

Uma história para a descontinuidade da matéria nos séculos XVII e XVIII

A history of the discontinuity of matter in the 17th and 18th centuries

Gabriel Sánchez¹, Laura Alarcón¹, Ricardo Aponte-Buitrago², Letícia dos Santos Pereira³ y Fredy Ramon Garay Garay⁴

Resumo

O entendimento da descontinuidade da matéria é basilar para a compreensão das teorias químicas, mas há muitos obstáculos para sua compreensão. Não obstante, as propostas de ensino com base na história da química para o ensino dos modelos atômicos não enfatizam a descontinuidade como uma parte importante desses modelos, nem são suficientes para compreender as origens e antecedentes históricos que sustentaram uma concepção de matéria descontínua antes do trabalho de John Dalton. Este artigo apresenta uma narrativa histórica visando analisar diferentes ideias sobre a descontinuidade da matéria surgidas nos séculos XVII e XVIII. Espera-se que tal apresentação histórica possa auxiliar pesquisadores, professores e estudantes de graduação que buscam uma leitura introdutória a esta temática.

Palavras-chave : história da química; epistemologia; estrutura atômica; descontinuidade; corpuscularismo.

Abstract

Understanding the discontinuity of matter is fundamental for comprehending chemical theories, but its comprehension has several obstacles. Moreover, teaching proposals based on the history of chemistry for the teaching of atomic models usually do not emphasize discontinuity as an essential aspect of these models; neither are they enough to understand the origins and historical background that sustained a discontinuous view of matter before John Dalton's work. This article presents a historical narrative aiming to analyze different ideas on the discontinuity of matter that appeared during the 17th and 18th centuries. Hopefully, such a historical presentation can reach scholars, teachers, and undergraduate students looking for an introductory reading on this topic.

Keywords : history of chemistry; epistemology; atomic structure; discontinuity; corpuscularism.

CÓMO CITAR:

Sánchez, G., Alarcón, L., Aponte-Buitrago, R., dos Santos Pereira, L., y Garay Garay, F. R. (2024). Uma história para a descontinuidade da matéria nos séculos XVII e XVIII. *Educación Química*, 35(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.87812>

¹ Secretaría de Educación de Cundinamarca.

² Universidad Pedagógica Nacional (UPN).

³ Universidade Federal da Bahia (UFBA).

⁴ Universidad de Antioquia (UdeA).

Introdução

O modelo de matéria descontínua é um dos principais fundamentos da química. Tal modelo, que assume que os constituintes da matéria (átomos, íons, moléculas, ou, como defendido por Jensen (1998), simplesmente núcleos e elétrons) interagem pela ação de forças de atração eletrostática, é basilar para a elaboração de novas e mais complexas formas de pensamento sobre a natureza da matéria e suas transformações. A ideia de matéria descontínua auxilia na compreensão da organização da matéria, mudanças de fase, processos de dissolução e dispersão, dentre muitos outros fenômenos (Sjöström et al., 2020; Silva et al., 2019; Vries, 2018; Chamizo & Garritz, 2014; Alarcon et al., 2013; Pozo et al., 2004), sendo fundamental para o desenvolvimento da química enquanto ciência e conhecimento escolar (Messeder Neto, Sá & Brito, 2022; Chalmers, 2019; Merritt & Krajcik, 2013; Rocke, 2001).

A literatura mostra que a má compreensão do modelo de matéria descontínua é um obstáculo para o ensino da química. Conforme apresentado em obra organizada por Tsaparlis e Sevan (2013), persistem concepções errôneas sobre a estrutura da matéria entre estudantes de diferentes níveis de ensino, destacando-se a dificuldade manifestada em assumir a existência de espaços vazios, tanto entre os constituintes da matéria quanto na própria estrutura interna do átomo, a crença de que os constituintes das substâncias estão imersos em uma espécie de “fluido”, e o uso de representações continuístas na modelagem de transformações físicas—obstáculos estes também apontados por outros autores (Menezes et al., 2020; Silva et al., 2019; Melo & Lima Neto, 2013; Adadan et al., 2010; Whitfield & Vitz, 2006; Mortimer, 2000).

