

<https://doi.org/10.56117/ReSBEEnQ.2024.v5.e052418>

## **Indo além da Natureza da Ciência: a síntese química para promover a Filosofia da Química**

*Beyond the Nature of Science: chemical synthesis to promote the Philosophy of Chemistry*

*Más allá de la Naturaleza de la Ciencia: síntesis química para promover la Filosofía de la Química*

**Evandro Fortes Rozentalski** ([e.rozentalski@unifei.edu.br](mailto:e.rozentalski@unifei.edu.br))

Universidade Federal de Itajubá

<https://orcid.org/0000-0002-3240-0602>

**Paulo Alves Porto** ([palporto@iq.usp.br](mailto:palporto@iq.usp.br))

Universidade de São Paulo

<https://orcid.org/0000-0002-5001-2742>

### **Resumo**

Desde a segunda metade do século XX, educadores, filósofos, historiadores e sociólogos da ciência argumentam pelo ensino da Natureza da Ciência na formação de cientistas, estudantes e professores de ciências. Dentre as propostas para ensinar a Natureza da Ciência, destaca-se a abordagem consensual, que consiste na seleção de aspectos supostamente pouco controversos no âmbito da Filosofia da Ciência que seriam adequados para a promoção de melhores compreensões sobre a Ciência. Apesar de suas contribuições, a abordagem consensual tem sido criticada por minimizar ou omitir as especificidades das diferentes disciplinas científicas. Sua adoção no âmbito da Educação Química não favoreceu a discussão e reflexão sobre problemas ontológicos, epistemológicos e éticos específicos da disciplina na formação de químicos e professores de Química. Para problematizar, ampliar e ressignificar a abordagem consensual, selecionou-se a síntese química como temática para discutir alguns dos vieses característicos da Química. A produção de novas substâncias é reconhecida pela Filosofia da Química como uma das principais atividades dos químicos. Nessa atividade, os químicos criam artificialmente novas entidades materiais, antes inexistentes no meio natural, e isso tem implicações de natureza ontológica, epistemológica e ética peculiares à Química. Com o exemplo da síntese química, busca-se fomentar novas pesquisas a



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.

respeito de outros temas, questões, ideias e contextos oriundos da Filosofia da Química para ir além da abordagem consensual da Natureza da Ciência na Educação Química.

**Palavras-chave:** Natureza da Ciência. Filosofia da Química. Síntese química.

### **Abstract**

Since the second half of the 20th century, educators, philosophers, historians, and sociologists of science have argued for teaching the Nature of Science in the training of scientists, students, and science teachers. Among the proposals for teaching the Nature of Science, the consensual approach stands out, which consists of the selection of supposedly less controversial aspects within the scope of Philosophy of Science that would be suitable for promoting better understandings of science. Despite its contributions, the consensual approach has been criticized for minimizing or omitting the specificities of different scientific disciplines. Its adoption within the scope of Chemical Education did not favor the discussion and reflection on discipline-specific ontological, epistemological and ethical problems in the training of chemists and Chemistry teachers. To problematize, expand and resignify the consensual approach, chemical synthesis was selected as the theme to discuss some of the biases of Chemistry. The production of new substances is recognized by the Philosophy of Chemistry as one of the main activities of chemists. In this activity, chemists artificially create new material entities, previously non-existent in the natural environment. Therefore, chemical synthesis results in ontological, epistemological, and ethical problems specific to chemists. Using the example of chemical synthesis, the aim is to encourage new research on other themes, questions, ideas, and contexts arising from the Philosophy of Chemistry to go beyond the consensual approach to the Nature of Science in Chemical Education.

**Keywords:** Nature of Science. Philosophy of Chemistry. Chemical synthesis.

### **Resumen**

Desde la segunda mitad del siglo XX, educadores, filósofos, historiadores y sociólogos de la ciencia han abogado por la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia en la formación de científicos, estudiantes y profesores de ciencias. Entre las propuestas para la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia destaca el enfoque consensual, que consiste en la selección de aspectos supuestamente menos controvertidos en el ámbito de la Filosofía de la Ciencia que serían adecuados para promover una mejor comprensión de la Ciencia. A pesar de sus contribuciones, el enfoque consensual ha sido criticado por minimizar u omitir las especificidades de diferentes disciplinas científicas. Su adopción en el ámbito de la Educación Química imposibilitó que la formación de químicos y profesores de Química involucrara la discusión y reflexión de problemas ontológicos, epistemológicos y éticos

---

propios de esta disciplina. Para problematizar, ampliar y resignificar el enfoque consensual, se seleccionó la síntesis química como tema para discutir algunos de los sesgos de la Química. La producción de nuevas sustancias está reconocida por la Filosofía de la Química como una de las principales actividades de los químicos. En esta actividad, los químicos crean artificialmente nuevas entidades materiales, antes inexistentes en el entorno natural, y esto tiene implicaciones de carácter ontológico, epistemológico y ético propios de la Química. Utilizando el ejemplo de la síntesis química, se busca fomentar nuevas investigaciones sobre otros temas, cuestiones, ideas y contextos surgidos de la Filosofía de la Química para ir más allá del enfoque consensuado de la Naturaleza de la Ciencia en la Educación Química.

**Palabras clave:** Naturaleza de la ciencia. Filosofía de la química. Síntesis química.

### **Introdução**

A implementação da História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência (HFSC) na Educação em Ciências tem sido defendida por cientistas, educadores, filósofos, historiadores e sociólogos de maneira sistemática desde a segunda metade do século XX (Matthews, 1995). A aproximação com essas áreas de conhecimento que estudam e refletem sobre a Ciência foi motivada pelo acúmulo de pesquisas que identificaram compreensões problemáticas, simplistas ou mesmo inadequadas sobre a Ciência entre estudantes e professores, tanto no nível básico quanto universitário (Gil-Pérez *et al.*, 2001; Lederman, 2007).

