

O REALISMO QUÍMICO E AS DUAS FACES DE JANUS

Luciana Zaterka

Universidade Federal do ABC, Brasil

orcid.org/0000-0002-4933-8534

Ronei Clécio Mocellin

Universidade Federal do Paraná, Brasil

orcid.org/0000-0003-4093-672X

RESUMO: As entidades inobserváveis postuladas pelos químicos em diferentes épocas existem realmente, ou seja, em sua dimensão ontológica? Consideramos que no debate filosófico contemporâneo entre realistas e antirrealistas científicos, a ênfase na questão acerca da existência deve ser aprofundada, pois interessa compreender também se essas entidades químicas intervêm ou não nos fenômenos estudados. É por isso que ao propor refletir sobre as entidades inobserváveis, que todos os químicos mobilizam em seus laboratórios, além do lado representativo, teórico, abstrato desse conhecimento, deve-se enfatizar seu âmbito intervencionista, prático e, portanto, operatório e laboratorial. Sustentaremos, aqui, ser possível identificar o que chamaremos de um realismo químico prático e operatório ao longo da história da química.

PALAVRAS-CHAVE: Realismo Químico. Materialidade. Experimentação. Representação. Instrumentos de papel.

CHEMICAL REALISM AND THE TWO FACES OF JANUS

ABSTRACT: Do the unobservable entities postulated by chemists at different times really exist, in Other words, in their ontological dimension? We consider that in the contemporary philosophical debate between scientific realists and anti-realists, the emphasis on the question of existence must be deepened, since it is also important to understand whether or not these chemical entities intervene in the phenomena studied. This is why, when proposing to reflect on the unobservable entities that all chemists mobilize in their laboratories, in addition to the representative, theoretical, abstract side of this knowledge, we must emphasize its interventionist, practical and therefore, operative and laboratory scope. We will argue here that it is possible to identify what we will call a practical and operative chemical realism throughout the history of chemistry.

KEYWORDS: Chemical Realism. Materiality. Experimentation. Representation. Paper tools.

INTRODUÇÃO

A imagem de Janus, Deus romano das mudanças e transformações, nos serve como uma bela alegoria da história e das implicações filosóficas, sociais, econômicas e ambientais do conhecimento químico dos materiais. Na antiga religião romana, Janus é o Deus das portas, pórticos e passagens, aquele que representa o início e as transições. Ele é descrito como possuindo uma cabeça com duas faces, voltadas para direções opostas, simbolicamente olhando em direção ao passado e ao futuro. Enquanto alegoria ele pode representar, de maneira mais imediata, tanto as funções benéficas que a ciência química presta à humanidade, como seu poder de causar malefícios, tais como toxicidade e desastres ambientais. Essa dualidade, porém, está longe de ser uma parte trivial da atividade química. A mesma cloroquina utilizada, desde os anos 1930, para tratamento da malária, mostrou-se inadequada recentemente para combater o coronavírus. A água que, graças ao químico, é purificada e chega a bilhões de pessoas ao redor do mundo, em alguns lugares pode se tornar tóxica e mortal por meio de consequências desta mesma ciência. De modo mais profundo, Janus simboliza os dualismos e tensões, mas igualmente as dificuldades em reduzir o conhecimento químico a simplificações ou categorizações, tais como de uma ciência maléfica ou benéfica.

Há, ainda, um outro modo em que Janus pode servir à química enquanto alegoria. Sendo o deus das transições, ele pode ser tomado como um símbolo da criação, da temporalidade, da geração e da composição. E, se tem algo que é o núcleo duro da química, são as inúmeras substâncias criadas e transformadas pelos químicos a cada dia. Mais de 30 milhões de substâncias são produzidas atualmente por meio da síntese. Esse número tem sido duplicado a cada 13 anos, o que nos permite antever a marca de aproximadamente 280 milhões de novas substâncias químicas disponíveis em menos de três décadas.

Passado e futuro, aqui, são absolutamente interligados. Uma molécula criada pode manifestar determinadas propriedades em um certo contexto, por exemplo, isolada em um tubo de ensaio ou imersa no citoplasma, mas outras, bem diferentes, quando introduzidas no meio ambiente e relacionada a um outro “ecossistema”, com substâncias e contextos distintos, que é o caso de muitos organismos geneticamente modificados (ZATERKA; MOCELLIN, 2022, Cap.5). Se a química possui uma identidade, é essa sua capacidade de lidar com as moléculas não somente na sua criação, mas sobretudo no seu *vir-a-ser* e nas inúmeras maneiras de “manuseá-las”, estejam elas na cana de açúcar, nos plásticos, na purificação do oxigênio ou na fabricação dos cloro flúor carbonos (CFCs). Esses últimos são exemplos que ilustram bem a dupla face do nosso “Janus químico”, pois se, num primeiro momento, sua síntese em

laboratório constituiu um grande avanço técnico para a “indústria do frio”, décadas depois eles revelaram sua face destruidora da camada de ozônio.

Podemos adicionar à imagem de Janus um último elemento constituinte da ciência química, que nos importa mais de perto. Do ponto de vista epistêmico, o conhecimento químico tem uma marca distintiva, própria e singular: ele encontra-se entre os âmbitos do teórico e prático, do abstrato e concreto. Isso significa que a sua filiação não decorre somente do registro conceitual, mas, pelo contrário, suas raízes localizam-se na tradição baconiana do “fazedor de conhecimento”, dos artesãos e artífices. Assim, a química é uma atividade científica que historicamente jamais separou aquilo que Bruno Latour chama de “lado de dentro” (os laboratórios) e o “lado de fora” (LATOUR, 2019, cap. 4).