Acreditamos que o contato tácito com a ideia de descontinuidade da matéria contribui para a perpetuação desses problemas. Nesse sentido, entender quais são os constituintes da matéria não parece ser suficiente, uma vez que outros conceitos se fazem importantes para a compreensão da estrutura da matéria, tais como vazio e ligação química (Melo & Lima Neto, 2013; Whitfield & Vitz, 2006); além da própria compreensão do que são modelos na ciência, especialmente a relação entre a experiência sensível e os modelos teóricos que sustentam a visão atômico-molecular de natureza (Sjöström et al., 2020; Adúriz-Bravo, 2012; Chamizo, 2006; Pozo et al., 2004).

Finalmente, explicitar a descontinuidade enquanto característica fundamental do modelo atômico-molecular, demanda repensar as abordagens didáticas baseadas na História e Filosofia da Ciência (HFC) para o ensino de modelos atômicos (Garay, 2013; Kwon et al., 2020; Chamizo & Garritz, 2014; Chaves et al., 2014; Viana & Porto, 2010). É ponto pacífico entre pesquisadores que a história da ciência é fundamental para compreensão dos conceitos e teorias científicas, assim como a construção de imagens de ciência menos ingênuas (López Valentín & Furió Más, 2021; Lima & Silva, 2020; Pereira & Silva, 2018; Matthews, 2014; Díaz, 2005). Carvalho e Gil-Pérez (2012) e Beltran, Saito e Trindade (2014) ressaltam que conhecer os interesses e contexto cultural que originaram os conhecimentos científicos, assim como os obstáculos epistemológicos ao longo do seu desenvolvimento, pode auxiliar na identificação das dificuldades dos alunos e estimular debates sobre como a ciência funciona.

Nesse sentido, compreender a estrutura da matéria demanda compreender também o seu desenvolvimento histórico, considerando os atores e as concepções de natureza e

conhecimento de cada período. Assim, uma vez que a concepção de matéria descontínua é anterior ao modelo atômico de Dalton, é necessário considerar outros atores históricos e suas ideias sobre a composição dos corpos. Nesse processo, se faz necessário analisar contextos anteriores, dando maior destaque ao *atomismo físico*, referente à composição da matéria (Bensaude-Vincent & Stengers, 1996).

Deste modo, considerando a importância em enfatizar o caráter descontínuo da matéria e a importância da HFC para a compreensão dos conteúdos científicos, este artigo analisa algumas teorias sobre a composição da matéria surgidas entre os séculos XVII e XVIII apresentando uma narrativa histórica para estudantes de graduação e professores de Química, assim como pesquisadores interessados nesse tema que buscam um material introdutório. Apoiando-nos na literatura sobre a filosofia natural da Idade Moderna e o problema da constituição dos corpos, apresentamos como a ideia de matéria descontínua se vinculou a diferentes visões de mundo e precipitou o surgimento de novas teorias sobre a natureza da matéria.

Descontinuidade da matéria no século XVII: breve panorama

Grande parte da literatura indica que a ideia de átomo surgiu por volta do século V a. C. na região do Mediterrâneo, atual Grécia, embora visões atomistas e descontinuístas sobre a matéria também tenham surgido de forma independente em civilizações orientais em épocas mais remotas (May, 2010). Atribui-se a criação da escola atomista grega aos filósofos Leucipo e Demócrito, que, como resposta ao problema dos princípios únicos e causadores da Natureza, propuseram a existência de partículas indivisíveis chamadas de átomos, distintas em sua forma, tamanho e movimento. Os átomos e o vazio (sendo o último condição para o movimento dos primeiros), seriam a causa fundamental da natureza, suas qualidades e transformações (Rocha, 2007). Tais ideias foram perpetuadas e reformuladas por outros pensadores, como o filósofo grego Epicuro, e o filósofo romano Lucrécio (séc. I d. C.), autor da obra *De Rerum Natura* (Sobre a Natureza das Coisas).

Relevantes acontecimentos, como a queda do Império Romano do Ocidente, a centralização do poder pela Igreja Católica Romana, e a expansão árabe no Mediterrâneo e Europa, fizeram com que os textos filosóficos clássicos, assim como textos sobre alquimia, astronomia e matemática, fossem traduzidos e reelaborados por intelectuais árabes. No entanto, as cruzadas, a retomada do comércio e florescimento das cidades na Europa, e reconquista da Península Ibérica sob domínio árabe a partir do século XII permitiram aos europeus conhecerem os saberes desenvolvidos pela civilização árabe e as traduções dos textos antigos (Alfonso-Goldfarb, 1987).

