinte questão (posta para relações n-árias):

Questão: dada uma certa q-relação R sobre um *qc* puro A, se $R(x_1, \ldots, x_n)$ é estabelecida, isso faz com que $R(x'_1, \ldots, x'_n)$ também o seja, se $x_i \equiv x'_i$? Ou seja, as relações são 'preservadas' quando os *relata* são trocados pelos seus indistinguíveis (Krause 2005)?

Segundo Krause, a resposta a essa pergunta dependerá do tipo de relação envolvida. Se R for a relação de pertinência, então a resposta será negativa, pois nada nos axiomas da teoria $\mathcal{Q}$ diz que se $x \in y$ e $x \equiv x'$ e $y \equiv y'$, então $x' \in y'$ − esse é um dos resultados mais básicos que tornam a relação de indistinguibilidade diferente da de identidade. Assim, a pertinência é a única relação primitiva de $\mathcal{Q}$ que não permite substitutividade por indistinguibilidade (*ibid.*). Por outro lado, se consideramos R como sendo qualquer relação *diferente* da pertinência – uma relação binária para simplificar –, e tendo em mente que R percorre um quase-conjunto contendo apenas m-átomos, a pergunta pode ser reformulada assim: se R é uma q-relação binária (diferente da relação de pertinência), e se $R(x, y) \wedge x' \equiv x \wedge y' \equiv y$, isso confere que $R(x', y')$?

Sendo x e y m-átomos e R definida sobre um quase-conjunto finito puro, temos que $R(x, y)$ significa $\langle x, y\rangle \in R$, ou seja, $[[x], [x, y]] \in R$. Lembremos que $[x]$ é o quase-conjunto de todos os indistinguíveis de x (que pode, portanto, tem mais de um elemento) e que $[x, y]$ é o quase-conjunto dos indistinguíveis ou de x ou de y. Neste caso, x e y não são vistos como nomes de *objetos* do domínio, mas sim como nomes *generalizados*, digamos, significando algo como 'alguns' indistinguíveis de x ou y respectivamente. Podemos dizer, assim, que uma relação binária em $\mathcal{Q}$ não é uma coleção 'bem definida' (pela sua extensão) de pares ordenados dos elementos de algum quase-conjunto – isso mostraria que um *qc* não é 'determinado por seus elementos'. Com $R(x, y)$ não estamos necessariamente dizendo *quais* específicos x e *quais* específicos y estão na relação, mas que *algum* indistinguível de x está na relação com *algum* indistinguível de y. O problema que surge, então, é aquele de se explicar em que sentido R está sendo definida sobre um certo A, pois se x' e y' são indistinguíveis respectivamente de x e y, então como podemos garantir que, sendo $R(x, y)$ verdadeira, o mesmo acontece com $R(x', y')$? Isto é, x' e y' podem não ser membros de A. Portanto, mais uma vez, a resposta à questão acima aparentemente é negativa (*ibid.*).

Todavia, segundo Krause, existe um sentido em que a resposta será afirmativa, basta considerarmos as *vizinhanças* (*surroundings*) do quase-conjunto A. O conceito de vizinhanças de A é definido relativamente a um quase-conjunto D da seguinte maneira: $Sur_D A =_{def.} [y \in D : y \equiv x \wedge x \in A]$. Ou seja, as vizinhanças de A é um quase-conjunto D de elementos indistinguíveis dos elementos de A. Intuitivamente, $Sur_D(A)$ age como as vizinhanças das quais A pode 'trocar' elementos. Supondo que $\hat{R}$ é a extensão de R à $Sur_D(A)$, ou seja, $\hat{R}$ é o quase-conjunto de todos os 'pares' $\langle x, y\rangle$, com x e y em $Sur_D(A)$, tais que $\langle x, y\rangle \in \hat{R}$ quando $x, y \in A$, podemos provar em $\mathcal{Q}$ o seguinte teorema:

Teorema 8 Se $A \subseteq D, x, y \in A$ e $R(x, y)$, onde R é uma quase-relação sobre A, então existem $x', y' \in D$ tais que $x' \equiv x$ e $y' \equiv y$ de modo que $\hat{R}(x', y')$.

Prova: Se $\neg\hat{R}(x', y')$, desde que $\forall x(x \equiv x)$ é um axioma de $\mathcal{Q}$, então temos que $R(x, y)$, mas $\neg\hat{R}(x', y')$, o que é impossível.[10]

Intuitivamente, o teorema acima diz que, se $R(x, y)$ é posta para $x, y \in A$, então se x' e y' são indistinguíveis de x e y respectivamente e pertencem a um quase-conjunto D que inclui A, então $\hat{R}(x', y')$ é estabelecida para esses elementos. Como observa Krause, não faria sentido matemático dizer (no caso geral) que $R(x', y')$ é estabelecida, pois x' e y' podem não pertencer a A, e R é um quase-conjunto definido sobre A. Assim, a extensão $\hat{R}$ de R tem a função de R para os elementos das vizinhanças de A e coincidem com R dentro de A. Portanto, dizendo que $\hat{R}(x', y')$ é estabelecida, estamos em certo sentido garantindo que a quase-relação R é mantida (através de $\hat{R}$) quando os elementos relacionados são trocados pelos seus adequados (indistinguíveis), *não dependendo*, assim, dos (particulares) *relata* (entendidos como indivíduos) envolvidos (*ibid.*). Como conseqüência, podemos enunciar os seguintes corolários:

Corolário 1: Se $S =_E \langle D, \hat{R}_i \rangle$ é uma estrutura sobre D e se $E \equiv D$, então $\mathcal{S}' =_E \langle E, \hat{R}_i \rangle$ é uma estrutura sobre E.

Corolário 2: Se uma fórmula α for quase-verdadeira em $\mathcal{S}$, então α também será quase-verdadeira em $\mathcal{S}'$.

Bem como a seguinte definição:

Definição 4.1.1 Dizemos que $\mathcal{S} =_E \langle D, \hat{R}_i \rangle$ e $\mathcal{S}' =_E \langle E, \hat{R}_i \rangle$ são da *mesma espécie* se $D \equiv E$. Na verdade, já que as quase-relações são definidas sobre quase-conjuntos indistinguíveis, elas também devem ser indistinguíveis.