Ao lidar com a materialidade, os químicos partilharam historicamente tanto um lugar específico de trabalho, o laboratório, quanto a necessidade de postular entidades inobserváveis a fim de explicar fenômenos observáveis. Também se defrontaram com a necessidade de representar essas entidades, cujos símbolos e imagens, além de denotá-las, também deveriam servir como guia de possíveis relações/combinções materiais. Assim, nessa atividade, o pensar e o agir devem ser concomitantes, de modo que a operação instrumental e seu produto são híbridos de raciocínio e de prática. Eis o ponto em comum dos químicos na investigação acerca das substâncias químicas manipuladas no laboratório. Essa imbricação fez o conhecimento químico ter uma relação com seus objetos de investigação muito diferente de outras ciências naturais, precisamente porque sempre habitou um território de fronteira entre a teoria e a prática, entre a ciência e a tecnologia. Janus significa representar, mas, sobretudo, intervir.

Dessa natureza limítrofe que caracteriza a ciência química surge um questionamento. Essas entidades postuladas pelos químicos em diferentes épocas existem realmente, ou seja, em sua dimensão ontológica? No debate filosófico contemporâneo, a ênfase da questão altera-se, pois interessa compreender também se essas entidades químicas intervêm ou não nos fenômenos estudados. É por isso que ao propor refletir sobre as entidades inobserváveis, que todos os químicos mobilizam em seus laboratórios, além do lado representativo, teórico, abstrato desse conhecimento, deve-se enfatizar seu âmbito intervencionista, prático e, portanto, operatório e laboratorial. Sustentaremos, aqui, ser possível identificar o que chamaremos de um “realismo químico” prático e operatório ao longo da história da química.

A emergência da química lavoisieriana no final do século XVIII consistiu em um bom exemplo dessa atitude realista operatória e prática. Lavoisier e seus colaboradores defendiam a

adoção de uma nova noção de corpo simples (análise e síntese química), de uma nova nomenclatura, além de uma forma original de representar graficamente os elementos e compostos químicos. No século XIX, o realismo dos químicos também se assentava em uma definição operatória de átomo oferecida por Dalton, assim como na distinção entre átomos e moléculas proposta por Avogadro, o que foi de grande valia para a redefinição da noção de “elemento químico” por Mendeleev e para a construção de sua Tabela Periódica. Essa atitude realista operatória dos químicos também fica explícita no desenvolvimento das representações estruturais das moléculas orgânicas, que tem por modelo icônico o anel benzênico proposto por Kékule na segunda metade do século. Embora o modelo clássico (estático) das estruturas espaciais das moléculas químicas tenha passado por profundas reformulações com o advento da química eletrônica e quântica, a atitude realista operatória dos químicos não se alterou, razão pela qual a sua investigação constitui um dos eixos de argumentação de alguns filósofos acerca da identidade cognitiva da ciência química.

1 – LABORATÓRIOS QUÍMICOS: ENTRE DESCOBERTA E CRIAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS

As químicas e os químicos têm o laboratório como um símbolo de sua profissão. Para além de um lugar de descobertas, o laboratório é, sobretudo, um lugar de criação de novos arranjos materiais. Há muitas diferenças entre o laboratório químico de Lavoisier, cuja sofisticação técnica dos aparatos foi fundamental na elaboração de seu novo sistema químico, e um laboratório contemporâneo, mas eles compartilham a função de ser o espaço epistêmico que possibilita o trabalho de análises e de sínteses de substâncias químicas. Algumas dessas substâncias são descobertas, pois já existem *no mundo*, mas milhões delas são criadas e passam a existir *no nosso mundo*. Isso faz com que a ampliação do nosso conhecimento químico seja concomitante ao aumento do nosso desconhecimento acerca de novas propriedades e de suas interações materiais. Em suma, um laboratório químico não é um espaço de demonstração de leis naturais, mas um lugar onde se articulam e se relacionam os componentes íntimos da matéria, assim como outros níveis da estrutura social, econômica e ambiental.

Se no século XVIII todos os interesses de investigação dos químicos podiam limitar-se a um único laboratório, na contemporaneidade a divisão de trabalho também se estendeu a demandas específicas. Os laboratórios são construídos em função do tipo de investigação

desejada, como as de ensino, que atendem às especificidades de investigação da química analítica, da inorgânica, da orgânica, ou da físico-química. Isso não é diferente para os laboratórios de pesquisas avançadas, cujos objetivos envolvem, entre outros, sintetizar e analisar novas moléculas orgânicas que poderão ser úteis à indústria farmacêutica, à da alimentação ou mesmo à dos perfumes. Mas, quais as implicações em criar uma nova molécula química?

Recordemos aqui o famoso caso da talidomida ($C_{13}H_{10}N_2O_4$), cuja molécula foi sintetizada nos laboratórios pela indústria química Suíça Grünenthal na década de 1950. Essa molécula orgânica foi prescrita para auxiliar mulheres grávidas, entre os anos 1957 e 1962, para minimizar os seus enjoos. Depois de descoberto seu caráter teratogênico que pode acarretar alterações de audição e oculares, dentre outras graves enfermidades, ela foi retirada do mercado. A tragédia da talidomida forçou uma nova regulação nos medicamentos e apontou para a insuficiência do âmbito epistemológico de lidar com essas questões complexas da química orgânica. Afinal, não levar em consideração análises de riscos e de precaução é uma questão sobretudo ética (VANDERBES, 2023).

Se, no caso do laboratório de Lavoisier, nota-se a importância desse espaço nas transformações teóricas do conhecimento químico, nos laboratórios químicos, acadêmicos e indústrias, são projetados e produzidos compostos que podem ter uma pluralidade de interesses e aplicações. Mas nesses laboratórios, além da manipulação instrumental de compostos orgânicos e inorgânicos, outra característica é a necessidade de representar graficamente essas substâncias. Do laboratório de Lavoisier tivemos a emergência de um novo “método de nomear”, assim como novos símbolos para representá-los (GUYTON DE MORVEAU, LAVOISIER *et al*, 1994). Já no caso da talidomida, os efeitos causados puderam ser compreendidos a partir da emergência no século XIX do estudo das estruturas espaciais das moléculas orgânicas. Contudo, o conhecimento obtido no laboratório acerca do fenômeno de isomeria óptica (quiralidade) e do fato de que apenas um dos enantiômeros era o responsável pelas propriedades sedativas e anti-inflamatórias, enquanto o outro seria a causa dos efeitos teratogênicos, não foi suficiente para convencer a indústria química que a produzia de comercializar a mistura racêmica (igual quantidade de enantiômeros dextrogiro e levogiro) do produto. Enfim, foi uma tragédia que teve início no âmbito epistêmico e terminou como um caso criminoso (HOFFMANN, 2000, cap. 27).