Assim, tornou-se um objetivo educacional promover a superação dessas compreensões, com o intuito de formar estudantes críticos e reflexivos sobre a Ciência, seus processos e produtos, bem como sobre suas relações com e implicações para a sociedade (Lederman, 2007; Porto, 2019). Para atingi-lo, a linha de HFSC na Educação em Ciências tem desenvolvido pesquisas teóricas e empíricas para propor, discutir e implementar o ensino da *Natureza da Ciência*.

A partir da década de 1990, disseminou-se a abordagem consensual da Natureza da Ciência, que se caracterizou por selecionar os aspectos supostamente consensuais ou pouco controversos oriundos da História, da Filosofia e da Sociologia da Ciência e apresentá-los na forma de enunciados declarativos gerais sobre a Ciência, comumente na forma de listas. Por exemplo, recomendou-se que os estudantes deveriam compreender que o conhecimento científico deriva – ainda que não totalmente – de observações do

---

mundo natural e envolve também a imaginação e a criatividade humana em sua produção (Lederman *et al.*, 2002).

A abordagem consensual e suas listas de enunciados contribuíram nas últimas décadas para a análise de materiais didáticos, na elaboração e aplicação de instrumentos para a identificação de compreensões sobre a Natureza da Ciência, e em intervenções didáticas voltadas a promover melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência nos diferentes níveis de ensino (Rozentalski, 2018).

Ainda que tenha resultado em inúmeras contribuições à Educação em Ciências, não se deve perder de vista seus problemas, implicações e limitações no que diz respeito à promoção de melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência. Embora estejam presentes nos currículos de diversos países as recomendações em favor da Natureza da Ciência como um objetivo educacional necessário para a formação de cidadãos e cidadãs, persistem entre pesquisadores da área divergências a respeito da melhor forma e dos conteúdos necessários para atingir esse fim.

Dentre as diferentes críticas apresentadas a seguinte é central para este artigo: a abordagem consensual da Natureza da Ciência comunica uma visão única da Ciência na qual os aspectos enunciados por ela seriam válidos, compreendidos e aplicados de modo idêntico pelos diferentes campos e disciplinas científicas (Dagher & Erduran, 2016; Hodson 2014; Irzik & Nola, 2011).

Em vista disso, este trabalho tem por objetivo geral refletir sobre as contribuições da Filosofia da Química para problematizar aspectos que comumente têm sido recomendados pela abordagem consensual da Natureza da Ciência. O intuito é ir além de discussões gerais sobre a Ciência comumente propostas pelo ensino da Natureza da Ciência e contemplar discussões específicas sobre a Química na formação de químicos e professores de Química.

Para tanto, a síntese química será tomada como temática da Filosofia da Química, visando os seguintes objetivos específicos: caracterizar a síntese química como aspecto diferencial da Química, considerando que os objetos aos quais os químicos dedicam sua investigação não são apenas dados pela Natureza, sendo, em sua maior parte, entidades materiais criadas artificialmente; apontar implicações da síntese química, como as

---

questões de natureza ética dela decorrentes, para a construção de visões mais elaboradas sobre as características desta Ciência.

### **A Filosofia da Química na Educação Química: subsídios para a Natureza da Ciência**

Do ponto de vista filosófico, problemas, conceitos, processos e práticas relacionados à Química atraíram pouca atenção ao longo do século XX. Poucos filósofos da ciência se debruçaram sobre a Química em extensão e profundidade, dentre os quais se destaca Gaston Bachelard (1884–1962) (Bachelard, 2009). Contudo, trabalhos como os de Bachelard constituem exceção na área de Filosofia da Ciência, sendo escassa, no século passado, a literatura sobre problemas filosóficos específicos da Química (Scerri; McIntyre, 1997). As considerações dos filósofos da ciência desse período, em linhas gerais, tomaram a Física e sua história como modelo para constituir o que é a ciência e como ela funciona e, a partir disso, estabelecer critérios de demarcação entre ciência e não ciência.

Essa situação foi motivada, em parte, por um olhar reducionista sobre a Química, de acordo com o qual os fenômenos químicos seriam, em última instância, de natureza física e, portanto, explicáveis pelas teorias físicas. Como consequência, prevaleceu também a concepção de que os problemas filosóficos da Química poderiam ser tratados pela Filosofia da Física (Scerri; McIntyre, 1997; Schummer, 2006). Outros fatores também foram apontados, entre eles as próprias representações que os químicos têm das atividades dos filósofos, e vice-versa, que revelam um mútuo desprezo ou, no mínimo, indiferença (Scerri, 2000b).

Motivados para estabelecer relações frutíferas entre Química e Filosofia, em meados da década de 1980 e início da década de 1990 um grupo de químicos, educadores, filósofos e historiadores da Química passou a defender que existem problemas filosóficos próprios da Química que são merecedores de reflexões próprias (Schummer, 2006).

A Filosofia da Química investiga, sob um ponto de vista filosófico, analítico e explícito, os fenômenos de interesse da Química; a epistemologia subjacente à interpretação de tais fenômenos, em especial, os fundamentos, metodologias e instrumentos que produzem o conhecimento químico; os valores e objetivos da Química; as questões éticas e estéticas envolvidas na atividade química; a identidade disciplinar

frente a outras disciplinas científicas como a Física e a Biologia, entre outros assuntos (Justi & Gilbert, 2002; Schummer, 2006).