Agora podemos finalmente voltar à objeção levantada no final do segundo capítulo,

[10] A prova é de Krause *op. cit.*.

qual seja, a de não podermos ter relações sem os *relata*. Antes de respondermos a essa objeção, recordemos brevemente a problemática.

James Ladyman, em seu artigo de 1998 sobre o realismo estrutural, defendeu que a versão epistemológica dessa teoria não é adequada. Como vimos, ele sugeriu uma versão 'mais forte' do realismo estrutural, na qual esse deveria ser entendido *ontologicamente* constituindo, assim, não em uma *versão estruturalista* do realismo, mas sim em um *realismo de estruturas*. Esse realismo de estruturas − sustentado posteriormente também por French e Ladyman 2003, 2003a e French e Saatsi 2004 − deveria 'eliminar' os *objetos* do discurso (ou entendê-los estruturalmente), ficando apenas com as *estruturas*. Resumindo, para esses autores, *tudo* é estrutura. A questão fundamental então é a da natureza dessa estrutura. Embora os autores acima mencionados não especifiquem claramente a natureza de tais estruturas, implicitamente eles parecem estar pensando em estruturas *conjuntistas*, haja visto a defesa da abordagem semântica como suporte ao realismo estrutural e mesmo a sugestão de que essas estruturas poderiam ser interpretadas como *estruturas parciais* que, como vimos, são usualmente definidas em uma teoria de conjuntos (ZF, por exemplo). A objeção que surge é então a seguinte: como podemos ter relações (logo, estruturas) sem os objetos que estão sendo relacionados, os *relata*? Em uma teoria de conjuntos usual como ZF isso *não* é possível, como já tivemos a oportunidade de explicar.

Todavia, existe uma proposta (parcial, digamos) para resolver esse impasse. Se estivermos trabalhando não em uma teoria de conjuntos, mas em uma teoria de quase-conjuntos, há uma maneira de termos, como vimos acima, relações *sem os particulares relata*. Isto é, os *relata* passam a figurar não como *indivíduos*, mas como *espécies* (*kinds*) ou *tipos* (*sorts*) de *não-indivíduos*, entendendo por não-indivíduos elementos aos quais não se aplica a relação de identidade, tal como visto no capítulo anterior. Assim, embora (ainda) não possamos 'eliminar' por completo os *relata*, podemos, no sentido explanado acima, 'desconsiderá-los' como indivíduos particulares.

O uso de uma teoria de quase-conjuntos para suportar o realismo estrutural ontológico parece seguir de uma maneira natural, pois os seus defensores enfatizam que ele deve estar totalmente voltado para física quântica. Portanto, se assumirmos que a teoria de quase-conjuntos fornece um suporte matemático mais 'adequado' à física quântica, seria natural que esta também o fornecesse ao realismo estrutural ontológico. Para encerrarmos, lembramos que a alternativa apresentada acima é, em certo sentido, *parcial*, permanecendo ainda como desafio uma proposta de *total* 'eliminação' dos *relata*. Mais à frente apresentaremos uma sugestão para isso.

A seguir, discutiremos outra objeção, proposta primeiramente à versão epistemológica do realismo estrutural, mas que também foi apresentada aos defensores da versão ontológica dessa teoria.

4.2.2 O realismo estrutural ontológico pode superar a objeção de Newman?

Recordemos brevemente do se trata a objeção. Foi apontado (Demopoulos e Friedman 1985; Psillos 1999; Votsis 2004, cap. 2-4) que uma das objeções mais séria contra o 'realismo estrutural' seria aquela feita por M. H. A. Newman em uma resenha de *A Análise da Matéria*, publicada na revista *Mind* em 1928. Newman argumenta contra a afirmação de Russell de que podemos conhecer apenas a estrutura (abstrata) do mundo exterior. Tal afirmação, segundo Newman, tornaria o conhecimento científico *trivial*, sugerindo fortemente que abandonemos a espécie de estruturalismo sustentada por Russell (Newman 1928; Demopoulos e Friedman *op. cit.*; Votsis *op. cit*). A objeção de Newman teria recebido pouca atenção até Demopoulos e Friedman a apresentarem como a principal objeção contra o realismo estrutural. Os dois principais argumentos de Newman seriam os seguintes.

Primeiramente, Newman sustenta que o conhecimento possibilitado pelo realismo estrutural é *trivial*. Segundo ele, o estruturalismo de Russell é equivalente à seguinte afirmação:

> “O mundo consiste de objetos, formando uma agregado cuja estrutura W, digamos, com respeito a uma certa relação R é conhecida; mas da relação R nada é conhecido (ou nada é preciso ser assumido como conhecido) além da sua existência; isto é, tudo que podemos dizer é que ‘*existe* uma relação R tal que a estrutura do mundo exterior com respeito à R é W’”(*op. cit.*, p. 144; itálico do autor).

Esta afirmação, segundo Newman, expressa somente uma propriedade *trivial* do mundo, a saber, que dada uma classe (agregado) com qualquer cardinalidade, podemos erigir uma estrutura compatível com essa cardinalidade: “Para qualquer agregado A, uma sistema de relações entre seus elementos pode ser encontrado, podendo ter qualquer estrutura que seja compatível com o número cardinal de A”(*op. cit.*, p. 140). Assim, a doutrina de que *somente* a estrutura (abstrata) do mundo exterior é conhecida, envolve a doutrina de que *nada* pode ser conhecido que não seja logicamente dedutível do mero fato da existência de certo número de objetos constituintes. Além do mais, é de se supor que o conhecimento do mundo exterior é conseqüência da investigação empírica, e não de um raciocínio *a priori*. Portanto, conclui Newman, o estruturalismo de Russell não afirma nada de importante com respeito ao conhecimento do mundo exterior, a única exigência da investigação empírica seria a do tamanho da classe dada.