Foi assim que no século XV, os textos de Lucrécio e de outros atomistas clássicos ressurgiram no contexto europeu, mas sem grande impacto, tendo em vista o predomínio do pensamento escolástico. Apenas no século XVII o atomismo ganhou destaque, integrando-se à imagem de natureza construída com base na filosofia mecanicista (Abrantes, 2016; May, 2010). Lüthy e Nicoli (2022) acrescentam outros elementos a esse cenário, a exemplo do crescente interesse pelo “atomismo aristotélico” apresentado na obra *Meteorologia VI*; a tradução de outras obras clássicas, como o *Timeu* de Platão; o interesse pela alquimia e experimentação, e, mais tardiamente, o surgimento da microscopia.

Uma questão que mobilizou debates nesse contexto foi o problema dos corpos mistos, que remonta à teoria aristotélica dos quatro elementos. Aristóteles considerava os elementos (fogo, água, ar e terra) seriam formados pela matéria amorfa e um par de qualidades (quente, frio, seco, úmido), sendo assim possível transformar um elemento em outro trocando uma de suas qualidades. Sendo tais qualidades inerentes aos elementos, Aristóteles propunha que as qualidades das misturas refletiriam as qualidades dos seus elementos constituintes (Bensaude-Vincent & Stengers, 1996).

Bensaude-Vincent e Stengers (1996) afirmam que o problema dos corpos mistos estimulou reflexões importantes sobre a relação entre forma e matéria, onde as transformações químicas ganharam destaque. Embora a visão aristotélica tenha predominado entre os séculos IX e XVI, sustentando dogmas religiosos importantes como a eucaristia, a redescoberta dos escritos atomistas clássicos possibilitou o surgimento de interpretações descontinuístas para as propriedades dos corpos mistos, que atribuíam as qualidades dos corpos ao movimento, forma e organização de partículas constituintes (Lüthy & Nicoli, 2022; Clericuzio, 2000). No entanto, Lüthy e Nicoli (2022) ressaltam que o atomismo desse período foi adaptado aos dogmas cristãos, assim como incorporou ideias de diferentes correntes filosóficas à concepção de matéria descontínua, de modo que o descontinuísmo do século XVII em pouco se parece com o atomismo clássico e tampouco consistia em uma hipótese homogênea, como mostraremos a seguir.

Além dos átomos, outros conceitos como *minima naturalia*, mônadas, partículas e corpúsculos eram evocados para sustentar a tese da descontinuidade da matéria, trazendo consigo outros pressupostos para explicar a composição dos corpos e transcendendo o par “átomos e vazio” proposto por Leucipo e Demócrito. Além disso, não havia consenso sobre as características dessas entidades: a concepção corpuscularista, por exemplo, supunha que as partículas constituintes seriam indivisíveis exceto pela vontade e onipotência divina, enquanto a teoria dos *minima naturalia* pressupunha que as partículas teriam as mesmas propriedades qualitativas da matéria sensível (Zaterka, 2006).

A partir do panorama aqui brevemente exposto, é possível concluir que o tema da descontinuidade da matéria possui uma história complexa, que vai muito além da narrativa didática sobre os modelos atômicos, que parte do atomismo clássico e salta para as teorias atomistas do século XIX e XX. Consequentemente, para a sua compreensão histórica é preciso olhar para personagens cuja contribuição para a compreensão da natureza da matéria nem sempre é evidenciada, a exemplo dos filósofos naturais apresentadas a seguir.

Descontinuidade da matéria na obra de Gassendi, Descartes e Boyle

Tendo em vista as variadas teorias sobre a composição da matéria que surgiram na Europa seiscentista, consideramos ser necessário analisar alguns exemplares que representem tal diversidade intelectual. Por isso, escolhemos apresentar as ideias dos filósofos naturais Pierre Gassendi (1592-1655), René Descartes (1596-1650) e Robert Boyle (1627-1691), importantes personagens desse período.

Descartes e Gassendi foram contemporâneos, ambos tiveram forte ligação com os dogmas cristãos, sendo considerados representantes do pensamento mecanicista. Todavia, eles sustentaram diferentes posturas acerca da natureza da matéria.