O estabelecimento da Filosofia da Química como uma subárea da Filosofia da Ciência em pouco tempo chamou a atenção de educadores interessados em avaliar suas contribuições para a Educação Química. O intuito é incluir a dimensão *metaquímica*, isto é, a análise *explícita e reflexiva* sobre o conhecimento químico e a atividade química. Isso implica em considerar os modos de pensar, atuar e comunicar próprios da Química (Chamizo, 2013).

Nessa perspectiva, destaca-se o papel da Filosofia da Química na Educação Química para subsidiar o desenvolvimento de melhores compreensões sobre a Química entre estudantes dessa Ciência. A Educação Química pode se distinguir em relação ao que vem sendo feito na temática da Natureza da Ciência ao ampliar sua abordagem de acordo com a perspectiva própria da Química e suas especificidades.

Esse enfoque se justifica pela predominância na Educação Química da abordagem consensual da Natureza da Ciência, que fundamentou pesquisas de diferentes naturezas: no diagnóstico de compreensões sobre a Natureza da Ciência entre estudantes de química do Ensino Básico (Vhurumuku, 2011); na promoção de melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência entre estudantes de química do Ensino Básico, futuros químicos e professores de Química em formação inicial ou em serviço (Tolvanen *et al.*, 2014); na avaliação da prática de professores de Química do Ensino Básico que tiveram, em sua formação inicial, discussões sobre a Natureza da Ciência (Firestone *et al.*, 2012); na análise das compreensões sobre a Natureza da Ciência veiculadas por livros didáticos de Química voltados ao Ensino Superior (Niaz & Maza, 2011) e Ensino Médio (Martorano & Marcondes, 2009).

Nesse viés, estudantes de Química refletiriam sobre a Ciência de maneira geral, sem que isso envolvesse, em termos explícitos e reflexivos, os aspectos particulares de sua disciplina. A formação em Química, em especial a de nível superior, pode levar os estudantes à construção tácita de ideias sobre o que é a Química e como ela funciona, por meio do convívio social com químicos experientes, nas disciplinas cursadas ao longo dos cursos de graduação e pós-graduação, no contato com livros didáticos, nos estágios de

pesquisa em Química, etc. Ideias tácitas não são postas explícita e sistematicamente à crítica e reflexão, o que produz concepções tardias, simplistas ou, ainda, pode inibir o reconhecimento de ideias mais elaboradas sobre a Química.

Diante disso, defende-se a ampliação do escopo da formação dos futuros profissionais da Química por meio da contextualização de questões, temas, ideias, focos de estudo e exemplos da Química, para auxiliar os estudantes a desenvolverem compreensões mais elaboradas sobre essa Ciência. A Filosofia da Química pode fornecer um novo e diferente olhar para conceber e interpretar a Natureza da Ciência, ajudando a esclarecer aspectos ontológicos e epistemológicos da Química de um modo que a Filosofia da Ciência tradicional não foi capaz de detalhar.

Assim como se observou para a Filosofia da Ciência, a Filosofia da Química também apresenta uma diversidade de perspectivas, algumas complementares entre si, outras opostas. Lemes e Porto (2013), em revisão bibliográfica dos artigos publicados nos periódicos *Hyle* e *Foundations of Chemistry*, constataram que respostas à questão “Como a Química funciona?” refletem uma “ausência de consenso sobre se a química se centraliza na experimentação; se na manipulação de entidades teóricas ou de substâncias químicas; se os químicos devem ser realistas ou não; ou se a química é ou não redutível à física” (Lemes & Porto, 2013, p. 134).

A pluralidade de perspectivas aqui esboçada indica a inadequação de se buscar uma caracterização única da ciência no contexto do ensino de Química. Um caminho que vise promover compreensões mais elaboradas entre os estudantes de Química sobre essa disciplina, e suas semelhanças e diferenças em relação a outras disciplinas científicas, passa pela discussão de temas que têm ocupado os filósofos da Química.

### **Temas da Filosofia da Química para a Natureza da Ciência**

Não há na literatura, até o momento, uma proposta que trate de maneira sistemática e articulada diferentes aspectos, temas ou questões extraídas da Filosofia da Química de um modo que se assemelhe à abordagem consensual. Nesta última, os educadores interessados em promover tais discussões são guiados por listas de enunciados declarativos sobre a Natureza da Ciência a respeito de aspectos como a natureza empírica do conhecimento científico, a não existência de um método científico

---

único, a distinção entre leis e teorias, a provisoriedade do conhecimento científico, entre outros (Lederman *et al.*, 2002; Lederman, 2007).

Esses enunciados são comunicados como sendo necessários e suficientes para descrever todas as atividades científicas e para demarcá-la de outras atividades. Quando nos detemos apenas sobre esses aspectos, perde-se de vista a diversidade que há entre as diferentes disciplinas científicas. Por consequência, caso tomada irrefletidamente, a lista conduz a uma visão rígida da Ciência (Dagher & Erduran, 2016; Hodson 2014; Irzik & Nola, 2011).