Em segundo lugar, Newman afirma que “[um] ponto a ser enfatizado é que não tem sentido falar da estrutura de uma mera coleção de coisas, não provida de um conjunto de relações [...] Assim, os únicos enunciados importantes sobre a estrutura são aqueles com respeito à estrutura erigida [...] por uma dada, definida, relação”(*ibid.*). Ou seja, a única maneira de evitar a trivialidade é especificarmos as particulares relações que geram uma dada estrutura. Se especificarmos R, ao invés de somente dizer ‘existe uma relação R que tem uma estrutura W’, o fato de R ter uma estrutura W não é trivial. O problema é que, se especificamos R, estamos indo além dos compromissos epistemológicos do realismo estrutural. Portanto, segundo Newman, a única maneira de evitarmos a acusação de trivialidade seria abandonarmos essa teoria (Newman *op. cit.*).

Em outras palavras, poderíamos dizer que a afirmação de que somente a estrutura pode ser conhecida assume que o melhor que podemos estabelecer é um 'isomorfismo' entre um modelo de nossa teoria e o mundo.[11] Mas a existência de um tal 'isomorfismo' seria suficiente somente para determinar a cardinalidade do conjunto de objetos no mundo, pois o modelo é conhecido apenas por descrição, e existe interpretações alternativas que serão isomorfas se a cardinalidade for a mesma. Apenas as propriedades internas dos modelos nos permitem distinguir as interpretações rivais, mas essas são inacessíveis ao realista estrutural (Ladyman 1998).

Como vimos acima, essa crítica foi primeiramente endereçada ao realismo estrutural *epistemológico* – fundamentado na abordagem sintática –, e esse parece enfrentar, de fato, grandes dificuldades para superá-la (ver Votsis *op. cit.*). Mas o que dizer sobre essa objeção aplicada ao realismo estrutural *ontológico*? Vimos no capítulo 2 que Ladyman refere-se ao problema de Newman como sendo, na verdade, um *pseudoproblema*, que seria superado pela adoção da abordagem semântica – ao invés da abordagem sintática – para suportar o realismo estrutural (Ladyman *op. cit.*). Isso também foi afirmado mais tarde por French e Ladyman quando disseram que o problema de Newman "é eliminado se não pensarmos as estruturas e relações em termos extensionais de primeira ordem"(*op. cit.*, p. 33).[12] A saída consiste, segundo os autores, em adotar a abordagem semântica. Porém, infelizmente, mais uma vez, não é dado o mínimo indício de como isso poderia ser feito.

A objeção de Newman ocupa um importante lugar nas considerações sobre o realismo estrutural e na filosofia da ciência em geral. Embora não consideremos a fundo essa questão[13], basta observarmos que Demopoulos e Friedman (*op. cit.*) apontaram que mesmo a abordagem semântica não daria conta de resolver o problema, como teria mostrado Hilary Putnam, em uma versão do problema proposta para os defensores da abordagem semântica. No que segue, sugeriremos um possível caminho a ser adotado pelo realismo estrutural ontológico, na esperança de contornar tal problema. Tratar-se-á de uma *sugestão* apenas (e não mais do que isso), relegando 'refinamentos' a trabalhos futuros.

[11]A palavra 'isomorfismo' só pode ser utilizada aqui em sentido metafórico, pois isomorfismos, formalmente falando, só podem ser estabelecidos entre *estruturas*, e não entre estruturas e 'o mundo'.

[12]Demopoulos e Friedman mostraram que mesmo eliminando o extensionalismo o problema permaneceria (*op. cit.*).

[13]Indicamos, mais uma vez, Votsis *op. cit.*.

O problema parece repousar sobre a distinção estrutura/qualidade ou forma/conteúdo como afirmou Newman: "[...] parece ser necessário abandonar a divisão 'estrutura/conteúdo' em sua forma estrita"(*op. cit.*, p. 147). Agora, como observaram Demopoulos e Friedman, abandonar a divisão estrutura/qualidade significa abandonar a idéia de que não conhecemos as qualidades dos objetos inobserváveis (*unperceived*), contrariando, portanto, a forma de estruturalismo de Russell e o realismo estrutural epistemológico em geral. O que Newman parece não aceitar é que o conhecimento do mundo exterior seja conseqüência de um raciocínio *a priori* apenas, e não da investigação *empírica*, como sugeriria o estruturalismo de Russell. Uma questão, por exemplo, sobre se a matéria é ou não atômica "[...] é uma questão de fato a ser respondida tendo em consideração a evidência, e não um assunto de definição"(p. 143). Assim, segundo Demopoulos e Friedman, a dicotomia observável/inobservável não é explicável em termos da divisão do conhecimento em estrutura/qualidade sem se abandonar a idéia de que nosso conhecimento das partes inobserváveis do mundo é descoberto, ao invés de estipulado (*op. cit.*).

Todavia, em primeiro lugar, o realismo estrutural ontológico *nega* a existência da dicotomia estrutura/qualidade, na medida em que nega 'qualidade' em favor da existência única da estrutura. Ou seja, como aprendemos, a proposta é a de que *tudo* o que existe são *estruturas* (Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*, 2003a; French e Saatsi 2004). Conforme dito acima, a única maneira de evitar o problema seria especificarmos as particulares relações que geram uma dada estrutura. Se especificarmos R, ao invés de somente dizer 'existe uma relação R que tem uma estrutura W', o fato de R ter uma estrutura W não é trivial. Em segundo lugar, dentro da versão do realismo estrutural ontológico que estaremos sugerindo à frente, isso poderá ser feito. As relações (estruturas) R que geram uma estrutura 'ontológica' W são *especificadas* pela teoria física. Vejamos como isso pode ser melhor entendido.

4.2.3 Novas perspectivas

Em que consiste o *realismo estrutural ontológico*? Bem, isto é o que tentamos – e estamos tentando – descobrir nesta dissertação. Além do foi dito até agora, alguém poderia, justificadamente, começar por perguntar em que consiste *realismo*, *estrutura* e *ontologia.* Talvez uma resposta ao último conceito possa abrir caminho para entendermos o primeiro; ou talvez o primeiro e o segundo determinem o terceiro; ou, como sugere o realismo estrutural ontológico, o segundo determine o terceiro que, por sua vez, especifica o primeiro etc..

