

# O que é pensar a estrutura elementar da matéria?

## O atomismo da antiguidade à modernidade: o que muda com a Física Moderna?

Renan Milnitsky<sup>1</sup>

Nas discussões de física de partículas é muito comum situar a intuição atomista, do átomo de Demócrito na antiguidade aos quarks de Gell-Mann contemporaneidade, como o desenrolar de uma única problematização bimilenar: Do que são feitas todas as coisas? A forma como a questão é colocada passa uma noção de unicidade de pensamento, de uma continuidade nas investigações sobre a natureza atômica da matéria, aparentando que a ciência, em seus diferentes momentos da história, sempre colocou como questão fundamental compreender sua estrutura elementar.

Neste texto buscaremos ampliar nosso entendimento sobre o que é pensar a estrutura elementar da matéria, revelando características que marcam a intuição atômica como concepção de mundo na antiguidade e na modernidade com o propósito de evidenciar como o atomismo da Física Moderna rompe com tradições filosóficas e epistemológicas que se cristalizam em seus contextos anteriores.

Para a historiadora Luciana Zaterka (2006), o atomismo surge como uma forma de pensamento que busca conciliar o problema da permanência, presente na concepção de Parmênides, com as transformações constantes que observamos na natureza, presente na concepção de Heráclito. Segundo Demócrito, um dos fundadores do pensamento atomista,

“**Por convenção** existe o quente, **por convenção** existe o frio, **por convenção** existe a cor, o doce e o amargo; **segundo a verdade**, existe apenas o que é indivisível e o vazio.” (Demócrito de Abdera, apud Zaterka 2006, p. 338)

O nascimento da concepção de átomo na escola atomista vem em concordância com duas naturezas únicas e permanentes, distantes de serem enganadas pela sensibilidade humana: os **átomos** e o **vazio**. O remanejamento e a organização dos átomos explicariam as mudanças percebidas no mundo sensível. É importante notar como Demócrito faz uso dos termos “por convenção” e “segundo a verdade”, diferenciando a via opinião da via do conhecimento, o mundo sensível do mundo dos átomos. A noção do indivisível, em oposição àquilo que é divisível, faz referência à existência de átomos, em referência à estrutura que etimologicamente origina do grego á-tomo (ἄ-τομος), sendo tomo (τομος) divisível e o prefixo a (ἄ) sua negação.

É importante perceber que para Demócrito, a existência do átomo prescinde da existência do vazio. Para que as mudanças sejam possíveis, os átomos precisam ter movimento, e só podem se houver um espaço vazio para que ele seja realizado. Na escola atomista, a imagem de um mundo constituído de átomos e vazio são suficientes para explicar a diversidade observada na realidade física, uma vez que, para Demócrito “Estas partículas movem-se no vazio (pois o vazio existe), e quando se juntam, dão origem ao nascimento, e quando se separam, causam destruição.” (apud ZATERKA 2006, p.339). Complementando a concepção de Demócrito, Leucipo reitera que a natureza não tem suas mudanças e transformações regidas por aspectos aleatórios, pelo contrário, “nenhuma coisa se engendra ao acaso, mas todas a partir de razão e necessidade” (apud ZATERKA 2006, p.340). A razão e a necessidade estão por trás de uma lógica que envolve a forma e a organização dos átomos no espaço vazio. Uma análise mais detalhada das características dos átomos aparece em Epicuro, que afirma que

(...) estes átomos movem-se no vazio infinito, separados uns dos outros e diferentes no formato, tamanho, posição e disposição; Ao ultrapassarem uns aos outros, colidem, e alguns são sacudidos ao acaso, em qualquer direção; Ao passo que outros, entrelaçando-se segundo suas formas, tamanhos, posições e disposições, permanecem unidos e assim dão origem ao nascimento de corpos compostos.” (Epicuro, apud ZATERKA 2006, p.341)

Por mais que tenha muita semelhança com a perspectiva atomista que veremos mais adiante nos trabalhos de Boyle e Dalton, aparentando dar um sentido de continuidade de ideias na transição

---

<sup>1</sup> Este texto é uma versão reduzida e adaptada à disciplina. Sua versão completa pode ser encontrada na seção 4.1 Atomismo e visão de mundo: da antiguidade à modernidade em MILNITSKY (2018).

entre a antiguidade e a modernidade, a escola atomista foi duramente criticada por Aristóteles em sua obra *Metafísica* por pressupor a existência do vazio