2 – EXPERIMENTAÇÃO, REPRESENTAÇÃO E A QUESTÃO DOS MODELOS

O método de análise química posto em prática por Lavoisier o levou à noção de “corpo simples” que, embora provisório, representava o último grau de individualidade material (LAVOISIER, 1965). Em seu livro *New System of Chemical Philosophy* (1808), o físico e meteorologista John Dalton formulou uma hipótese que identificava os “corpos simples” de Lavoisier como sendo átomos de matéria, partículas indivisíveis que entravam em interação quando dois corpos químicos se combinavam. Mas, ao contrário de uma tese metafísica sobre a realidade dos constituintes últimos da matéria (como no atomismo antigo de Demócrito e Leucipo), Dalton indicava que esses átomos poderiam ser identificados por meio de um dado quantitativo, seus “pesos atômicos” relativos (DALTON, 1808).

Determinar esses pesos atômicos relativos dos corpos simples/átomos tornou-se um dos eixos de investigação dos químicos analíticos ao longo do século XIX. O grande esforço dos químicos na determinação dos pesos atômicos relativos justificava-se, pois isso poderia oferecer dados experimentais para uma melhor compreensão da composição das substâncias, assim como uma maneira mais adequada de representar as reações químicas. Essas fórmulas empíricas indicavam, além dos componentes, também as proporções atômicas de reagentes e produtos de uma reação. De fato, a hipótese atômica e o programa experimental para a determinação dos pesos atômicos eram muito sedutores aos químicos, pois poderiam ajudá-los na tarefa de identificar e de classificar um aumento crescente de substâncias químicas.

Porém, a hipótese de Dalton suscitou uma controvérsia que durou mais de um século. Afinal, os átomos existem realmente ou o termo “átomo” deveria ser entendido em um sentido pragmático, apenas para denotar um fenômeno experimental? Os químicos contrários à hipótese de Dalton adotavam uma metodologia fenomenista (positivista) e preferiam empregar o termo “equivalente” para expressar as unidades materiais que entravam em uma determinada composição. O ceticismo em relação à existência dessas entidades inobserváveis foi partilhado tanto por químicos, como os franceses Dumas e Berthelot, quanto destacados físicos-filósofos como Mach, Duhem e Poincaré (KOUNELIS e CHAIROPOULOS, 1997).

No entanto, a hipótese atomista ganhava certa validação empírica nos laboratórios de Berzelius e de Gay-Lussac a partir de experimentos em eletroquímica e com reações entre diferentes gases, respectivamente, além de novos adeptos, embora com interpretações próprias. Entre 1810 e 1816, nada menos que nove sistemas distintos de atomismo químico foram

propostos pelos principais químicos de diversos países. A conexão estabelecida entre os diferentes sistemas atômicos e as fórmulas químicas das substâncias simples e compostas gerava inúmeras controvérsias que somente serão apaziguadas em um congresso internacional de químicos realizado em 1860, em Karlsruhe, o primeiro desse gênero na história da ciência. Porém, o que nos interessa destacar é o fato de que a hipótese atomista foi utilizada como um modelo hipotético-dedutivo que permitia aos químicos teorizarem sobre a composição das substâncias químicas, além de imaginar qual seria a disposição espacial de seus átomos (ROCKE, 2001).

Dalton também propôs um dos primeiros modelos de representação para mostrar as relações espaciais dos átomos dentro das moléculas. Utilizando círculos para representar os átomos, que eram distribuídos em função de suas afinidades químicas, a molécula era representada de modo bidimensional. Os diagramas de Dalton foram importantes devido à correspondência espacial direta entre as posições relativas dos círculos no papel e as posições relativas dos átomos nas moléculas representadas (VOLLMER, 2005). Esse modelo gráfico de Dalton foi deixado de lado pelo químico sueco Berzelius que, em um artigo de 1813, propôs representar átomos e moléculas através de letras e formulas simbólicas, de modo que, por exemplo, a molécula de água e do álcool etílico eram representadas, respectivamente, pelas fórmulas H_2O e C_2H_6O . Para Ursula Klein, assim como os diagramas de Dalton, o modelo de representação de fórmulas químicas de Berzelius serviu aos químicos ao longo do século XIX como “instrumentos de papel” (*paper tools*) no desenvolvimento de sistemas classificatórios em química orgânica. Segundo ela, essa noção de “instrumentos de papel” implica na afirmação de que os cientistas muitas vezes aplicam representações ou sistemas de signos em geral com o mesmo propósito epistêmico e de uma maneira semelhante aos instrumentos de laboratório em sentido estrito: produzir novas representações de objetos ou processos invisíveis. Evidentemente, ao contrário dos instrumentos de laboratório, eles não interagem fisicamente com o objeto sob investigação. Mesmo assim, são ferramentas que podem ser manipuladas no papel para criar representações de um objeto científico (KLEIN, 2001).