Neste caso, quando nos referimos ao realismo, certamente temos em mente o realismo *científico.* Seria desnecessário dizer que explicar com um mínimo de detalhes o que seja o *realismo científico* é tarefa filosófica extremamente árdua, o mesmo ocorrendo com *ontologia.* Certamente não ambicionamos dar aqui uma definição de ontologia. Teremos em mente apenas uma geral, e imprecisa, idéia: a ontologia conta-nos sobre o que *há* no 'mundo físico' (as aspas são inevitáveis!). Isto, é claro, está longe de ser uma definição aceitável, mas contentemo-nos com ela, por ora. Uma maneira breve de entender o realismo (científico) em geral poderia ser, então, a de entendê-lo como o modo de ser das coisas existentes – descritas pelas teorias científicas – fora da mente humana ou independentemente dela. Mais uma vez, uma idéia bastante imprecisa. E o que dizer da estrutura? Bem, agora, pelo menos, podemos dar uma resposta um pouco mais precisa. Entenderemos aqui por estrutura aquele tipo de 'objeto' definido no capítulo 3.

A versão ontológica do realismo estrutural afirma que tudo o que existe são *estruturas*: devemos 'eliminar' os objetos (*relata*) e ficarmos apenas com as *relações* (Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*). Uma maneira de tornar isso possível, como vimos, seria através das chamadas *quase-relações*, definidas dentro da teoria de quase-conjuntos. Através das quase-relações, 'eliminamos' os específicos (particulares) *relata*, ficando apenas com sua *espécie* (*kind*) ou *tipo* (*sort*). A pergunta que surge, então, é a seguinte: o que são essas espécies ou tipos de *relata*? Lembramos que neste caso, obviamente, estamos falando especificamente de entidades quânticas (partículas elementares). Se adotarmos a teoria que considera as entidades quânticas como sendo objetos *nomológicos*, dados por leis físicas, tal como vimos anteriormente, então essas espécies ou tipos nada mais serão do que *estruturas.* Como disse Toraldo di Francia: "em certo sentido, sua legitimidade [a dos objetos nomológicos] é hoje em dia melhor garantida do que a dos objetos de antigamente, pois *sua estrutura é estabelecida pela a lei física*, em vez de ser uma escolha arbitrária do observador"(Toraldo di Francia *op. cit.*, p. 64, ênfase minha). Se um objeto nomológico é uma coleção, 'pacote' ou feixe de propriedades, então, de fato, nada mais natural do que entendê-lo *estruturalmente*, haja visto que tais propriedades estão relacionadas. Assim, a estrutura da *espécie* elétron, por exemplo, seria estabelecida por uma lei da mecânica quântica, e poderia ser representada matematicamente através de algum formalismo fundamentado na teoria de quase-conjuntos, o formalismo dos espaços de Fock, por exemplo[14]. Tecidos estes breves comentários, *sugeriremos*, finalmente, uma maneira de entendermos o realismo estrutural ontológico.

O realismo estrutural ontológico aparentemente dever estar voltado para uma teoria física da matéria. Como foi sugerido, a melhor candidata seria a mecânica quântica.[15] Se estamos considerando a mecânica quântica, talvez fosse mais adequado fundamentá-la em uma teoria de quase-conjuntos, pelos motivos apresentados no capítulo 3. Se assim o fizermos, então o mais adequado seria entendermos as estruturas do realismo estrutural ontológico em termos quase-conjuntistas. Se devemos entender os objetos estruturalmente, como apontam French e Ladyman, então uma possibilidade para fazer isso seria entender os objetos quânticos como *nomológicos*, da maneira sugerida acima. Dada a indistinguibilidade dos objetos quânticos, podemos considerar a estrutura das *espécies* desses objetos, ao invés de considerarmos a estrutura de objetos *particulares* – isso seria possível formalmente a partir das definições de *quase-relação* e de *vizinhança*, delineadas acima.[16]

Desse modo, por um lado, o mundo físico seria *representado* – através das teorias físicas – matematicamente por estruturas – ocasionalmente, por estruturas *parciais* – em um formalismo (da mecânica quântica) fundamentado em uma (em um modelo da) teoria de quase-conjuntos. Por outro lado, o mundo físico *consistiria* – e aqui apresentamos nossa versão da ontologia da estrutura – de estruturas ou *modelos* de estruturas de *espécies* (entendidas no sentido acima) de objetos quânticos, entendidos nomologicamente.

Por exemplo, um elétron particular seria uma estrutura, ou um *modelo* da estrutura, da *espécie* elétron; portanto, dado que todos os elétrons, entendidos estruturalmente, são *indistinguíveis*, todos serão isomorfos à estrutura da *espécie* elétron, formando uma *classe*

[14]Ver French e Krause *op. cit.*, cap. 9

[15]Ver, por exemplo, Worrall 1989; Ladyman *op. cit.*; French e Ladyman *op. cit.*; French e Saatsi *op. cit.*, entre outros.

[16]Ver Krause 2005.

de equivalência – portanto, quando falamos em elétrons, em geral, estaríamos falando de sua classe de equivalência, sendo todos estes conceitos entendidos adequadamente em uma teoria de quase-conjuntos.[17] Isto é, teríamos a estrutura da *espécie* elétron[18] $\mathcal{K}_e = \langle E, R_i \rangle_{i \in I}$, onde E é um quase-conjunto cujos elementos são propriedades *definidas*, ditas 'essenciais', do elétron, e R é uma família de quase-relações que agem sobre essas propriedades. Assim, os elementos de E são propriedades como massa $9,1 \times 10^{-23}g$, carga elétrica $\pm 4,8 \times 10^{-10} e.s.u.$, *spin* $\hbar/2$ etc. Deste modo, a estrutura da *espécie* elétron é, em algum sentido, *teórica* – é uma estrutura matemática –, mas as estruturas que satisfazem esta estrutura da *espécie* elétron, ou seja, seus *modelos*, os elétrons propriamente ditos, seriam estruturas *físicas*, ontologicamente falando, representadas, obviamente, por meio de estruturas teóricas através de algum processo. Haveria então uma certa hierarquia de estruturas.[19] Neste contexto, a abordagem das estruturas parciais parece ser imprescindível, e como foi apontado por vários autores, como vimos no capítulo 3, ela poderia ser aplicadas em todos os níveis da hierarquia.[20]

Assim sendo, o conceito de verdade adotado pelo realismo estrutural ontológico poderia ser aquele da *quase-verdade*, definido na teoria de quase-conjuntos, visto acima. Poderíamos dizer então que neste sentido a mecânica quântica seria *quase-verdadeira*.