Leucipo e seu companheiro Demócrito sustentam que os elementos são o cheio e o vazio, aos quais são o nome de que é e o que não é, respectivamente. O que é, é cheio sólido; o que não é, é vazio e sutil. **Visto o vazio existir em não menor grau que o corpo, segue-se que o que não é não existe menos do que o que é.** (ARISTÓTELES, apud Zaterka 2006, p. 338, grifo nosso)

Um ponto importante referente à crítica aristotélica se refere à realidade dos átomos. A escola atomista, por mais que dote os átomos de uma imensa variedade de qualidades como forma, disposição e organização, e defenda que o universo microscópico possui uma correspondência em menor escala com o universo macroscópico, não há objetivamente argumentos que evidenciem a existência dos átomos no mundo físico. Para Aristóteles, um argumento lógico bem construído não passa somente por sua estrutura, mas também por sua correspondência com a realidade primeira – com a observação imediata. Os átomos de Demócrito, Leucipo e Epicuro têm características imagéticas e abstratas, sendo apenas um suporte para a interpretação da realidade física, encarados como entidades muito afastadas dela.

Na passagem da antiguidade à modernidade, o atomismo, rendido às críticas, praticamente não foi discutido de forma sistemática, sendo a concepção aristotélica dos 4 elementos a base para a interpretação dos fenômenos naturais. Lucrécio realiza uma síntese deste pensamento cerca de 200 anos após a morte de seus criadores. No entanto, é apenas em meados dos séculos XVI e XVII que concepções associadas a estrutura elementar da matéria retornam ao palco científico com grande força.

Zaterka (2006) aponta que Gassendi retoma os textos de Lucrécio e influencia outros cientistas que formulam, dentro deste movimento de resgate, uma nova interpretação para a estrutura elementar que apresenta muita similaridade filosófica com a ideia de átomo, mas se diferencia dela enquanto origem e forma de representação do mundo. O novo conceito é proposto por Robert Boyle e publicado, em 1666, em uma obra intitulada *A Origem das formas e qualidades*. Nesta obra, escrita dentro de um contexto profundamente influenciado pela ascendente cultura experimental, Boyle tenta construir uma ponte ligando o mundo físico ao mundo inacessível aos sentidos, se tornando um grande adepto desta nova filosofia. Sua preocupação ao evocar certos aspectos do atomismo antigo, passa a ser a de explicar diversos efeitos observados em seu laboratório: a resistência do ar; a produção de calor; transformações gasosas; composição de substâncias químicas e uma série outros fenômenos produzidos com o intuito de alterar e controlar o curso da natureza. (ZATERKA, 2006)

Na perspectiva de Boyle, principalmente devido a experimentos envolvendo dissociações químicas, a matéria deveria ser composta por pedaços menores que podem ser separados uns dos outros utilizando os métodos adequados da nova filosofia experimental. No entanto, diferentemente das concepções da escola atomista na antiguidade, não há nenhum compromisso com a descrição detalhada de suas características e nem com sua indivisibilidade. Para Boyle, estas entidades seriam partes de matéria que comporiam os corpos e seriam, nas palavras do cientista, pedaços mínimos de constituição da natureza: as *mínima naturalia*.

Embora sejam, por onipotência divina, divisíveis, em razão de sua pequenez e de sua natureza sólida é quase impossível dividi-las; elas podem, neste sentido, ser chamadas de *mínima naturalia*". (BOYLE, apud ZATERKA 2006, p. 346)

A preocupação de Boyle não é lidar com nenhuma concepção filosófica sobre o constituinte último da matéria – se há ou não possibilidade de dividi-los em pedaços menores do que aqueles que estão a seu alcance não é questão fundamental de sua investigação. Ele reconhece que, de fato, em sua prática laboratorial, se torna impossível dividi-las com os métodos disponíveis, é neste sentido que os denomina como mínimos pedaços de natureza. Boyle faz referência a uma hierarquia de organização no mundo natural: as *minima naturalia* compoendo os corpúsculos e estes, enfim, a realidade física:

Existem multidões de corpúsculos que são feitos da união de alguns *minima naturalia* dos quais o tamanho é tão pequeno e sua adesão tão próxima e completa, que cada uma destas pequenas concreções primitivas ou agrupamentos de partículas está isoladamente abaixo do discernimento dos sentidos. (BOYLE, apud ZATERKA 2006, p.347)

Ainda que a proposta de Boyle difira filosoficamente do atomismo antigo, as diferenças neste momento ainda não são significativas, sendo a *mínima naturalia* para Boyle ou o átomo para Leucipo e Demócrito, uma espécie de suporte para o entendimento do mundo – uma representação imagética dele. Há ainda um distanciamento entre a abstração do mundo e seus objetos de estudo – o átomo, ou a *mínima naturalia*, não estão no centro da teoria, sendo considerado apenas na periferia dela. Para o filósofo da ciência Michel Paty (1995), a verdadeira história do átomo começa quando ele passa a ser considerado dentro da teoria e sua abstração deixa de ter caráter meramente descritivo e passa a ter uma capacidade preditiva.