Outra hipótese importante que fez parte da querela sobre a ontologia dos átomos sustentava que volumes iguais de quaisquer gases, nas mesmas condições de temperatura e pressão, sempre teriam um mesmo número de partículas. Conhecida como hipótese de Avogadro, e baseada em uma lei empírica derivada do estudo dos gases, ela permitiu aos químicos diferenciarem os termos “átomo” e “molécula”, de modo que as moléculas eram

formadas pela combinação por dois ou mais átomos tanto iguais, como no caso do oxigênio (O_2), quanto diferentes como no caso da água (H_2O). Essa distinção foi importante para o químico russo Mendeleev apontar a diferença entre “corpos simples” e “elementos químicos”, deixando de considerar essas expressões como sinônimas, como fizera Lavoisier. Na introdução aos seus *Princípios de Química*, Mendeleev salienta que é importante fazer uma distinção clara entre a noção de “substância simples”, entendida como substância homogênea isolada por um processo de análise, da noção de noção de “elemento químico”, que deveria ser considerado em sentido abstrato como tendo uma propriedade essencial: seu peso atômico. O conceito abstrato do elemento proposto por Mendeleev originou-se do fenômeno de alotropia, cujo caso mais conhecido é do carbono (grafite, diamante ...). Assim, o termo “elemento químico” deixou de denotar o produto final de um processo de análise química e passou a se referir a uma medida relacional e abstrata, ou seja, aos pesos atômicos obtidos por técnicas experimentais (MENDELEEV, 1890, p. 476).

Para Eric Scerri, a tabela periódica de Mendeleev também é um “instrumento de papel”, tal como proposto por Klein, pois possibilitava aos químicos efetuarem previsões de possíveis combinações. Scerri aponta, ainda, que apesar da retórica de longa data na filosofia da ciência sobre a necessidade de fornecer mais atenção aos modelos do que às teorias, ou aos aspectos linguísticos em geral, a importância na investigação desses instrumentos de papel na ciência continua a ser negligenciada pelos filósofos. Na química, em particular, esse fato parece indesculpável, dada a importância óbvia das fórmulas e das representações moleculares de todos os tipos (SCERRI, 2001).

Mesmo químicos que não acreditavam na existência real dos átomos fizeram uso dessa hipótese atomista como um instrumento racional capaz de fazer previsões interessantes. Foi o caso do químico Kekulé que, em 1864, propôs uma estrutura espacial e cíclica de um importante composto para a química de sínteses orgânicas, o benzeno (C_6H_6). A proposta de Kekulé baseava-se teoricamente nas ideias do químico francês Gerhardt que, inspirado pela geometria dos cristais, propôs a chamada “teoria dos tipos”. Trata-se de um modelo que permitia classificar os compostos químicos em referência a quatro tipos: hidrogênio (H_2), água (H_2O), amônia (NH_3) e metano (CH_4). Esses modelos-tipo não tinham nenhuma relação com as estruturas reais desses compostos, mas permitiam agrupar uma diversidade de substâncias químicas, bem como determinar a capacidade de ligação de cada átomo, sua atomicidade ou valência (GÖRS, 1997).

Foi a partir dessa teoria que químicos alemães passaram a explorar a estrutura de compostos orgânicos. Um exemplo interessante foi justamente a descoberta da estrutura cíclica para a molécula do benzeno por Kekulé, que também se apoiava na hipótese de que o átomo de carbono efetuava quatro ligações químicas orientadas para os vértices de um tetraedro. Como toda a química orgânica fundamenta-se no átomo de carbono, a hipótese de que suas ligações se orientam no espaço tridimensional será um importante instrumento na proposição de modelos que representem espacialmente as moléculas orgânicas. Para Carsten Reinhardt e Anthony Travis, a determinação da estrutura do benzeno, associada com o tipo amônia (NH_3), ofereceu um “instrumento de papel” que levou à síntese da anilina ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$), molécula que simboliza a associação entre a academia e o desenvolvimento da indústria química na Alemanha do início do século XX (REINHARDT; TRAVIS, 2001).

A querela sobre a existência real dos átomos não foi encerrada pelos químicos, mas pelos físicos. De fato, foi a partir da investigação do movimento browniano por Einstein em 1905 e, sobretudo, em 1913 pela determinação experimental por Jean Perrin do número de Avogadro (6×10^{23}), através de treze procedimentos distintos, que não restou mais dúvidas quanto à existência material dos átomos (PERRIN, 1970). Curiosamente, o triunfo da teoria atômica veio acompanhado de uma modificação do seu significado original, a de ser algo indivisível; pois, desde o final do século XIX, sabia-se da existência de uma partícula ainda menor, os elétrons. A emergência da química eletrônica, que compreendia as relações entre os elementos químicos a partir de seus elétrons de valência, também teve implicações nas representações estruturais das moléculas. Até então, os químicos consideravam modelos rígidos como representação de estruturas de moléculas. No entanto, novos dados experimentais exigiram uma nova conceituação teórica. O modelo rígido foi substituído por um modelo dinâmico no qual a estrutura molecular era alterada sob a influência das condições experimentais. Por exemplo, a teoria clássica das estruturas moleculares encontrava dificuldade para produzir modelos satisfatórios para compostos aromáticos como o benzeno. Houve tentativas de resolver o problema atribuindo diversas estruturas a um único composto aromático e a teoria da ressonância foi uma dessas tentativas. Mas foi necessário reformular o modelo clássico a partir da estrutura conceitual da mecânica quântica, como o princípio de indeterminação de Heisenberg, para se compreender que a estrutura molecular depende do tipo do aparato experimental empregado em sua determinação. Assim, os modelos teóricos podem ser bem corroborados empiricamente e oferecer informações acerca do comportamento

estrutural de uma molécula, mas eles não podem ser tratados como representações de sistemas empíricos reais, embora desempenhem um lugar fundamental na prática experimental (ZEIDLER, 2000).

Enfim, a questão da ontologia dos átomos e moléculas químicas também serviu para introduzir o debate contemporâneo entre realistas e antirrealistas científicos. Contudo, faz-se necessário notar que o debate filosófico sobre a existência de átomos pode nos levar a fazer as conexões atomismo = realismo e antiatomismo = antirrealismo, e isso é um equívoco. Por exemplo, o químico Gerhardt, grande defensor do atomismo na França, empregava o conceito de átomo na construção de “modelos moleculares” e “tipos químicos” que serviam como instrumentos simbólicos ou “fórmulas racionais”, mas que não pretendiam ter nenhum compromisso ontológico com a existência efetiva desses tipos na natureza.