O leitor atencioso talvez tenha reconhecido uma aparente *circularidade* no que foi dito acima sobre a 'estrutura do objeto', e poderia apresentar a seguinte crítica. Se estamos falando das propriedades dos elétrons, no sentido de que eles *possuem* essas propriedades, e estamos usando essas para 'defini-los', então entramos em uma indesejável circularidade. Ou seja, propriedades seriam propriedades de *alguma coisa*. Todavia, se estamos de acordo com a teoria dos objetos nomológicos, tal crítica não procede, pois os objetos nomológicos são *dados*, *definidos*, por uma coleção de propriedades. Portanto, neste caso, não faz sentido dizer que as propriedades são propriedades de *alguma coisa*; acontece o inverso,

[17]Neste caso, parece que seria necessário a violação da Lei de Leibniz em um nível superior, ao nível das propriedades ou relações.

[18]É claro que se trata apenas de uma *ilustração informal*, nada tendo que ver com a definição *de fato* de sua estrutura. Lembramos mais uma vez que Newton da Costa tem enfatizado que seriam necessárias estruturas de ordem superior para dar tratamento adequado às teorias científicas (da Costa e Rodrigues 2004).

[19]Que talvez pudesse ser entendida em termos da 'hierarquia de modelos' sugerida por Suppes.

[20]As estruturas parciais ofereceriam uma certa 'abertura' (*openness*) para desenvolvimentos futuros da teoria.

a '*coisa*' é dada pelas propriedades que, em certo sentido, vêm antes dela. Ou seja, o que estamos querendo dizer é que o objeto *é* a estrutura, e não que o objeto *possui* uma estrutura. Essa seria a grande diferença entre os objetos considerados pela mecânica clássica e os objetos quânticos, como sustenta Toraldo di Francia. Essas propriedades seriam, evidentemente, *teóricas*. Na verdade, elas são um tipo especial de *relação*, as relações *unárias*. Desse modo, garantimos, em um certo nível, que *tudo* são relações, ou seja, os *relata* seriam também relações (estruturas).

Neste contexto, a objeção de Newman aparentemente evaporar-se-ia. Não apenas podemos especificar os *objetos* do domínio da estrutura, como podemos especificar também as *relações* entre eles. Assim, poderíamos conhecer do mundo muito mais do que sua mera *cardinalidade*! Quanto ao caráter *a priori* que o realismo estrutural epistemológico conferiria ao entendimento da ciência, e que foi rejeitado por Newman, não estamos certos de que o realismo estrutural ontológico possa eliminá-lo. Isto é, Newman diz que devemos entender a ciência através de *evidências*, e não através de *definições a priori*. Não entraremos neste ponto aqui, mas aparentemente, pelo menos na física contemporânea, essa questão torna-se bastante delicada. A conclusão que supostamente se segue é surpreendente, não apenas a objeção de Newman aparentemente não atinge (essa versão) do realismo estrutural ontológico, como ela parece *apoiá-lo*, na medida em que afirma que a dicotomia estrutura/qualidade *não* seria possível.

Para encerrarmos, lembramos que Bueno, em uma crítica ao realismo estrutural ontológico − favorecendo sua versão empirista do estruturalismo, denominada *empirismo estrutural* −, concluiu que, ou o realismo estrutural ontológico é apenas uma tese *metafórica* e, portanto, não resolve o problema para ao qual foi proposta, ou é uma tese mais precisa (ou menos figurativa), e não mais se constitui numa proposta realista − ou sendo, pelo menos, *compatível* com a doutrina empirista (Bueno 1999, p. 236). Como comentário a essa crítica, poderíamos dizer que há, sem dúvida, ainda muita coisa a ser desenvolvida no realismo estrutural ontológico, mas se estivermos no caminho certo, talvez possamos torná-lo menos metafórico e, quem sabe um dia, eliminar as aspas do título deste capítulo.

Conclusão

Na Introdução, vimos que há várias maneiras de se abordar o realismo estrutural. Neste trabalho, optamos por fazer uma investigação ampla focalizada diretamente nessa abordagem, destacando a sua importância, atualidade e alguns de seus problemas. A presente dissertação foi então dividida em duas partes. Na primeira, foi realizada uma descrição geral do realismo estrutural. Na segunda, apresentamos uma definição geral de estrutura, baseada na teoria de quase-conjuntos; as noções relacionadas de estrutura parcial e quase-verdade também foram discutidas. Nesta segunda parte, também tivemos oportunidade de apresentar algumas propostas de solução a alguns problemas enfrentados pelo realismo estrutural, bem como uma proposta de 'reformulação' deste. Aliás, no decorrer da dissertação, vimos que há várias objeções ao realismo estrutural, algumas mais significativas, outras menos. Não foi nosso objetivo responder a todas essas objeções. No máximo, fizemos algumas sugestões de como elas porventura poderiam ser contornadas.