Com o objetivo de proporcionar vieses da Química para a Natureza da Ciência, tomaremos como referência as iniciativas de filósofos e educadores em apontar a relevância de um grupo de temas discutidos na Filosofia da Química de interesse para a Educação Química. Esses temas podem fomentar discussões sobre a Química e contribuir com respostas às questões: *O que é a Química? Qual(is) sua(s) finalidade(s)? Como ela funciona e se desenvolve? Quais as consequências e responsabilidades envolvidas na atividade química? Qual sua relação com, e suas implicações para, a Sociedade e o Ambiente?*

Dentre os temas sugeridos pela interface Filosofia da Química e Educação Química, mencionam-se os seguintes: *síntese química*, isto é, a produção de novas substâncias químicas e suas consequências (ontológicas, epistemológicas e éticas) para a Química, a Sociedade e a Natureza (Schummer, 1999); a natureza e papel dos *modelos em Química* (Justi & Gilbert, 2002); o *realismo químico*, ou seja, o grau de correspondência entre as teorias e modelos em Química e a realidade (Scerri, 2000a); a natureza e papel das *explicações em Química* (Scerri, 2000b); a natureza e papel das *leis químicas* (Tobin, 2013); a *superveniência*, que discute as relações e implicações epistemológicas e ontológicas dos níveis macroscópico e submicroscópico (Newman, 2013); o *reducionismo* acerca do estatuto da Química em relação às outras Ciências da Natureza (Erduran, 2005); e a *ética química*, que trata dos problemas éticos associados ou decorrentes da atividade química (Sjöström, 2013).

Em vista da diversidade de temáticas recomendadas pela interface Filosofia da Química e Educação Química, optaremos por aprofundar a temática da “síntese química”.

---



Embora a síntese de novas substâncias seja central na Química, isso não é explicitado em seu discurso oficial, especialmente no que diz respeito aos seus objetivos e valores. Por exemplo, em cursos introdutórios de Química, sugere-se que qualquer material pode ser compreendido através da análise de seus componentes; porém, ao papel da síntese não é atribuído explicitamente o mesmo patamar de importância (Earley, 2004).

Isso pode ser ilustrado com a pesquisa empírica realizada por Rozentalski (2018). Em uma intervenção didática para promover reflexões sobre as implicações éticas da síntese química, identificou-se que os estudantes de Química de nível superior estão habituados a ver a atividade química como analítica, isto é, que empreende análises para determinar qualidades e quantidades das substâncias. Mesmo quando os estudantes reconhecem que a Química cria coisas novas, esse reconhecimento abrange entidades compartilhadas com outros campos, como, por exemplo, com a engenharia genética e a produção de organismos geneticamente modificados. A síntese química não é imediatamente reconhecida como uma das principais atividades da Química.

A temática da “síntese química” ainda engendra problemas éticos próprios, sendo possível associá-la à temática da “ética química”. A relevância de discussões dessa natureza para o ensino baseia-se na perspectiva de tornar os estudantes aptos a avaliar, justificar e tomar decisões sobre questões científicas e químicas, bem como, em última instância, desenvolver cidadãos críticos e reflexivos, cujas ações são deliberadas e apropriadas. Isso requer a discussão de riscos e incertezas, bem como competências para avaliar, balancear e estimar benefícios e riscos relacionados à síntese química (Sjöström, 2013).

Abordar explicitamente questões de natureza ética justifica-se pela sociedade de risco em que vivemos, caracterizada pelo aumento da complexidade e pelas consequências imprevisíveis da produção e inserção na Natureza de inovações técnico-científicas (Pietrocola & Souza, 2019). Desse modo, os químicos precisam estar cientes de sua corresponsabilidade por todos os possíveis danos causados por suas criações. Químicos profissionais devem ter claro que a produção do conhecimento científico não pode ser separada de suas aplicações, e que esses dois aspectos estão relacionados às responsabilidades éticas dos cientistas (Sjöström, 2013).

---

A partir desta temática as seguintes questões podem ser formuladas para orientar sua discussão: *Por que químicos produzem substâncias químicas? Como elas são produzidas? Quais são os benefícios, riscos e incertezas envolvidos na produção e disseminação de substâncias químicas na sociedade e ambiente? Quais as implicações éticas da síntese química?* A seguir delineamos brevemente reflexões sobre essas questões em torno da síntese química.

### **A Síntese Química: da Filosofia da Química para a Natureza da Ciência**

A síntese química tem sido apontada como uma das principais atividades (se não a principal) da pesquisa em Química, ainda que não a única<sup>1</sup> (Jacob & Walters, 2005; Kovac, 2015; Schummer, 1997a, 1997b, 1999, 2001). Não são apenas substâncias conhecidas na Natureza que são produzidas artificialmente nos laboratórios, mas, principalmente, novas substâncias não existentes ou nunca identificadas na Natureza. Artigos em periódicos científicos divulgam essas pesquisas, descrevendo como prepará-las e caracterizando suas propriedades (estrutura e reatividade).

No imaginário popular, e mesmo entre alguns cientistas, a Ciência visa conhecer os “segredos” da Natureza. Contudo, a síntese química não acomoda essa compreensão, pois, ainda que a nova substância seja produzida a partir de substâncias existentes na Natureza, a nova substância em si não é um segredo da Natureza, pois nunca esteve presente nela (Davis, 2002). Enquanto a maioria dos cientistas estudam a Natureza, os químicos, ao criarem novas substâncias, estão criando novas entidades materiais, anteriormente não existentes, que ampliam o potencial alcance de suas investigações. Como cada substância química apresenta propriedades físicas e químicas particulares, a síntese química resultará não só em uma nova entidade com uma existência material, mas, também, em novas propriedades associadas a esta substância.

A preponderância da síntese química como uma das principais atividades realizadas pelos químicos se ampara na observação de que, no início do século XIX, eram

---

<sup>1</sup> Como bem destaca Kovac (2015), outra atividade central na Química é a análise *qualitativa e quantitativa*. Após a síntese de uma nova substância é necessário compreender o que foi produzido através da determinação da sua fórmula molecular, estrutura e propriedades. Isso envolve o emprego de métodos químicos e técnicas instrumentais para a caracterização da nova substância.