De fato, as fórmulas estruturais inventadas pelos químicos do século XIX não representavam a organização real dos átomos nas moléculas, mas nem por isso eram simples convenções de escrita. Elas eram “*paper tools*” que exprimiam, por exemplo, as capacidades de ação e de relação (valência ou atomicidade) dos átomos, de maneira que a questão mais relevante para os químicos era a realidade experimental praticada no laboratório e não a de demonstrar a elementaridade da matéria. Assim, as entidades inobserváveis postuladas pelos químicos não eram chaves de explicação da constituição última da matéria, mas sim instrumentos para agir, tanto no laboratório quanto no gabinete de estudo.

3 – REALISMO QUÍMICO

Durante muito tempo o debate acerca do realismo científico na química ficou estagnado. A razão é simples: até a década de 1990 observamos poucos estudos em filosofia da química, afinal, o que era valorizado, até então, eram os estudos de filosofia da matemática, física e astronomia. Lembremos que desde a Revolução Científica moderna o âmbito do teórico sempre foi visto como superior ao mundo sensível, corporal, tangível e visível das ciências relacionadas à matéria. Na medida em que a filosofia da química começa a se institucionalizar, com a defesa dos filósofos por uma identidade cognitiva e por uma autonomia disciplinar do conhecimento químico, um dos temas mais importantes de discussão era com relação à natureza das entidades inobserváveis, aquelas que, desde sempre, são operadas pelos químicos (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2008; ZATERKA & MOCELLIN, 2022, Introdução).

Mas será que químicos se posicionam sempre a favor da realidade de prótons, fótons e quarks e nas respectivas teorias que os sustentam, ou negam a existência de tais inobserváveis? Ian Hacking formula uma posição original frente a essa dicotomia que podemos designar de um realismo mais moderado, um realismo de entidades. Esse tipo de realismo científico aparece já no seu clássico livro *Representar e intervir: tópicos introdutórios da ciência natural* (1983), que pode ser um primeiro caminho para abordarmos a questão do realismo na química, uma vez que enfatiza um aspecto nuclear dessa ciência, qual seja, o âmbito operacional e experimental do conhecimento.

Apesar do realismo experimental de Hacking não ter sido elaborado diretamente a partir de questões da química, e sim da física experimental de altas energias e da microscopia biológica, ele possui uma forte ressonância na ciência dos materiais:

[...] a física experimental oferece a evidência mais forte para o realismo científico. Entidades que em princípio não podem ser observadas são regularmente manipuladas para produzir novos fenômenos e para investigar outros aspectos da natureza. Elas são ferramentas, instrumentos não para pensar, mas para fazer (...) o experimentalista não acredita em elétrons porque (...) eles “salvam os fenômenos”. Ao contrário, acreditamos neles porque os usamos para criar novos fenômenos (HACKING, 1983, p. 71).

Se trocarmos a palavra “fenômenos” por “substâncias”, na citação acima, encontraremos um fértil terreno para refletir sobre esse realismo no âmbito químico. Afinal, ao propor essa nova visão sobre o realismo, o filósofo mostra que o cerne da questão não se encontra na veracidade acerca das entidades postuladas pelas ciências. Dessa perspectiva, a importância dos inobserváveis não está na sua dimensão ontológica, mas metodológica. O que mobiliza, então, esse realismo de entidades é o seu caráter pragmático. A eventual crença de cientistas sobre a realidade dessas entidades não tem relação com a verdade das teorias, mas, no limite, com a sua manipulação prática na criação de determinados fenômenos. Ora, se o âmbito intervencionista da ciência ganha finalmente um *locus* privilegiado, observamos um rompimento com a tradição positivista que afirmava que toda a teoria, sendo confirmada ou refutada, condicionaria o experimento. É por isso que, como vimos acima, os químicos não estão preocupados com o estatuto ontológico dos modelos, mas com a sua eficácia instrumental (*paper tools*) no entendimento e previsão de processos químicos.

Em *Representar e Intervir*, o autor traz o seu exemplo mais famoso a favor de sua tese, um experimento para detectar a existência de cargas elétricas fracionárias, os quarks. Para tanto,

um jato de elétrons é bombardeado em uma esfera de nióbio, com o objetivo de alterar a sua carga. Mas, como alterá-la? Se o intuito era aumentar a carga, bombardeia-se o nióbio com pósitrons, mas, se a finalidade era diminuir a carga, bombardeia-se com elétrons. Hacking, em seguida, afirma “até onde eu sei se podemos bombardear alguma coisa, elas devem ser reais”. Nesse momento, ele “converteu-se ao realismo de entidades” (1983, p. 83). Os elétrons são considerados, nesta perspectiva, ferramentas para que cientistas possam manipular o âmbito material. Eles são reais na medida em que seus respectivos poderes causais permitem controlar ou criar de maneira regular fenômenos existentes na realidade.

O filósofo canadense defende, portanto, a necessidade da valorização de uma filosofia experimental, como proposta por Francis Bacon:

Hoje a história das ciências naturais é quase sempre escrita sobre a forma de uma história da teorização. A filosofia da ciência tornou-se a filosofia da teoria, e chegou-se ao ponto até de se colocar em dúvida a existência de observações ou experimentos que antecedessem as teorias. Espero (...) iniciar um movimento de retorno a Bacon, de modo que possamos atentar mais seriamente para a ciência experimental. A experimentação possui vida própria (HACKING, 1983, p. 236).