Mas, se o realismo estrutural sofre essas, e certamente várias outras, objeções, não seria melhor que fosse abandonado? Por exemplo, se a noção de estrutura utilizada pelos defensores do realismo estrutural ontológico for, como pretendem esses defensores, uma entidade conjuntista (*set-theoretical*)[21], como podemos sustentar sua tese básica de que há relações sem as 'coisas relacionadas', ou seja, sem os chamados *relata*? Como esperamos ter deixado claro, isso não é possível em uma teoria usual de conjuntos, digamos em Zermelo-Fraenkel (ZF). Foi sugerido então que essa questão poderia ser parcialmente contornada se, ao invés de adotarmos uma teoria de conjuntos para definir estrutura, utilizássemos uma teoria de quase-conjuntos, onde a noção de quase-relação permite uma

[21]Por exemplo, quando dizem: "Ladyman adotou a idéia central do trabalho de Worrall (1989) de responder a meta-indução pessimista apelando para a continuidade estrutural através da mudança de teorias, e suplementando isso com duas novas dimensões. Foi sugerido, por um lado, que o suporte adequado ao realismo estrutural deveria ser a abordagem semântica das teorias, devido a sua constante ênfase em modelos matemáticos ou estruturas [..]"(French e Saatsi 2004, p. 1).

maior flexibilidade que a noção de relação em ZF. Uma vez feito isso, questionamo-nos: essa solução de fato resolveria (ao menos parcialmente) o problema?

Claro está que uma análise mais profunda da noção de estrutura pertinente ao realismo estrutural ontológico se faz necessária, pois os defensores dessa versão não deixam claro o que isso significa. Porém, se eles estão se referindo a estruturas conjuntistas, é de se supor que se possa trabalhar em uma teoria como ZF, e então os problemas levantados nesta dissertação certamente se aplicam ao realismo estrutural ontológico tal como apresentado. Com a teoria de quase-conjuntos, como vimos, podemos caracterizar 'relações' (na verdade, quase-relações) em que os *relata* podem ser substituídos por indiscerníveis, como acontece por exemplo nas 'estruturas' químicas (compostos químicos), onde por exemplo um átomo de carbono pode, para todos os efeitos, dar lugar a *um outro* átomo de carbono (se é que essa expressão faz sentido nesses casos). Deste modo, não há propriamente *relata* como entidades particulares, mas somente 'lugares' para entidades de uma certa espécie. Isso nos parece mais condizente com o que realmente acontece em disciplinas como a química, estando portanto mais próximo das 'estruturas' com as quais lidam as ciências empíricas. Assim, a solução apresentada nos parece constituir um passo bastante significativo na busca pelas bases matemáticas do realismo estrutural ontológico. No entanto, estamos cientes de que muito ainda precisa ser realizado, em especial investigar mais detalhadamente as bases metafísicas desse tipo de realismo e suas possíveis desvinculações com estruturas conjuntistas.

Assim, tendo em vista que, como vimos em um capítulo precedente, a teoria de quase-conjuntos $\mathcal{Q}$ pode ser 'imersa' na teoria de conjuntos ZFU, bem como há uma cópia de ZF na teoria $\mathcal{Q}$, podemos conjecturar que a solução de se contornar o problema das relações sem os *relata* via teoria de quase-conjuntos 'resolveria' o problema apenas no nível desta teoria permanecendo, no entando, em sua parte 'clássica', correspondente a ZF. Em outras palavras, o problema seria contornado apenas em $\mathcal{Q}$, mas não em ZF. Esta sugestão nos foi dada pelo Professor Otávio Bueno durante o *Quarto Simpósio Internacional Principia*, realizado em Florianópolis em 2005.[22]

Por outro lado, como vimos, Ladyman (1998) e French e Ladyman (2003) comentaram sobre a necessidade de uma filosofia da matemática adequada ao realismo estrutural,

[22]Gostaríamos de agradecer ao Professor Bueno.

questionando mesmo se haveria uma fronteira bem definida entre a filosofia da matemática e a filosofia da física, caso adotássemos o realismo estrutural ontológico. Lançamos então a seguinte conjetura: é possível sustentar alguma forma de realismo estrutural ontológico em filosofia da matemática?[23] A resposta parece ser, pelo menos em um sentido, negativa. Ou seja, se o tipo de estrutura adotada pelos defensores do realismo estrutural ontológico for conjuntista − isto é, elaborada em uma teoria de conjuntos como ZF −, apresentado em sua forma usual (em especial, contendo os axiomas da união e da regularidade), então seria impossível termos relações sem os *relata*, como desejam os autores. Deste modo, o realismo estrutural aparentemente poderia ser defendido somente no nível de uma filosofia da física, por exemplo via teoria de quase-conjuntos, mas aparentemente não no nível da filosofia da matemática. Todavia, essa distinção entre filosofia da matemática e filosofia da física, tal como usada acima, também não é clara, e precisa ser mais elaborada. Uma alternativa, que pode ser investigada, consiste em adotar uma outra abordagem, baseada em algo como o Cálculo de Relações de Tarski (Tarski 1941), mas isso ainda é plano futuro.

Face a todas essas questões, vale a pena ainda estudarmos o realismo estrutural? Acreditamos que o realismo estrutural (ontológico) é uma teoria demasiado recente para formularmos uma conclusão sobre o seu sucesso ou fracasso. Certo é, acreditamos, que o realismo estrutural é uma teoria que merece ainda muita consideração filosófica. Se ele não for, como sugeriu Worrall, o melhor de ambos os mundos − embora acreditamos que possa (um dia) ser −, está contribuindo com fecundas discussões que enriquecem o debate sobre o realismo e isso, por si só, pensamos, já justifica o seu estudo.

[23]Pretendo investigar a fundo esta questão em minha tese de doutorado.

Referências Bibliográficas

Bourbaki, N. (1968) *The Theory of Sets*. Addison-Wesley.

Bueno, O. (1999) *O empirismo construtivo: uma reformulação e defesa*. Campinas: col. CLE.

———. (1999a) 'Empiricism, Conservativeness and Quasi-Truth'. *Philosophy of Science*, 66, pp. S474-S485.

———. (2000) 'Quasi-Truth in Quasi-Set Theory'. *Synthese*, 125, pp. 33-53.

Bueno, O., French, S. and Ladyman, J. (2002) 'On Representing the Relationship between the Mathematical and the Empirical'. *Philosophy of Science*, 69, pp. 497-518.

Carnap, R. (1956) 'The Methodological Character of Theoretical Concepts', in H. Feigl and M. Scriven (eds.) *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis, Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 1. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Cao, T. Y. (2003) 'Structural Realism and the Interpretation of Quantum Field Theory'. *Synthese*, 136, pp. 3-24.