---

conhecidas algumas centenas de substâncias, enquanto no final do século XX, contabilizavam-se aproximadamente 19 milhões, das quais a maioria eram substâncias não existentes na Natureza. Schummer (1997a, 1997b, 1999) concluiu que a produção de substâncias, orgânicas e inorgânicas, cresceu quase exponencialmente ao longo desse período.

Na atualidade, o número de substâncias pode ser estimado considerando os dados disponíveis no *Chemical Abstracts Service* (CAS), uma plataforma de registro de substâncias químicas criada pela *American Chemical Society* (ACS). O CAS abrange substâncias comunicadas na literatura de 1957 até a atualidade. Assim, desde a criação do CAS em 1965, cada substância química recebe um número de registro, acompanhado de informações básicas como sua fórmula molecular, fórmula estrutural, nome e outras informações que identifiquem a substância. As informações apresentadas pelo CAS em relação ao número de substâncias registradas nos últimos 20 anos são assombrosas: em 2005, menos de 10 anos depois do levantamento realizado por Schummer (1997a), o número de substâncias registradas saltou para 25 milhões; em 2009, 50 milhões; em 2013, 73 milhões; em 2015, quando o CAS completou 50 anos, 100 milhões de substâncias já haviam sido registradas. Em 2024, ano de escrita deste artigo, um total de 279 milhões de substâncias químicas estão registradas.

A síntese de novas substâncias químicas é justificada pelos químicos em seus artigos, principalmente, como forma de promover conhecimentos e habilidades sintéticas, ou seja, aprimorar continuamente os métodos para produzir novas substâncias, sendo um fim em si mesmo (Kovac, 2001; Schummer, 2001). Essa é uma tarefa complexa, pois podem existir inúmeros caminhos para se produzir uma mesma substância de acordo com os objetivos e condições materiais disponíveis:

Existe, geralmente, mais de um modo possível para produzir uma molécula particular. Decidir qual é o “melhor” método envolve um grande número de considerações, incluindo o custo dos materiais, rendimento, quantidade e pureza do produto, segurança, métodos de purificação, condições da reação, entre outras. Dois químicos diferentes podem escolher duas rotas diferentes baseados em considerações individuais. Por exemplo, enquanto uma rota pode fornecer um alto rendimento, mas exige um elevado custo de equipamentos, a segunda rota tem um baixo rendimento, mas pode ser realizada de maneira menos custosa. O químico que já possui tal equipamento especializado provavelmente escolherá a primeira alternativa; por outro lado, seu colega, cujo

orçamento de pesquisa é limitado, pode aceitar o menor rendimento para poupar dinheiro (Kovac, 2004, p. 23).

Desde os tempos do químico alemão Justus von Liebig (1803–1873), o principal propósito do laboratório químico era treinar profissionais para a indústria química e farmacêutica. Um químico que produza uma dezena ou mais de novas substâncias químicas ao longo de sua formação acadêmica está se credenciando como um profissional de interesse para essas indústrias. A “preparação de novas substâncias é uma certificação obrigatória de um jovem químico como um profissional. Esse é o meio pelo qual a comunidade de químicos transmite as habilidades técnicas necessárias” (Kovac, 2001, p. 29).

Em segundo lugar, em menor proporção, os químicos justificam a atividade sintética pelo interesse em aplicações tecnológicas. Ainda são mencionadas, entre as justificativas, a importância da síntese para a elaboração de classificações, a elucidação de peculiaridades estruturais e o aprimoramento de modelos e teorias (Schummer, 2001).

Para Kovac (2001), os químicos sintéticos não são inspirados apenas pelo desafio de criar substâncias e reações, mas, também, pela possibilidade de que tais substâncias possam ser úteis, como fármacos ou em outras aplicações. Isso não impede que a síntese de uma substância possa ser realizada tendo em vista um interesse teórico ou estético ou, ainda, que a pesquisa realizada em uma indústria seja pesquisa puramente aplicada, na qual um conhecimento estabelecido orienta a produção de um produto prático, sendo também uma pesquisa básica inspirada pelo uso.

Não obstante, essa atividade não resulta apenas em um conhecimento ou ideia (por exemplo, uma compreensão a respeito da simetria a nível molecular da substância, ou uma metodologia para obtê-la), mas vai além, na medida em que envolve também a materialização imediata de algo, a nova substância. Sua introdução na Natureza implica na mudança do mundo material, ou, no mínimo, na possibilidade de mudança, por meio do conhecimento de como obtê-la.

A Química pode ser compreendida, então, como uma tecnociência, isto é, um modo de conhecer e atuar (Chamizo, 2013). Ela prioriza as ações realizadas mais do que as substâncias criadas, pois não existem substâncias sem ação e projeto prévio. Além disso, não são fruto apenas da intenção humana, mas, também, de um contexto histórico

---

específico: “o principal modo de conhecer dos químicos é pelo fazer e esta ação aumenta a complexidade do mundo” (Chamizo, 2013, p. 165).

Se a síntese química conhece pelo fazer, isso engendra problemas éticos próprios para os químicos, pois tais mudanças afetam diretamente as condições materiais da vida, seja proporcionando benefícios ou danos aos seres humanos e ao ambiente (Kovac, 2015; Schummer, 2001).

A síntese química de uma nova substância apresenta, de modo geral, três momentos que podem desencadear questões éticas, relativas a riscos e responsabilidades particulares aos químicos. São eles: 1) a motivação para realizar a síntese; 2) a disponibilidade do método de obtenção da nova substância; e 3) a materialização da nova substância (Jacob & Walters, 2005).

A motivação que orienta a síntese de uma nova substância carrega em si um problema ético: Para que a substância será utilizada? Independente do emprego, uma importante questão ética é analisar se existem riscos e, caso sim, se estes são superados pelos benefícios que a nova substância irá proporcionar (Kovac, 2015).