A história do átomo só começou verdadeiramente quando esse conceito foi empregado numa representação teórica, capaz de reunir fenômenos que ela expunha quantitativamente, e dotada de valor preditivo. **É, pois, essencialmente, com a química posterior a Dalton, depois com a teoria cinética dos gases e enfim com as diversas manifestações elétricas e radiativas da estrutura íntima da matéria que o átomo se torna um conceito físico.**” (PATY, 1995, p. 81)

O trabalho de Dalton é reconhecidamente famoso por construir os alicerces da teoria atômica moderna. Ele se baseará em duas perspectivas bastante influentes em sua época: o mecanicismo dos corpúsculos em Newton e a concepção de afinidade química dos trabalhos de Lavoisier. Na obra *Um Novo Sistema para a Filosofia Química (1808)* escrita por Dalton, a teoria atômica é apresentada junto a uma citação de Lavoisier, no qual, ao mesmo tempo que percebemos uma epistemologia característica da filosofia atômica, há um receio em aceitá-la como fundante da realidade física.

“A química caminha em direção a seu objetivo **dividindo, subdividindo e ainda resubdividindo. Não podemos assegurar que aquilo que consideramos hoje como elementar o seja de fato**; tudo que podemos dizer é que tal substância é o termo atual ao qual chega a análise química, e que ela não pode mais se subdividir no estado atual de nossos conhecimentos” (LAVOISIER, apud FIGUEIRAS, 2004, p.40)

Dalton tinha um interesse peculiar em fenômenos meteorológicos, sendo este o campo de investigação que o levou a sua teoria atômica a partir de seus estudos sobre a composição da atmosfera. Até aquele momento na história, se sabia, principalmente devido às contribuições de Lavoisier, que a atmosfera era composta essencialmente por oxigênio e nitrogênio, contendo também pequenas porções de vapor de água e gás carbônico. Dalton buscava compreender como estas substâncias estavam dispostas na atmosfera. As primeiras concepções manifestadas em seu trabalho estão representadas na Figura 1.

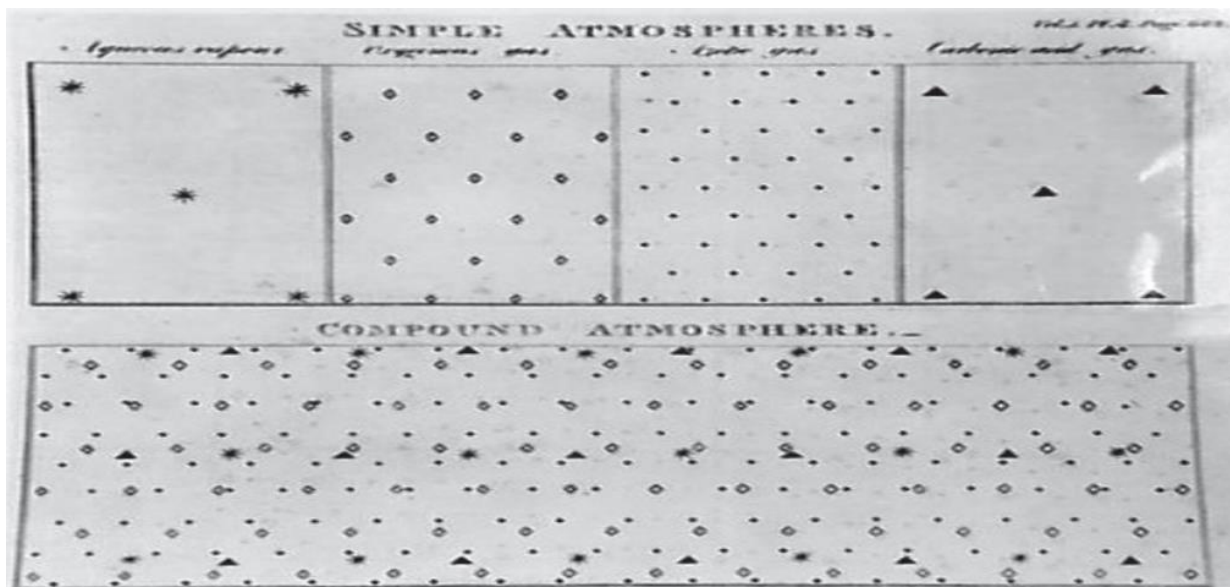


Figura 1 - Concepções da atmosfera ilustrada por Dalton. (Fonte: *New System of Chemical Philosophy*)