A filosofia cartesiana baseava-se na doutrina religiosa católica e no raciocínio matemático-geométrico. Em suas reflexões, Descartes deixou de lado a busca pelas qualidades percebidas através dos sentidos em favor de uma análise racional guiada pela vontade divina, pela qual considerava conseguir obter o conhecimento verdadeiro (Cábal, 2012; Aísa, 1995). Descartes argumentava que a extensão era a qualidade fundamental da matéria-pensamento que impactou a obra de Nicolas Lémery (1645–1715), que atribuiu às formas dos corpúsculos as propriedades das substâncias, por exemplo, os ácidos seriam constituídos de corpúsculos pontiagudos, responsáveis pela pungência no paladar e por corroer materiais como o calcário (Lima & Silva, 2020).

Descartes considerava ser racionalmente possível dividir indefinidamente a matéria (*res extensa*) e rejeitava a existência do vazio, defendendo que os espaços entre os corpos seriam preenchidos por uma matéria sutil e perene (Aísa, 1995; Cábal, 2012). Embora tal postura o opusesse drasticamente ao atomismo clássico, Descartes acreditava que a matéria era formada por corpúsculos de diferentes formas, que seriam responsáveis pelas propriedades sensíveis dos corpos, como a cor, odor e comportamento químico. Tais corpúsculos seriam constituídos de um material indefinidamente divisível, que se faria presente tanto o mundo terreno quanto dos corpos celestes (Hatfield, 2023; Silva, 2016).

Rejeitando a abordagem cartesiana, em especial a interpretação geométrica da matéria, o corpuscularismo de Gassendi baseava-se na obra de Epicuro, defendendo que a matéria era formada por átomos indivisíveis, maciços e dotados de movimento intrínseco e incessante (Zaterka, 2006). Esses átomos formariam agregados de diferentes formas e tamanhos chamados moléculas, responsáveis por dotar a matéria de diferentes propriedades e texturas. Os diversos arranjos das moléculas explicavam as propriedades sensíveis e mudanças nos corpos, a exemplo das soluções, entendidas como o preenchimento dos espaços vazios existentes entre os corpúsculos do solvente pelas moléculas do soluto (Clericuzio, 2000). Todavia, diferente dos atomistas gregos, Gassendi considerava impossível reduzir a natureza a átomos e vazio, sendo necessário considerar a ação divina nesse cenário, responsável pela criação e movimento dessas partículas (Clericuzio, 2000).

Tendo em vista tais divergências, seria possível conciliar as ideias de Gassendi e Descartes? Um dos que buscaram um caminho do meio foi o inglês Robert Boyle, expoente da filosofia experimental, cuja obra teve grande impacto na ciência química que viria a se consolidar nos séculos seguintes. Boyle considerava as ideias desses filósofos eram conciliáveis, pois ambas se baseavam em uma noção de unidade básica da matéria.

Boyle considerava a existência de uma matéria universal, impenetrável, que formaria pequenos corpúsculos, chamados por ele de *minima* ou *prima naturalia*, por estes serem os menores constituintes da matéria (Chalmers, 2019). Esses corpúsculos seriam dotados de propriedades mecânicas como forma, massa e tamanho, e com variada capacidade de movimento. Em tese, tais corpúsculos seriam divisíveis pela ação divina e pela abstração humana, mas, empiricamente, tal divisão seria impossível (Zaterka, 2006).

Os corpúsculos teriam ainda a propriedade de se unirem, formando agrupamentos chamados por Boyle de corpúsculos de segunda ordem, também imperceptíveis aos sentidos humanos. Por sua vez, os corpúsculos de segunda ordem poderiam se aglutinar, formando corpúsculos de ordens indefinidamente superiores. Do aumento da hierarquia resultaria a matéria sensível, cujas propriedades —incluindo as de natureza química— seriam dependentes das diferentes formas e movimento dos agregados corpusculares (Clericuzio, 2000; Aísa, 1995).

Um ponto de divergência entre as ideias de Descartes e Boyle se refere à existência do vazio. Seguindo o método experimental e utilizando uma adaptação da bomba de ar criada por Otto von Gericke (1602–1686), Boyle mostrou ser possível criar artificialmente o vácuo, atacando assim as teorias plenistas e evidenciando a importância da experimentação para construir e validar os argumentos científicos (Shapin & Schaffer, 2011). Boyle também usou sua bomba de vácuo na realização de outros experimentos, a exemplo dos estudos sobre a relação entre pressão e volume dos gases, que posteriormente influenciaram as ideias de John Dalton sobre o comportamento dos gases atmosféricos (Chalmers, 2019).