———. (2003a) 'Appendix: Ontological Relativity and Fundamentality – is QFT the fundamental theory?' *Synthese*, 136, pp. 25-30.

———. (2003b) 'Can we dissolve physical entities into mathematical structures?' *Synthese*, 136, pp. 57-71.

———. (2003c) 'What is Ontological Synthesis? – a reply to Simon Sanders'. *Synthese*, 136, pp. 107-126.

Cassirer, E. (1936) *Determinism and Indeterminism in Modern Physics.* Yale University Press.

Chakravartty, A. (1998) 'Semirealism'. *Studies in History and Philosophy of Science*, 29A(3), pp. 391-408.

———. (2003) 'The Structuralist Conception of Objects', Philosophy of Science, 70(5), pp. 867-878.

Chibeni, S. (2001) 'Russell e a noção de causa'. *Principia*, 5(1-2), pp. 125-47.

Dutra, L. H. (1993) *Realismo, Empirismo e Naturalismo: O Naturalismo nas filosofias de Boyd e van Fraassen.* Tese de Doutoramento: Unicamp.

———. (1998) *Introdução à Teoria da Ciência.* Florianópolis: Ed. da UFSC.

da Costa, N. C. A. (1980) *Ensaio sobre os fundamentos da lógica.* São Paulo: Hucitec-EdUSP.

da Costa, N. C. A. and Chuaqui, R. (1988) 'On Suppes' Set-Theoretical Predicates'. *Erkenntnis*, 29, pp. 95-112.

da Costa, N. C. A. and Krause, D. (1994) 'Schrödinger logics'. *Studia Logica* 53 (4), pp. 533-550.

da Costa, N. C. A. and Krause, D. (1997) 'An intensional Schrödinger logic'. *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 38 (2), pp. 179-194.

da Costa, N. C. A. and Krause, D. (1999) 'Set-theoretical models for quantum systems'. In Dalla Chiara, M. L. *et. al.* (eds.) *Language, Quantum, Music.* Kluwer Ac. Pu., pp. 171-181.

da Costa, N. C. A. and French, S. (2003) *Science and Partial Truth: a unitary approach to models and scientific reasoning.* Oxford: Oxford Un. Press.

da Costa, N. C. A. e Rodrigues, A. M. (2004) 'Definability and Invariance'. A aparecer.

da Costa, N. C. A. (2006) Seminários de Lógica e Filosofia da Ciência. UFSC/CFH.

Demopoulos, W. and Friedman M. (1985) 'Critical Notice: Bertrand Russell's *The Analysis of Matter*: Its Historical Context and Contemporary Interest'. *Philosophy of Science*, 52, pp. 621-639.

Duhem, P. ([1914] 1991) *The Aim and Structure of Physical Theory.* Princeton (NJ): Princeton University Press.

Eddington, A. S. (1939) *The Philosophy of Physical Science.* Cambridge University Press.

French, S. (2000) 'The reasonable effectiveness of mathematics: partial structures and the application of group theory to physics'. *Synthese*, 125, pp. 103-120.

———. (2001) 'Symmetry, Structure and the Constitution of Objects'. *Pittsburgh Archive for the Philosophy of Science.* http://philsci-archive.pitt.edu/documents/disk0/00/00/03 /27/index.html

French, S. and Ladyman, J. (2003) 'Remodelling Structural Realism: Quantum Mechanics and the Metaphysics of Structure'. *Synthese*, 136, pp. 31-56.

———. (2003a) 'The dissolution of objects: between platonism and phenomenalism'. *Synthese*, 136, pp. 73-77.

French, S. and Saatsi, J. (2004) 'Realism about Structure: The Semantic View and Nonlinguistic Representations'. In http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002037/01/

Greene, B. (2001) *O universo elegante.* São Paulo: Companhia das Letras.

———. (2004) *The Fabric of the Cosmos.* New York: Penguin Books.

Hacking, I. (1983) *Representing and Intervening.* Cambridge: Cambridge University Press.

Heisenberg, W. (1998) *A Parte e o Todo.* Rio de Janeiro: Contraponto.

Krause, D. (1992) 'On a quasi-set theory'. *Notre Dame J. of Formal Logic*, 33 (3), pp. 402-411.

———. (1999) 'Alguns Aspectos Lógicos e Epistemológicos Relacionados aos Fundamentos da Mecânica Quântica'. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 3, vol. 9, pp. 147-200.

———. (2002) *Introdução aos Fundamentos Axiomáticos da Ciência*. São Paulo: EPU.

———. (2003) 'Why quasi-sets?'. *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, 20(1/2), pp. 73-92.

———. (2005) 'Structures and Structural Realism'. *Journal of the Interested Group in Pure and Applied Logic*, 13(1), pp. 113-126.

da Costa, N. C. A. and Krause, D. 'An intensional Schrödinger logic'. *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 38 (2), pp. 179-194.

Krause, D., Sant'Anna, A. S. and Volkov, A. G. (1999) 'Quasi-set theory for bosons and fermions: quantum distributions'. *Foundations of Physics Letters*, 12 (1), pp. 51-66.

Krause, D. e Coelho, A. M. N. (2005) 'Identity theory, Indiscernibility and Philosophical Claims'. *Axiomathes*, 15 (2), pp. 191-210.

Ladyman, J. (1998) 'What is Structural Realism?'. *Studies in History and Philosophy of Science*, S 98, 29A(3), pp. 409-424.

Landry, E. (1999) 'Category Theory: The Language of Mathematics'. *Philosophy of Science*, 66 (Supplement), pp. S14-S27.

———. (2004) 'Category Theory as a Framework for an In Re Interpretation of Mathematical Structuralism'. In J. van Benthem, G. Heinzmann, M. Rebuschi and H. Visser (eds.), *The Age of Alternative Logics: Assessing Philosophy of Logic and Mathematics Today*, Kluwer University Press.