É importante notar que há, neste primeiro momento, a predominância de uma representação imagética ainda simples que evoluirá ao longo de sua investigação para uma concepção que servirá de base para suas formulações teóricas. Realizando uma análise mais precisa sobre a dinâmica da atmosfera, Dalton postula, em 1801, uma mecanicidade nas interações, fazendo-o se afastar cada vez mais da noção clássica de corpúsculo independentes e o aproximando de uma perspectiva atômica mais associada à afinidade química de elementos em interação. A partir de suas investigações sobre os pesos e as composições dos elementos químicos, Dalton reelabora sua representação imagética do átomo, unindo suas práticas experimentais com suas intuições teóricas. A figura 2 ilustra as representações de Dalton para os elementos e seus compostos num momento mais maduro de sua pesquisa.

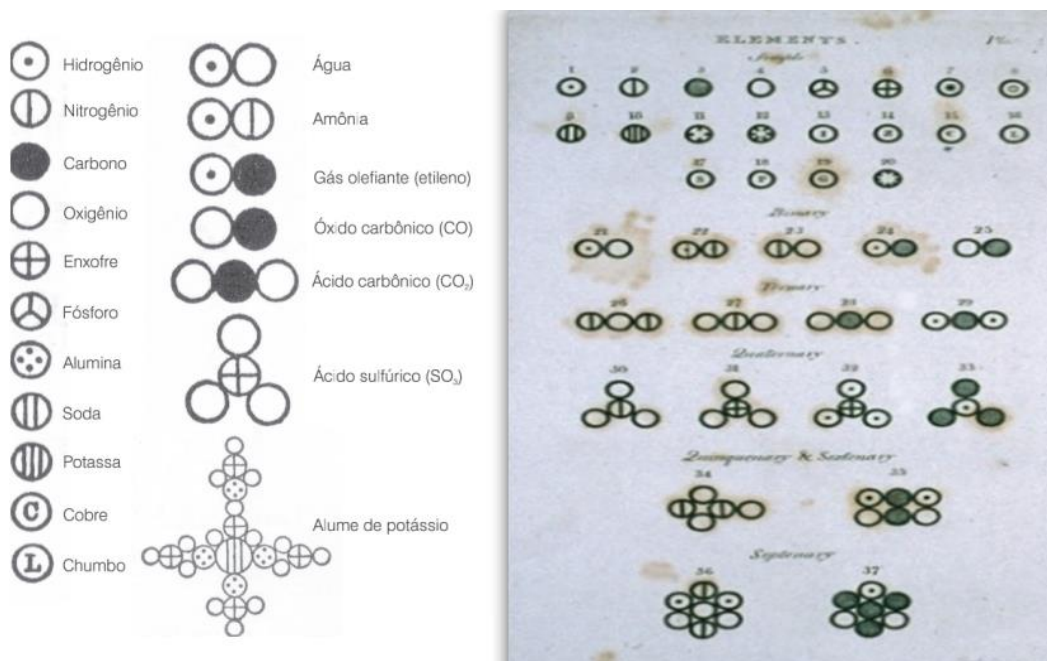


Figura 2 - Representação dos elementos e seus compostos. A esquerda temos a representação original de Dalton e a esquerda a tradução realizada por Figueira. (Fonte: FIGUEIRAS, 2004)

Com esta representação, Dalton elabora mais do que simplesmente uma representação imagética do mundo atômico, ele constrói uma ponte que une sua concepção teórica com a realidade física, numa perspectiva atômica com poder preditivo e de análise experimental. Esta concepção possibilitou identificação de novas substâncias e maior precisão de propriedades de substâncias já conhecidas. É curioso notar como sua visão de mundo se desenvolve em seu trabalho. Ao final dele, sua concepção sobre as interações a nível atômico já se encontra muito afastadas da noção clássica de corpúsculo rígidos não interagentes formulados por Boyle e Newton. Na figura 3 observamos representações muito mais detalhadas sobre as interações do que a ilustrada na figura 1. Essa perspectiva traz à tona um novo problema sobre a estabilidade, organização e interação dos compostos químicos, principalmente dos gasosos. Devido à sua baixa densidade e alta mobilidade e elasticidade, se torna um grande mistério compreender como a região de interação no entorno de cada um dos elementos influencia na forma como eles se organizam. É preciso compreender também quais propriedades que dão origem a estas interações.