Forças e matéria: Partículas, mônadas e pontos materiais

Embora o mecanicismo receba grande destaque na literatura sobre a ciência do período moderno, outras concepções de mundo e conhecimento se fizeram presentes nesse período. Uma delas é o dinamismo, apresentado por Abrantes (2016) como uma imagem de natureza onde as forças são a origem e a causa das entidades e fenômenos naturais. O autor afirma que o dinamismo é resultado de teorias e crenças diversas, dentre as quais, o neoplatonismo renascentista, o estoicismo e as concepções animistas presentes em correntes filosóficas antigas e teorias alquímicas.

Conhecidos por protagonizarem grande disputa pela criação do cálculo diferencial, Isaac Newton (1643–1727) e Gottfried Leibniz (1646–1716), compartilhavam elementos importantes do dinamismo e manifestaram tais ideias em suas obras. Nesses escritos, é perceptível o papel de forças, tanto para explicar as propriedades químicas dos corpos ou a própria origem da matéria.

As ideias de Newton sobre a constituição da matéria derivam do seu trabalho sobre o movimento e atração dos corpos, mas principalmente dos seus estudos alquímicos. A despeito da sua imagem de pioneiro da ciência moderna e defensor da matematização e experimentação sistemática, Newton tinha grande interesse na Alquimia, tendo performado experimentos alquímicos secretamente e mantendo uma longa correspondência com outros intelectuais interessados no tema, dentre os quais Robert Boyle e o filósofo inglês John Locke (Dobbs, 1982; Westfall, 1993).

Newton acreditava que a matéria era constituída por partículas impenetráveis, móveis e dotadas de massa e solidez (Benítez & Robles, 2006). Tais partículas teriam o mesmo tamanho e estariam dispostas para permitir espaços vazios entre elas, com o mesmo volume. Essas partículas seriam responsáveis pela cor e comportamento químico dos corpos, mas não seriam indivisíveis: elas seriam constituídas por outras ainda menores, também intercaladas por espaços vazios, que manteriam a relação de volume anteriormente descrita. Por sua vez, estas partículas seriam formadas por outras ainda menores, também separadas por espaços de igual volume. Tal redução se perpetuaria até atingir as chamadas partículas mínimas, que seriam indivisíveis, sem espaços ou poros entre elas (Kubbinga, 1988). Além disso, a relação entre os volumes da matéria e dos espaços vazios nos corpos permitia matematizar a proporção das partículas em diferentes níveis, assim como explicar alguns fenômenos, como a passagem da luz pela água (Kubbinga, 1988).

Newton também conjecturou que as partículas constituintes da matéria seriam dotadas de forças, análogas à força gravitacional, que seriam responsáveis pela atração e repulsão dos constituintes dos corpos, explicando assim as transformações químicas. Tal proposição, apresentada ao final do seu livro *Opticks* (1717), pode ser compreendida como

fruto de sua aproximação com as doutrinas alquímicas, uma vez que estabelece relação entre o macrocosmo (movimento dos corpos celestes) e o microcosmo (combinação das partículas constituintes dos corpos), tão presente na tradição hermética (Mocellin, 2006; Dobbs, 1982). Tal proposição também foi fundamental para o desenvolvimento da teoria de afinidades químicas, surgida no século XVIII, que propunha explicar as reações químicas a partir da existência de forças de atração mútua entre as espécies químicas (Mocellin, 2006).

Leibniz também propôs uma teoria para a matéria que articulava elementos religiosos com noções mecanicistas comuns da sua época. A complexidade da filosofia de Leibniz impede uma apresentação mais abrangente e detalhada neste artigo, mas apresentaremos aqui alguns de seus fundamentos, a fim de delinear sua visão sobre a constituição dos corpos que ficou conhecida como *Sistema das mônadas*.

Embora admirador da obra de Descartes, Leibniz rejeitou as noções cartesianas de movimento e extensão, defendendo, em contrapartida, que os corpos eram constituídos de uma força ativa (também chamada de *vis viva*) e uma força passiva (também chamada de matéria primeira, uma entidade abstrata sem existência autônoma). A união entre essas forças seria responsável por formar as mônadas, entidades puntiformes e metafísicas que constituiriam os corpos ao se agregar em diferentes quantidades (Lacerda, 2016). Contudo, é importante distinguir o sistema de mônadas das teorias atomistas e corpusculares do período: as mônadas seriam entidades desprovidas de extensão e massa, e, portanto, não podem ser reduzidas aos átomos clássicos, uma vez que estes possuiriam forma, massa e, diferente das mônadas, não seriam dotados de força (Costa & Videira, 2020).