Maxwell, G. (1962) 'The Ontological Status of Theoretical Entities'. In H. Feigl and G. Maxwell (eds.) *Scientific Explanation, Space, and Time*. Vol. 3, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 3-15.

———. (1968) 'Scientific Methodology and the Causal Theory of Perception'. In I. Lakatos and A. Musgrave (eds.) *Problems in the Philosophy of Science.*, Amsterdam: North-

Holland Publishing Company.

———. (1970a) 'Structural Realism and the Meaning of Theoretical Terms'. In S. Winokur and M. Radner (eds.) *Analyses of Theories, and Methods of Physics and Psychology.* Minneapolis: University of Minnesota Press, 181- 192.

———. (1970b) 'Theories, Perception and Structural Realism'. In R. Colodny (ed.) *Nature and Function of Scientific Theories.* Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 3-34.

Mikenberg, I., da Costa, N. C. A. and Chuaqui, R. (1986) 'Pragmatic Truth an Approximation to Truth'. *Journal of Symbolic Logic*, 51, pp. 201-221.

Muntean, I-L. (2003) 'Ontologies and Mathematical Structures in Structural Realism'. A aparecer in *Philosophy of Science.*

Newman, M.H.A. (1928) 'Mr. Russell's "Causal Theory of Perception"'. *Mind*, vol. 37, pp. 137-148.

Poincaré, H. ([1902] 1988) *A Ciência e a Hipótese.* Brasília: Ed. da UnB.

———. ([1905] 1998) *O valor da ciência.* Rio de Janeiro: Contraponto.

Post, H. (1963) 'Individuality and Physics'. In The Listener 70, 534. Reprinted in Vedanta for East and West 32 (1973) 14.

Psillos, S. (1995) 'Is Structural Realism the Best of Both Worlds?'. *Dialectica*, 49, pp. 15-46.

———. (1999) *Scientific Realism: How Science Tracks Truth.* London: Routledge.

———. (2001) 'Is Structural Realism Possible?'. *Philosophy of Science.* Suppl. vol. 68, pp. S13-S24.

———. (2004) 'The Structure, the Whole Structure and Nothing but the Structure?'. In Proceedings Philosophy of Science Assoc. 19th Biennial Meeting – PSA2004: PSA 2004 Symposia.

Resnick, R. e Halliday, D. (1978) *Física 1.* Vol. 2. Rio de Janeiro: LTC.

Russell, B. ([1912] 1997) *The Problems of Philosophy.* Oxford: Oxford Un. Press.

———. ([1919] 1978) *Introdução à Filosofia Matemática.* Rio de Janeiro: Zahar.

———. ([1927] 1978) *Análise da Matéria.* Rio de Janeiro: Zahar.

———. (1940) *An Inquiry into Meaning and Truth.* London: Allen & Unwin.

———. (1948) *Human Knowledge: Its Scope and Limits.* London: Allen & Unwin.

———. ([1959] 1980) *Meu Desenvolvimento Filosófico.* Rio de Janeiro: Zahar.

———. (1968) *The Autobiography of Bertrand Russell.* Vol. 2, London: George Allen & Unwin.

Saunders, S. (2003) 'Structural Realism, Again'. *Synthese*, 136, pp. 127-133.

———. (2003a) 'Critical Notice: Tian Yu Cao's 'The Conceptual development of 20th century Field Theories''. *Synthese*, 136, pp. 79-105.

Schlick, M. (1925) *General Theory of Knowledge.* New York: Springer-Verlag.

Schrödinger, E. (1952) *Science and Humanism.* Cambridge: Cambridge University Press.

———. (2000) 'A nossa imagem da matéria'. In *Problemas da Física Moderna.* São Paulo: Perspectiva.

Stegmüller, W. (1981) *La concepción estructuralista de las teorías.* Alianza Editorial.

Stachel, J. (2002) "The Relations between Things' versus 'The Things between Relations': The Deeper Meaning of the Hole Argument'. In D. Malament, ed., *Reading Natural Philosophy: Essays in History and Philosophy of Science and Mathematics.* Chicago and LaSalle, IL: Open Court.

———. (2004) 'Structural Realism and the Contextual Individuality'. In Yemima Ben-Menahem, ed., *Hilary Putnam.* Cambridge: Cambridge University Press.

———. (2003) "Critical Realism': Wartofsky and Bhaskar'. In Gould, C. C., ed., *Con-*

structivism and Practice: Toward a Historical Epistemology. New York: Rowman and Littlefield Publishers.

———. (2005) 'Structure, Individuality and Quantum Gravity'. In arXiv:gr-qc/0507078 v2 19 Jul 2005.

Suppe, F. (1977) *The structure of Scientific Theories.* Urbana: University of Illinois Press.

———. (1989) *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism.* Urbana: University of Illinois Press.

Suppes, P. (1960) 'A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences'. *Synthese*, 12, pp. 287-301.

———. (1962) 'Models of data'. In Nagel, E., Suppes, P. & Tarski, A. *Logic, Methodology and Philosophy of Science.* Stanford: Stanford University Press.

———. (1975) 'O que é uma teoria científica?'. In Morgenbesser, S. (org.) *Filosofia da Ciência.* São Paulo: Cultrix/Edusp.

———. (1993)*Models and Methods in the Philosophy of Science: Selected Essays.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Tarski, A. (1941) 'On the Calculus of Relations'. *The Journal of Symbolic Logic*, vol. 6, 3, pp. 73-89.

Toraldo di Francia, G. (1978) 'What is a physical object?'. *Scientia*, 113, pp. 57-65.

van Fraassen, B. (1980) *The Scientific Image.* Oxford: Clarendon Press.

Votsis, I. (2003) 'Is Structure Not Enough?'. *Philosophy of Science*, vol. 70(5), pp. 879-890.

———. (2004) The epistemological status of scientific theories: an investigation of the structural realist account. PhD Thesis.

Worrall J. (1989) 'Structural Realism: The Best of Both Worlds?' *Dialectica*, 43, pp.

99-124.

Zahar, E. (2001) *Poincaré's Philosophy: From Conventionalism to Phenomenology.* Chicago and La Salle (IL): Open Court.