O segundo momento envolve os riscos práticos referentes à primeira vez que a síntese será realizada. Nesse momento, o químico, ainda que munido das teorias químicas e experiente nos procedimentos de laboratório, adentra no desconhecido. Um dos riscos envolvidos nessa etapa é que a síntese resulte, por exemplo, em uma explosão, tendo consequências não somente para o químico que realiza o procedimento, mas até mesmo causando danos humanos e materiais aos demais colegas de laboratório (Jacob & Walters, 2005).

Após o refinamento e domínio na preparação da nova substância, sua metodologia de obtenção é divulgada para a comunidade de químicos, tornando possível sua reprodução subsequente por outros profissionais. Caracteriza-se, assim, o risco quanto à disseminação do método sintético na literatura científica (Jacob & Walters, 2005). Ao torná-la pública, a síntese poderá ser feita por um número maior de pessoas, resultando potencialmente nos mesmos riscos práticos mencionados anteriormente – ainda que em menor nível, pelo fato da metodologia já haver sido refinada. O risco aumenta na produção

em maior escala da substância, especialmente se ocorrer fora da comunidade científica, tendo em vista fins econômicos.

Por fim, existem os problemas éticos gerados pela materialização da substância, a qual tem como consequência a mudança do mundo material pelo acréscimo de uma nova entidade. Embora haja um aumento do conhecimento, adquirido pela produção e pela caracterização de algumas das propriedades da nova entidade, a síntese química de uma nova substância resulta no paradoxo epistemológico do aumento do não-conhecimento. Esse paradoxo se refere ao desconhecimento de todas as demais propriedades não determinadas experimentalmente para a substância, em especial sua reatividade frente a todas as demais substâncias existentes na Natureza. Esse desconhecimento, em princípio, é estrondosamente maior que o conhecimento adquirido pela obtenção e caracterização estrutural da substância, uma vez que, idealmente, a determinação das propriedades químicas de uma substância requereria conhecer seu comportamento diante dos milhões de substâncias conhecidas. Ainda assim, não se poderia considerar que esse conhecimento estaria completo, uma vez que existem substâncias desconhecidas na natureza. Além disso, como a reatividade depende do chamado ambiente químico (presença de solventes e outras substâncias no meio reacional, condições de pressão e temperatura), não é possível prever ou testar todas as possibilidades reacionais em ambientes tão complexos como células e tecidos de organismos vivos. Esses problemas se intensificam quando as substâncias de interesse acadêmico deixam os laboratórios e se tornam parte de nosso ambiente material (Ruthenberg, 2016; Schummer, 1999, 2001).

O vertiginoso aumento de substâncias que passam a existir implica que os químicos não conseguem conhecer tudo o que é produzido por sua Ciência. Não é possível determinar ou prever todas as propriedades de cada uma das novas substâncias. Assim, sua disseminação na Natureza gera problemas éticos, relacionados aos potenciais riscos desconhecidos (Schummer, 1999). A História da Ciência fornece o exemplo emblemático dos compostos chamados de clorofluorocarbonetos (CFC): a descoberta da possibilidade de sua aplicação na fabricação de refrigeradores e aparelhos de ar condicionado, a partir da década de 1930, levou a sua produção em larga escala – e logo se seguiram outras aplicações, como propelentes em aerossóis. Nessa época, suas propriedades pareciam

---

ideais: praticamente inertes quimicamente, os CFC não são inflamáveis nem tóxicos. Somente décadas depois, após milhares de toneladas de CFC terem sido lançadas na atmosfera, é que se descobriu que esses compostos se difundem até a estratosfera, e ali decompõem o ozônio que absorve parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol. Na atualidade, se sabe que a destruição da camada de ozônio colocaria em risco a vida na Terra (Viana & Porto, 2012, 2013).

As substâncias químicas produzidas que adquirem interesse e viabilidade econômica se espalham por contextos mais amplos que o científico – o que resulta em maior complexidade por apresentar, além de aspectos éticos, questões legais e regulatórias. Nesses contextos, figuram novos agentes, com responsabilidades próprias frente ao emprego das substâncias químicas, como fabricantes, governos (legisladores e órgãos oficiais de regulação e fiscalização) e consumidores. Todos esses agentes, em conjunto com os químicos, formam uma cadeia complexa em relação às suas responsabilidades e à análise dos riscos envolvidos (Jacob & Walters, 2005).

A síntese em laboratório de pesquisa permite maior controle dos riscos, pelo uso de pequenas quantidades de reagentes e seguindo determinadas orientações de segurança (por exemplo, através da utilização de Equipamentos de Proteção Individual). Após a publicação do método sintético, os riscos envolvidos são de mais difícil avaliação, pois residem no uso futuro de grandes quantidades da substância, provenientes da disponibilidade do método de síntese da substância a outros químicos. Comumente, a responsabilidade é atribuída unicamente à indústria química, nos casos em que a substância adquire interesse comercial e sua manufatura ganha escala industrial. A responsabilidade em torno da disponibilidade do método é frequentemente subestimada pelos químicos, o que se reflete em atribuições éticas e legais vagas, não só do químico que comunicou a metodologia, mas, também, da comunidade de químicos que aceitou a publicação e, conseqüentemente, os riscos envolvidos (Jacob & Walters, 2005).