As ideias de Newton e Leibniz impactaram os estudos do padre jesuíta Roger Boscovich (1711-1778), que também propôs uma teoria descontinuísta para a estrutura da matéria. Nascido na República de Ragusa (atual Croácia), Boscovich envolveu-se com diferentes campos do conhecimento, tais como a arqueologia, a meteorologia, a astronomia, a filosofia natural e a matemática (Costa & Videira, 2020; Rooney, 1985).

As ideias de Boscovich sobre a composição da matéria foram apresentadas na obra *Theoria Philosophiae Naturalis* (1763), onde defendeu que a matéria seria composta por pontos materiais que se combinariam formando os corpos. Estes pontos seriam simples, indivisíveis, sem massa ou extensão tal qual as mônadas de Leibniz, e se encontrariam afastados uns dos outros em meio ao vácuo (Costa & Videira, 2020). Essas entidades seriam dotadas de inércia e atuariam como centros de força de atração ou repulsão, variando conforme a distância entre os pontos materiais (Purrrington, 1997). Boscovich defendia que, quanto maior a proximidade entre os centros de força, maior a repulsão entre eles, não admitindo o contato físico direto entre os pontos materiais. Em contrapartida, a distâncias crescentes, a atração seria predominante. O modelo de Boscovich também previa que, a determinadas distâncias, as forças de atração e repulsão se equilibrariam e os centros de força se tornariam estáveis (Costa, & Videira, 2020; Rooney, 1985).

As forças de atração e repulsão entre os pontos materiais seriam responsáveis por diversas propriedades dos corpos, tais como estado físico, elasticidade, e impenetrabilidade. Deste modo, este modelo apresentou implicações para a compreensão de alguns fenômenos que, posteriormente, se tornaram objetos de interesse da Química. A teoria dos pontos materiais foi apreciada por químicos como Humphry Davy e Michael Faraday, ainda que Boscovich não tivesse, em sua teoria, pretendido compreender as transformações químicas em termos dessas entidades (Rooney, 1985).

Considerações finais

A noção de matéria descontínua integrou a imagem de natureza dos períodos seiscentista e setecentista, embora não fosse uniforme, tendo em vista as diferentes ideias defendidas pelos filósofos naturais desse período. Átomos, corpúsculos e mônadas guardam semelhanças entre si, mas não podem ser entendidos como sinônimos, tendo em vista a singularidade das teorias que representam e suas diferentes tradições intelectuais, tais como o mecanicismo e o dinamismo. A análise histórica aqui apresentada também evidencia que o desenvolvimento da concepção descontínua de mundo é uma história de longa duração, ainda que não seja uma história linear.

As concepções sobre a composição da matéria aqui apresentadas também mostram que a história da visão descontinuista de natureza é muito mais complexa do que a história dos modelos atômicos comumente apresentada nas aulas de química. Embora reconheçamos que a hipótese atômica de John Dalton não estava diretamente interessada em explicar a constituição dos corpos e seja produto de uma época mais recente, não é possível compreender o contexto intelectual no qual as ideias daltonianas surgiram e se disseminaram sem considerar o papel das teorias descontinuistas dos séculos anteriores. Dessa forma, se faz necessário apresentar outros personagens que também contribuíram para a aceitação de uma imagem de natureza corpuscular-atomista.

Por fim, espera-se que a narrativa apresentada possa ser útil para pesquisadores, docentes e estudantes de química compreenderem melhor o desenvolvimento das ideias descontinuistas na ciência, necessárias para o entendimento de como surge o modelo atômico-molecular de estrutura da matéria, ampliando o olhar para além das teorias sobre a composição da matéria e estrutura atômica surgidas no século XIX e XX.