Lembremos, aliás, que no seu livro ele abre um tópico específico intitulado “Tópicos Baconianos”, tal o lugar que ele fornece para o inspirador da *Royal Society*. De fato, se pensarmos na importância da eletrólise, na qual, ao utilizar energia elétrica, o químico efetiva uma reação química que pode produzir substâncias que não são encontradas na natureza, ou ainda na química sintética com a sua potência de criar um conjunto imenso de novas substâncias, talvez não devêssemos questionar a “realidade” destas novas substâncias. Afinal, todos podem observar os resultados: antibióticos, fertilizantes, tintas, comidas. A química parece fornecer elementos bastante suficientes para mostrar a plausibilidade do realismo experimental de Hacking. Inclusive ele consegue lidar com um argumento contra o realismo de teorias, o conhecido argumento indutivo da metaíndução pessimista. Este utiliza exemplos da história das ciências para mostrar que teorias bem-sucedidas no passado, hoje em dia, podem ser consideradas falsas, tais como o flogisto, o calórico, os humores, etc. Pensemos novamente no elétron. Ele já foi utilizado como parte da teoria da mecânica clássica de Newton na modernidade, da eletrodinâmica, em meados do século XIX e da quântica nos séculos XX e XXI, e, em cada uma delas, possuía uma conceitualização distinta. Apesar dessas mudanças, os cientistas continuam a operar com a existência deles, independentemente de qual seja a teoria pressuposta. Nesse sentido, o que importa para essa perspectiva epistêmica é a crença na

existência (ou não) de certas entidades e essa existência não tem relação com a verdade das teorias associadas. Portanto cientistas podem, no limite, operar com vários modelos de elétrons, pois, para o realismo de entidades, o que importa é a funcionalidade dessas partículas.

E aqui chegamos a um ponto interessante dessa perspectiva epistêmica. A boa ciência não é aquela que permite um instrumental teórico que represente melhor o mundo e, portanto, nos diga o que o mundo é; mas a boa ciência é aquela que permite intervir no mundo quando, por exemplo, criamos novos fenômenos, novas tecnologias e, no caso da química, novas substâncias e novas moléculas. Os químicos não se interrogam pela realidade das ferramentas, dos modelos ou instrumentos pelos quais trabalham, afinal, o âmbito da ação e da operação é anterior ao da teoria ou da nomenclatura. Claro que isto não significa uma recusa do âmbito teórico, mas essa teoria é “co-produzida” pelo químico no laboratório. Em outras palavras, pela própria natureza prática da química não há uma imbricação, como na filosofia da física, entre os seus pressupostos teóricos e um realismo forte. Esta “co-produção” pode ser vista pelo próprio trabalho de Hacking que afirma que os experimentos não são totalmente desprovidos de teorias. O filósofo, exatamente no seus “Tópicos Baconianos”, faz uma analogia ao utilizar os hábitos da abelha, com a posição baconiana presente no aforismo XCV do Livro I do *Novum Organum* em que Bacon mostra a importância do trabalho da abelha, frente ao das formigas e aranhas. Afinal nem empiristas, nem racionalistas sozinhos conseguem dar conta de uma efetiva filosofia experimental em que há a necessidade da combinação de teorias especulativas e da prática experimental.

Em seu livro *Chemistry: The Impure Science*, os autores Bensaude-Vincent e Simon (2008) referem-se à natureza híbrida da química, à sua constante mistura de ciência e tecnologia, e consideram que a química constitui um excelente exemplo para desenvolver a concepção de um realismo operatório/prático que se opõe ao realismo científico padrão, por um lado, e ao antirrealismo, por outro. Na química, o conhecedor e o mundo que é conhecido são todos formados na e pela prática como aspectos legítimos da realidade objetiva (material), e as entidades invisíveis não são as chaves para a compreensão da realidade por detrás dos fenômenos, mas sim um conjunto de ferramentas ou instrumentos com os quais se podem agir em coisas materiais. Nessa interpretação, a ação vem em primeiro lugar, antes da conceitualização, da nomenclatura ou da teoria. Contudo, os autores apontam que seria um equívoco qualificar essa posição filosófica como “instrumentalismo”, pois esse termo já é aplicado a filosofias que interpretam as teorias como ferramentas convencionais de cálculo ou

classificação, sem fazer quaisquer afirmações sobre a realidade, o que caracteriza uma posição filosófica antirrealista. Sendo impossível definir o estatuto das entidades químicas sem se levar em conta a dualidade da química como ciência natural e tecnologia produtiva, os autores sustentam que a ontologia dos químicos deve ser considerada em relação a um projeto de intervenção ou de atividade. Assim, Bensaude-Vincent & Simon consideram que a posição filosófica característica do químico no laboratório é a de um realismo operacional, uma noção próxima do realismo de entidades de Hacking, mas que por incluir, como veremos a seguir, capacidades ou potenciais, tornam esse realismo mais complexo, o que o aproxima da posição de Nancy Cartwright que tem defendido consistentemente a realidade potencial da natureza (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2008, cap. 12).

Cartwright problematiza, em seu instigante e controverso *How the Laws of Physic Lie* (1983), o conceito de modelos científicos como simulacros de explicações. Essa postura ontológica é um desdobramento de seu posicionamento no qual teorias e leis científicas não são verdadeiras em relação à realidade. Seguindo a perspectiva de Hacking, ela irá mostrar que a melhor via para essa discussão deve seguir o âmbito experimental. Porém, diferente do autor canadense, afirma que as inferências para a causa mais provável não estão sujeitas à redundância como o modelo de explicação de cobertura por leis de Hempel (1965). Haveria um componente existencial em tais explicações causais. Dessa forma, a diferença entre explicação teórica e explicação causal permite a Cartwright reconhecer propriedades experimentais de entidades teóricas, inferindo causas concretas de efeitos concretos. Na medida em que podemos testar as causas e verificar como isso modifica os efeitos, também podemos inferir as entidades teóricas que são responsáveis pelos efeitos estudados sem que isso esteja relacionado ao sucesso explicativo de qualquer teoria (OLIVEIRA, 2019, p. 729).

O interessante é que a filósofa enfatiza, ao operar com o seu critério de manipulabilidade, algo fundamental para a ciência química: a questão existencial ou as propriedades envolvidas em um determinado contexto. Ela discute, ao tomar como exemplo a esfera de Níobio utilizada por Hacking, que embora não possamos fazer um buraco para deixar os elétrons escorrerem diante dos nossos olhos, podemos detectar outros efeitos, tais como a alteração da taxa de queda da esfera, se pósitrons do emissor aniquilarem os elétrons da esfera. Assim, “o que eu invoco ao completar essa explicação não são leis fundamentais da natureza, mas antes *propriedades dos elétrons e pósitrons* e alegações muito complexas e muito específicas sobre como o seu comportamento leva a essa situação” (CARTWRIGHT, 1983, pp.