Episódios históricos exemplares, como a disseminação do bisfenol (Martin *et al.*, 2016), ou o emprego do napalm e do agente laranja na Guerra do Vietnã (Contakes & Jashinsky, 2016; Jacob & Walters, 2005), ilustram que nenhuma das partes envolvidas (químicos, indústria, governos e militares) assume sua responsabilidade por quaisquer

danos que o uso dessas substâncias causou ou venha a causar. Comumente, um agente atribui a responsabilidade a outro agente, que, por sua vez, a transfere a um terceiro, resultando, assim, na negação das responsabilidades de cada um dos envolvidos.

Ainda que químicos possam argumentar por uma suposta neutralidade de sua atividade, baseada na alegação de que não são responsáveis pelos usos ou aplicações das substâncias químicas realizadas por terceiros, eles são responsáveis por suas criações e pelas implicações advindos destas substâncias. Se foram terceiros que utilizaram a substância química, isso só ocorreu retrospectivamente pela síntese química que materializou e tornou a substância disponível ou passível de ser produzida. Dito isso, não se deve perder de vista a complexidade do não-conhecimento resultante da produção de uma nova substância química:

[é] irrealista esperar que os químicos sintéticos realizem profundas avaliações de riscos para todos os novos compostos. Entretanto, a atribuição da responsabilidade pela disseminação de uma substância não testada pode fazer os químicos mais conscientes das implicações de seu trabalho, e torná-los mais precavidos quando lidam com novas substâncias e com o conhecimento e não-conhecimento que vem com elas (Jacob & Walters, 2005, p. 163).

Ainda que seja impossível fornecer uma descrição exaustiva das propriedades de uma nova substância química, bem como de seu comportamento futuro, há que se assumir os riscos envolvidos e buscar continuamente avaliá-los. Mesmo quando não há intenção de causar danos, há que se empreender reflexões contínuas das possíveis consequências da nova substância, a fim de avaliar se as boas superaram as más consequências não pretendidas (Kovac, 2015; Ruthenberg, 2016).

Em vista disso, não é necessariamente antiético usar e disseminar substâncias químicas na sociedade e no ambiente, se as consequências prejudiciais não eram previsíveis. Contudo, isso se torna antiético quando novos conhecimentos claramente confirmam os riscos envolvidos e, ainda assim, diferentes agentes persistem em produzir, usar ou vender tais substâncias (Martin *et al.*, 2016).

A partir dessas reflexões, pode-se compreender algumas perspectivas a respeito das questões ontológicas, epistemológicas e éticas em torno da síntese de novas substâncias: as razões que levam os químicos a produzirem novas substâncias; quais os condicionantes para um tipo de substância ser produzido em detrimento de outro; quais

---



os benefícios, riscos e incertezas associados à síntese química, para a sociedade e para o ambiente. Isso ilustra a fecundidade de tal tema para promover a ampliação das discussões sobre a Natureza da Ciência.

### **Considerações Finais**

A ausência de discussões de natureza filosófica sobre a síntese química na formação em Química resulta em dificuldades de se compreender a natureza desta Ciência de forma abrangente e específica, o que, por sua vez, pode ser um obstáculo para o seu ensino. Dado que a compreensão sobre a Química perpassa, dentre outras coisas, a identificação de seus objetivos e valores, se os estudantes não identificam os objetivos e valores dessa Ciência, há a possibilidade deles não se interessarem por essa Ciência, ou de não compreenderem o que estudam ou fazem, e por que (Schummer, 1999).

Em vista disso, torna-se importante promover reflexões a respeito da síntese química e das entidades dela resultantes. A Filosofia da Química pode municiar os educadores com temas, questões, ideias e perspectivas em torno da síntese química. Em nosso ponto de vista, a melhor forma para produzir discussões sobre a Ciência, em geral, e sobre a Química, em particular, é por meio de temas. O intuito não é buscar afirmações categóricas em relação ao que é a Química, ou como ela funciona, típicas de abordagens fechadas. Diferentemente disso, os temas visam provocar a crítica e a reflexão sobre a Química. Os temas, por si mesmos, carregam muitos sentidos, e sua discussão pode ser afetada por fatores como o tempo didático, o nível de desenvolvimento dos estudantes, a disciplina em que se trabalha e o propósito das aulas. Assim, um modo de selecionar sentidos é articular o tema com questões específicas, de acordo com os interesses pretendidos.

Os temas implementados em sala de aula devem ser avaliados tendo em vista suas potencialidades, limites e dificuldades. Em Rozentalski e Porto (2021), concluiu-se que o uso de abordagens diversas e contextuais (como estudos de caso históricos ou casos hipotéticos) é recomendado para promover discussões dessa natureza, tendo em vista que cada abordagem apresenta características e limitações próprias no que diz respeito ao desenvolvimento de melhores compreensões sobre a Química.

Ainda que o enfoque tenha sido dado à síntese química, no decorrer das reflexões foram apontadas suas implicações éticas, o que permite sua articulação com outra temática da Filosofia da Química, a “ética química”, tal como abordado por Rozentaliski e Porto (2021). Essa temática deve ser considerada como uma extensão direta das questões filosóficas oriundas da síntese química, ilustrando as diferentes perspectivas e implicações em jogo.

Por fim, recomenda-se a realização de novas pesquisas para discutir aspectos da abordagem consensual da Natureza da Ciência, utilizando-se para isso de temas oriundos da Filosofia da Química. Algumas possibilidades foram indicadas neste artigo, mas, certamente, sem esgotar o que vem sendo discutido e produzido pela interface em Filosofia da Química e Educação Química. Existe um campo a ser explorado pelos educadores em Química que buscam ir além da abordagem consensual da Natureza da Ciência na formação de químicos e professores de Química.

### **Agradecimentos**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento à pesquisa (processos 426519/2016 e 312351/2020-8).