Referências

- Abrantes, P. C. (2016). *Imagens de Natureza, Imagens de Ciência*. Rio de Janeiro: EdUERJ.
- Adadan, E., Trundle, K. C., & Irving, K. E. (2010). Exploring grade 11 students' conceptual pathways of the particulate nature of matter in the context of multirepresentational instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 1004–1035. <https://doi.org/10.1002/tea.20366>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 248–256. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Aísa, D. (1995). La filosofía mecánica de Descartes, Boyle y Huygens. *Thémata*, 14(1), 83–131. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=59593>
- Alarcon, L., Aponte, A., Sánchez, G., & Garay, F. G. (2013). En búsqueda de un modelo para el concepto de discontinuidad de la materia. Discusiones en torno de la naturaleza del conocimiento químico. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, (Extra), 42–46. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/305972>
- Alfonso-Goldfarb, A. M. (1987). *Da Alquimia à Química* (1ª ed.). Nova Stella - EDUSP.

- Beltran, M. L. R., Saito, F., & Trindade, L. P. (2014). *História da Ciência para formação de professores*. São Paulo: Livraria da Física.
- Benítez, L., & Robles, J. A. (2006). *De Newton y los newtonianos: Entre Descartes y Berkeley*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (1996). *História da Química* (1ª ed.). Lisboa: Instituto Piaget.
- Cábal, R. S. (2012). Éter, materia y movimiento en la filosofía natural de René Descartes. *Stoa*, 3(6), 119–137. <https://stoa.uv.mx/index.php/Stoa/article/view/448>
- Carvalho, A. M. P. de, & Gil-Pérez, D. (2012). *Formação de professores de ciências*. São Paulo: Cortez.
- Chalmers, A. (2019). Atomism from the 17th to the 20th century. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2019 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/atomism-modern/>
- Chamizo, J. A. (2006). Los modelos de la química. *Educación Química*, 17(4), 476–482. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.4.66030>
- Chamizo, J. A., & Garritz, A. (2014). Historical teaching of atomic and molecular structure. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 343–374). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_12
- Chaves, L. M. M. P., Santos, W. L. P. D., & Carneiro, M. H. D. S. (2014). História da Ciência no Estudo de Modelos Atômicos em Livros Didáticos de Química e Concepções de Ciência. *Química Nova na Escola*, 36(4), 269–279. <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20140032>
- Clericuzio, A. (2000). *Elements, Principles and Corpuscles: A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*. Springer Science & Business Media.
- Costa, W. R. S. da, & Videira, A. A. P. (2020). Seria viável uma terceira via entre Newton e Leibniz: A Filosofia Natural de Boscovich. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20200252. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0252>
- Díaz, M. (2005). ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una retórica de conclusiones? *Educación Química*, 16(3), 410–415. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.3.66104>
- Dobbs, B. J. T. (1982). Newton's alchemy and his theory of matter. *Isis*, 73(4), 511–528. <https://doi.org/10.1086/353114>
- Garay, F. (2013). La naturaleza del conocimiento químico en la educación en química. *Revista Chilena de Educación Científica*, 12(1), 17–21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4411129>
- Hatfield, G. (2023). René Descartes. En E. N. Zalta & U. Nodelman (Eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2023). Metaphysics Research Lab, Stanford University. Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/win2023/entries/descartes/>

- Jensen, W. B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbook: II. Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75(7), 817–828. <https://doi.org/10.1021/ed075p817>
- Kubbinga, H. H. (1988). Newton's theory of matter. En P. B. Scheurer & G. Debrock (Eds.), *Newton's scientific and philosophical legacy* (pp. 321–341). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Kwon, S., Lee, G., & Niaz, M. (2020). Toward understanding the structure of the historical controversy: Atomic models as an exemplar. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(12), em1914. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ1284627>
- Lacerda, T. (2016). Leibniz: Matéria extensa e corpo orgânico. *Especiaria: Cadernos de Ciências Humanas*, 16(28), 152–165. <https://periodicos.uesc.br/index.php/especiaria/article/view/1496>
- Lima, C. M. C. F., & Silva, J. L. D. P. B. (2020). Contribuições do desenvolvimento histórico-cultural dos conceitos de ácido e de base para o ensino de química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 157–191. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u157191>
- López Valentín, D. M., & Furió Más, C. (2021). El concepto actual de elemento químico: ¿uno o dos significados? Implicaciones en su enseñanza (Segunda parte). *Educación Química*, 32(1), 31–44. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.1.75259>
- Lüthy, C., & Nicoli, E. (2022). Atoms, corpuscles, and minima in the Renaissance: An overview. En C. Lüthy & E. Nicoli *Atoms, corpuscles and minima in the Renaissance* (pp. 1–32). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004528925_002
- Matthews, M. R. (2014). *Science teaching: The contribution of history and philosophy of science*. Routledge.
- May, L. (2010). Atomism before Dalton. En C. J. Giunta *Atoms in chemistry: From Dalton's predecessors to complex atoms and beyond* (Vol. 1044, pp. 21–33). Washington D.C.: American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2010-1044.ch003>
- Melo, M., & Lima Neto, E. D. (2013). Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. *Química Nova na Escola*, 35(2), 112–122.
- Menezes, V. M. S., Machado, S. M. F., & Silva, E. L. da. (2020). Perfil conceitual a respeito da concepção atomística dos estados físicos da matéria de um grupo de alunos da educação de jovens e adultos – EJA. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 11(5), 223–242. <https://doi.org/10.26843/rencima.v11i5.2264>
- Merritt, J., & Krajcik, J. (2013). Learning progression developed to support students in building a particle model of matter. En G. Tsapalis & H. Sevan (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 11–45). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5_2