90-91, grifo nosso). Determinadas causas produzem determinados efeitos em situações específicas. É por isso que em outro texto, intitulado *Nature's capacities and their measurement* (1989), ela discute que a ciência pode lidar com capacidades, ou seja, disposições de certas substâncias para agirem em circunstâncias determinadas, por exemplo, a aspirina possui a capacidade, quando ingerido, de amenizar dores de cabeça, embora nem sempre isso ocorra, pois depende das circunstâncias, das relações entre o sujeito e o fármaco. Aqui a autora abre uma perspectiva interessante para pensarmos em um tipo de realismo em química, aquele que talvez pudéssemos chamar de realismo de propriedades.

Na medida em que tomamos a química a fim de estudarmos a querela entre realistas e antirrealistas científicos, consideramos ser difícil refutar uma posição realista em relação às entidades, às operações e às propriedades das estruturas moleculares. Esse realismo, contudo, não deve ser entendido em sentido forte, mas em um sentido prático e informacional. Desse modo, a química fornece um excelente exemplo para o desenvolvimento da concepção de um realismo prático, operatório e de propriedades que vai contra o realismo científico padrão, por um lado, e contra o antirrealismo, por outro. Na química, revela-se, por assim dizer, evidente que o conhecimento, o conhecedor e o mundo que é conhecido sejam todos formados na e através da prática como os aspectos legítimos da realidade objetiva (material) (VIHALEMM, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A analogia entre o deus Janus e o conhecimento químico, além de destacar os aspectos positivos e negativos dessa ciência, também nos ajuda a compreender a natureza de seu realismo prático, operatório e de propriedades. Pois, ao mesmo tempo que devemos prestar atenção nas entidades, estruturas e leis que regem as transformações materiais, devemos nos interrogar qual será o *vir-a-ser* das realidades criadas nos laboratórios químicos, acadêmicos e industriais. Como vimos, o realismo químico não resulta em um compromisso metafísico forte acerca da realidade como ela é efetivamente. As teorias da química também não são decorrentes unicamente de observações experimentais (empirismo), pois as entidades inobserváveis postuladas pelos químicos são fundamentais na condução e na explicação das operações de laboratório. Mas, teríamos como apontar um conceito estruturante desse realismo operacional e prático da química?

Em meados do século XX, o psicólogo James J. Gibson introduziu em seus estudos o conceito de *affordance* com a finalidade de encontrar uma explicação para o conhecimento dos corpos que fosse mais integral e relacional. Nesse sentido, ele pretendeu operar simultaneamente com o agente, o meio/contexto e o objeto a ser conhecido. Um determinado bebedouro, por exemplo, pode servir, dependendo da finalidade de quem o vai utilizar, para beber água ou lavar a mão. O objeto, portanto, propicia diferentes *affordances* que vão depender do posicionamento do sujeito para que uma determinada ação ocorra (GIBSON, 1979).

Os *affordances* não são os mesmos para todos os agentes, pois, dependendo dos objetivos e intenções do sujeito, as percepções das potencialidades podem ser diferentes. Do ponto de vista gibsoniano, *affordance* é entendido como uma relação funcional entre um objeto no espaço e um indivíduo com uma constituição física específica em determinado ambiente. Para nós é importante salientar que um *affordance* exige a capacidade de ação do agente. Por exemplo, uma janela aberta pode ter um *affordance* diferente para um ladrão, para um homem apenas curioso ou para o proprietário que a quer aberta para simplesmente ventilar o ambiente. Nessa perspectiva epistêmica, segundo a qual as essências não são enfatizadas, temos uma abertura para as potencialidades dos objetos e do meio, ou seja, é na relação entre as propriedades do objeto e as capacidades do agente, que se dará a utilização do objeto.

Esse conceito foi reapropriado pelo epistemólogo Rom Harré como uma ferramenta útil para se pensar questões nucleares ligadas à filosofia da química, tais como a pluralidade de comportamentos das entidades químicas (cf. HARRÉ, 1986). Ao adotar o conceito de *affordance* para analisar a natureza dos estudos químicos, Harré afirma que os “fatos” químicos são atributos não de um mundo independente, revelado pelo uso de aparelhos, mas são propriedades disposicionais de uma entidade híbrida – uma união indissolúvel de aparelho, experimentador e mundo (HARRÉ, 2014). Obviamente, os aparelhos podem ser desligados, desmontados, lavados e colocados de volta no depósito. O assistente de laboratório vai para casa no final do dia. No entanto, quando o aparato é colocado em uso por um químico, ele se relaciona com o mundo de tal maneira que os fenômenos que ele exibe só podem existir quando o aparato é integrado materialmente ao mundo. Ora, sem o aparato, os fenômenos da química não ocorrem, mas é um *insight* filosófico importante perceber que eles também não fazem sentido. Ausentes do mundo, os fenômenos não ocorrem nem fazem sentido, no limite são meros atributos do equipamento. O híbrido de mundo-aparelho-experimentador está no cerne do significado dos vocabulários que usamos para descrever os fenômenos químicos. É claro

que os fenômenos são apenas o que são aos olhos de um observador, mas é importante reconhecer também a presença implícita do aparato. Não é, como afirma o epistemólogo, uma janela transparente para o mundo (HARRÉ, 2014).

Enfim, o conceito nos traz uma perspectiva importante para ampliarmos a questão do realismo na química. Por meio de Hacking, Bensaude-Vincent e Cartwright vimos que ele pode ser compreendido por meio de entidades; operatório, mas co-produzido pelas teorias; e deve mobilizar as capacidades das substâncias. Acreditamos que essas capacidades devem ser compreendidas na relação com as circunstâncias, entenda-se no ecossistema no qual essas substâncias estão envolvidas.

REFERÊNCIAS

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; SIMON, Johnathan. *Chemistry: The Impure Science*. London: Imperial College Press, 2008.