### **Referências**

- Bachelard, G. (2009). *O pluralismo coerente da química moderna*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry : One of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15(2), 157-170.
- Contakes, S. M., & Jashinsky, T. (2016). Ethical responsibilities in military-related work: the case of napalm. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(1), 31-53.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education - Why Does It Matter? *Science & Education* 25(1-2), 147-64.
- Davis, M. (2002). Do the professional ethics of chemists and engineers differ? *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8(1), 21-34.
- Earley, J. E. (2004). Would introductory chemistry courses work better with a new philosophical basis. *Foundations of Chemistry*, 6(2), 137-160.
- Erduran, S. (2005). Applying the philosophical concept of reduction to the chemistry of water: Implications for Chemical Education. *Science & Education*, 14(2), 161-171.
-

- Firestone, J. B., Wong, S. S., Luft, J. A., & Fay, D. (2012). The Nature of Science or the Nature of Teachers: Beginning Science Teacher's Understanding of NOS. In M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies* (pp. 189–206). Springer.
- Gil-Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não-deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125-153.
- Hodson, D. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum: origin, development, implications and shifting emphases. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 911-970). Springer.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science & Education* 20 (7-8), 591-607.
- Jacob, C., & Walters, A. (2005). Risk and responsibility in chemical research: the case of agent orange. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 11(2), 147-166.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Philosophy of Chemistry in university Chemical Education: the case of models and modelling. *Foundations of Chemistry*, 4(3), 213–240.
- Kovac, J. (2001). Gifts and commodities in Chemistry. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 141-153.
- Kovac, J. (2004). *The ethical chemist: professionalism and ethics in science*. Prentice Hall.
- Kovac, J. (2015). Ethics in science: the unique consequences of Chemistry. *Accountability in Research*, 22(6), 312-29.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In S. Abel & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-880). Lawrence Erlbaum Associates.
- Lemes, A. F. G., & Porto, P. A. (2013). Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(3), 121-147.
- Martin, A., Iles, A., & Rosen, C. (2016). Applying utilitarianism and deontology in managing bisphenol-A risks in the United States. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(2016), 79–103.
- Martorano, S. A. A., & Marcondes, M. E. R. (2009). As concepções de ciência dos livros didáticos de Química, dirigidos ao Ensino Médio, no tratamento da Cinética Química no período de 1929 a 2004. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14(3),
-

341-355.

- Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 12(3), 164-214.
- Newman, M. (2013). Emergence, supervenience, and introductory Chemical Education. *Science & Education*, 22(7), 1655-1667.
- Niaz, M., & Maza, A. (2011). *Nature of Science in General Chemistry Textbooks*. Springer.
- Pietrocola, M., & Souza, C. R. (2019). A sociedade de risco e a noção de cidadania: desafios para a educação científica e tecnológica. *Linhas Críticas*, 25, e19844, 56-73.
- Porto, P. A. (2019). História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In O. A. Maldaner, W. L. P. Santos, & P. F. L. Machado, *Ensino de Química em Foco* (pp. 141-156). Editora Unijuí.
- Rozentalski, E. F. (2018). *Indo além da Natureza da Ciência: o filosofar sobre a química por meio da ética química* [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].
- Rozentalski, E. F., & Porto, P. A. (2021). A ética química e seu ensino a estudantes de química. *Química Nova*, 44(09), 1210-1218.
- Ruthenberg, K. (2016). About the futile dream of an entirely riskless and fully effective remedy: thalidomide. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(1), 55-77.
- Scerri, E. (2000a). Have Orbitals Really Been Observed? *Journal of Chemical Education*, 77(11), 1492-1494.
- Scerri, E. (2000b). Philosophy of Chemistry: A New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education*, 77(20), 1-4.
- Scerri, E., & McIntyre, L. (1997). The case for the Philosophy of Chemistry. *Synthese*, 111(3), 213-232.
- Schummer, J. (1997a). Scientometric studies on chemistry I: the exponential growth of chemical substances, 1800-1995. *Scientometrics*, 39(1), 107-123.
- Schummer, J. (1997b). Scientometric studies on chemistry II: aims and methods of producing new chemical substances. *Scientometrics*, 39(1), 125-140.
- Schummer, J. (1999). Coping with the growth of chemical knowledge: challenges for chemistry documentation, education, and working chemists. *Educación Química*, 10(2), 92-101.
- Schummer, J. (2001). Ethics of chemical synthesis. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 103-124.
- Schummer, J. (2006). The philosophy of chemistry: from infancy toward maturity. In D. Baird, E. Scerri, & L. McIntyre (Eds.), *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline* (pp. 19-39). Dordrecht: Springer.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. *Science &*
-

*Education*, 22(7), 1873-1890.

Tobin, E. (2013). Chemical Laws, Idealization and Approximation. *Science & Education*, 22(7), 1581-1592.

Tolvanen, S., Jansson, J., Vesterinen, V., & Aksela, M. (2014). How to Use Historical Approach to Teach Nature of Science in Chemistry Education? *Science & Education*, 23(8), 1605-1636.

Vhurumuku, E. (2011). High School Chemistry students' scientific epistemologies and perceptions of the nature of laboratory inquiry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 47-56.

Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2012). O desenvolvimento de novas substâncias na primeira metade do século XX: o caso de Thomas Midgley, Jr. *Circumscribere*, 12, 16-30.

Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2013) Thomas Midgley, Jr., and the Development of New Substances: A Case Study for Chemical Educators. *Journal of Chemical Education*, 90(12), 1632-1638.

**Submetido em:** 31/07/2024

**Aceito em:** 05/12/2024

**Publicado em:** 30/12/2024

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ

**S**ociedade **B**rasileira  
de **E**nsino de **Q**uímica



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.