- Messeder Neto, H. S., Sá, L. V. de, & Brito, M. M. de (2022). *Conceitos químicos em debate*. Salvador: EDUFBA.
- Mocellin, R. C. (2006). A química newtoniana. *Química Nova*, 29(2), 388–396. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000200035>
- Mortimer, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências* (1a ed.). Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Pereira, L. S., & Silva, J. L. P. (2018). Uma história do antiatomismo: Possibilidades para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, 40(1), 19–24. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160100>
- Pozo, J. I., Julián, M. S. G., & Crespo, M. Á. G. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia. El diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15(3), 198–209. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66177>
- Purrrington, R. (1997). *Physics in the nineteenth century*. New Brunswick, N.J: Rutgers University Press.
- Rocha, G. R. (2007). *História do atomismo: Como chegamos a conceber o mundo como o conhecemos*. Belo Horizonte: Fino Traço.
- Rocke, A. J. (2001). Chemical atomism and the evolution of chemical theory in the nineteenth century. In U. Klein (Ed.), *Tools and modes of representation in the laboratory sciences* (pp. 1–11). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9737-1_1
- Rooney, R. (1985). Roger Bosovich and the development of chemical theory. *Journal of Chemical Education*, 68(10), 848–851. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed062p848>
- Shapin, S., & Schaffer, S. (2011). *Leviathan and the air-pump: Hobbes, Boyle, and the experimental life*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Silva, D. R. da, Velasco, B. G. F., & Pino, J. C. D. (2019). O estudo da descontinuidade da matéria e da conservação das propriedades não observáveis: Caminhos traçados por estudantes ingressantes do Ensino Médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(2), 71–87. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/142>
- Silva, P. T. da. (2016). Os princípios metafísicos e as suposições cartesianas sobre a natureza da matéria. *Especiaria: Cadernos de Ciências Humanas*, 16(28), 46–60. <https://periodicos.uesc.br/index.php/especiaria/article/view/1469>
- Sjöström, J., Eilks, I., & Talanquer, V. (2020). Didaktik models in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 910–915. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034>
- Tsaparlis, G., & Sevan, H. (2013). Introduction: Concepts of matter – complex to teach and difficult to learn. In G. Tsaparlis & H. Sevan (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 1–8). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5_1

- Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2010). The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: Reflections for educators in chemistry. *Science & Education*, 19(1), 75–90. <https://doi.org/10.1007/s11191-008-9182-2>
- Vries, M. G. D. (2018). A importância de diferentes mediadores na elaboração e representação de modelos da estrutura e transformação da matéria (Master's thesis, Universidade de São Paulo). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Westfall, R. S. (1993). *The life of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Whitfield, M., & Vitz, E. (2006). Demonstrating void space in solids: A simple demonstration to challenge a powerful misconception. *Journal of Chemical Education*, 86(5), 749–751. <https://doi.org/10.1021/ed083p749>
- Zaterka, L. (2006). Alguns aspectos da teoria da matéria: Atomismo, corpuscularismo e filosofia mecânica. In C. C. Silva (Ed.), *Estudos de história e filosofia das ciências: Subsídios para a aplicação no ensino* (pp. 329–352). São Paulo: Editora Livraria da Física.