CARTWRIGHT, Nancy. *How the laws of physics lie*. Oxford: Oxford University Press, 1983.

_____. *Nature's capacities and their measurement*. Oxford: Oxford University Press, 1989.

DALTON, John. *New System of Chemical Philosophy*. Manchester: Bickerstaff, 1808.

GIBSON, James J. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 1979.

GÖRS, Britta. Sous mes yeux voltigeaient les atomes. *Les Cahiers de Science & Vie*, Hors Série, n°42, Décembre, pp. 48-55, 1997.

GUYTON DE MORVEAU, Louis-Bernard ; LAVOISIER, Antoine *et al.* *Méthode de nomenclature chimique*. Introduction de Bernadette Bensaude-Vincent. Paris: Éditions du Seuil, 1994 [1787].

HACKING, Ian. *Representar e Intervir- tópicos introdutórios da ciência natural*. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2012.

HARRÉ, Rom. New Tools for Philosophy of Chemistry. *Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 20, pp. 77-91, 2014.

HEMPEL, Carl G. *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of Science*. New York: The Free Press, 1965.

HOFFMANN, Roald. *O mesmo e o não-mesmo*. Trad.: Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora Unesp, 2000.

KLEIN, Ursula. The Creative Power of Paper Tools in Early Nineteenth-Century Chemistry. In KLEIN, Ursula (Ed.). *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*. Dordrecht: Springer, 2001, pp. 13-34.

KOUNELIS, Catherine, CHAIROPOULOS, Patricia. Les débus d'une longue querelle. *Les Cahiers de Science & Vie*, Hors Série, n°42, Décembre, pp. 15-22, 1997.

LATOURE, Bruno. *Jamais fomos modernos: Ensaio de antropologia*. São Paulo: Editora 34, 2019.

LAVOISIER, Antoine. *Traité Élémentaire de Chimie. Présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*. Bruxelles: Culture et Civilisations, 1965 [1789].

MENDELEEV, Dimitri. *Principes de chimie*. v. 1. Traduzido do russo por M. E. Achkinasi & M. H. Carrion. Paris: Bernard Tignol, 1890, p. 476.

OLIVEIRA, Tiago Luis Teixeira. Uma proposta em dois passos para reabilitar o realismo experimental. *Kriterion*, 60, 144, pp. 727-748, 2019.

PERRIN, Jean. *Les atomes*. Paris: Gallimard, 1970.

REINHARDT, Carsten; TRAVIS, Anthony S. Aspects of paper tools in the Industrial-Academic Context: Constitutions and Structures of Aniline Dyes, 1860-1880. In KLEIN, Ursula (Ed.). *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*. Dordrecht: Springer, 2001, pp. 79-94.

ROCKE, Alan. Chemical Atomism and the Evolution of Chemical Theory in the Nineteenth. In KLEIN, Ursula (Ed.). *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*. Dordrecht: Springer, 2001, pp. 1-11.

SCERRI, Eric. The Periodic Table: The Ultimate Paper Tool in Chemistry. In KLEIN, Ursula (Ed.). *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*. Dordrecht: Springer, 2001, pp. 163-178.

VAN FRAASSEN, Bas C. *A imagem científica*. Trad.: Luiz Henrique de Araújo Dutra. São Paulo: Editora UNESP, 1980.

VANDERBES, Jennifer. *Wonder Drug: The Secret history of thalidomide in America and its hidden victims*. New York: Random House, 2023.

VIHALEMM, Rein. Philosophy of Chemistry against Standard Scientific Realism and Anti-Realism. *Philosophia Scientie*, 19, 1, pp. 99-113, 2015.

VOLMER, Sara H. Space in Molecular Representation; Or How Pictures Represent Objects. In BAIRD, Davis.; SCERRI, Eric. & MCINTYRE, L. (Ed.). *Philosophy of Chemistry*. Dordrecht: Springer, 2006, pp. 293-308.

ZATERKA, Luciana; MOCELLIN, Ronei C. *Ensaio de história e filosofia da química*. São Paulo: Ideias&Letras, 2022.

ZEIDLER, Pavel. The epistemological Status of Theoretical Models of Molecular Structure. *Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry*, v. 6, p. 17-34, 2000.

I – INFORMAÇÕES SOBRE OS AUTORES

Luciana Zaterka

Possui graduação em Química pela Universidade Mackenzie e mestrado em Química Orgânica pelo Instituto de Química da USP. Fez a graduação, o mestrado e o doutorado em Filosofia pela Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da USP (FFLCH-USP). Fez o pós-doutoramento em História da Ciência pela PUC-SP. Atualmente é Professora Associada da Universidade Federal do ABC (UFABC), atuando na Graduação e na Pós-Graduação. É professora do Programa de Pós-graduação em Filosofia da Universidade Federal do Paraná desde 2021. Suas pesquisas estão voltadas à filosofia moderna, teoria do conhecimento e filosofia da química. Possui dois livros publicados: *A filosofia experimental na Inglaterra do século XVII* (FAPESP/Humanistas) e *Ensaio de História e Filosofia da Química* (Ideias & Letras), além de inúmeros artigos e capítulos de livro publicados em revistas especializadas. E-mail: luciana.zaterka@ufabc.edu.br

Ronei Clécio Mocellin

Graduado em Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), mestre em filosofia pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), doutor em filosofia pela Universidade de Paris e tem pós-doutorado em Filosofia pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do Departamento de Filosofia da Universidade Federal do Paraná na cadeira de Filosofia da Ciência desde 2014, atuando nos cursos de graduação e pós-graduação. Os seus temas de



O Realismo Químico e as duas faces de Janus

ZATERKA, L.

MOCELLIN, R. C.

investigação estão relacionados com a história e a filosofia da química e dos materiais. E-mail: roneimocellin@ufpr.br

II – INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

Recebido em: 03 de novembro de 2023

Aprovado em: 08 de dezembro de 2023

Publicado em: 24 de dezembro de 2023