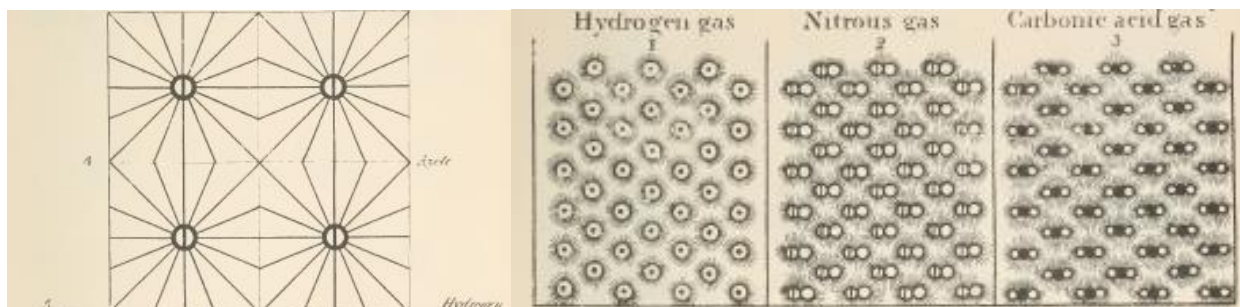


Figura 3 - Representação dos gases que compõe a atmosfera dando uma ênfase maior nas formas interação que deve haver entre eles para que a formação do composto seja possível. (Fonte: New System of Chemical Philosophy)

Entre a antiguidade e a modernidade vemos na hipótese atômica, como J. Perrin, a ideia de “explicar o visível complicado, pelo invisível simples” (1913, p.14). Neste sentido, apesar de dotar os corpúsculos de propriedades complexas e empiricamente difíceis de serem mensuradas, sendo esta a grande tarefa da química na modernidade, eles ainda são enxergados na simplicidade: esferas rígidas inacessíveis aos sentidos, dotadas de pesos diferentes que as distinguem umas das outras; vagando pelo vazio geométrico e interagindo entre si dando origem à matéria nos diversos estados físicos que observamos.

Como aponta o Filósofo da Ciência Michel Paty, ainda que tenha ganhado terreno na modernidade, há ainda um grande abismo entre o átomo como hipótese e sua realidade demonstrada. O invisível simples, como citado por Perrin, nem sempre foi muito bem recebido. Este caminho da abstração, de dotá-lo de qualidades inobserváveis e trabalhar sobre ele em cima de analogias sem que nada pudesse ser constatado sobre a entidade em si foi uma característica marcante do atomismo entre a antiguidade e a modernidade:

“Pois os átomos, desde suas primeiras formulações, são uma abstração fora das aparências e do sensível. **Os átomos são caracterizados, por sua duração infinita, sua forma, e uma propriedade aleatória de declinação [...]. Essas qualidades, como as regras abstratas de movimento de choques que originam as interações, são inferidas por analogia – daí nascem suas limitações.** Se o emprego da analogia é requerido pelo processo de conhecimento em toda circunstância, ele se encontra submetido às limitações impostas pela impossibilidade de colocar à prova suas conclusões.” (Paty, 1996, p.76, grifo nosso)

O emprego de pensamentos analógicos, sustentados por um pressuposto de extensão que une as realidades macroscópica e microscópica, renderam ao atomismo na modernidade as críticas mais duras de seu período de vida. Vemos, por exemplo, em Alain (1936, apud Paty, p. 74) que “o atomismo é um fato para os tolos; aos olhos dos grandes gênios, ele não passa de uma convenção” ou em Bergson (1889, apud Paty, p. 74), que afirma que “estaríamos bastante inclinados, a ver no átomo, não uma coisa real, mas o resíduo materializado das explicações mecânicas”. Ao final do século XIX, com o auge da tradição positivista em voga, Mach enuncia o princípio de economia de pensamento para a elaboração de teorias científicas. Segundo ele, o objetivo da ciência é “clarificar ideias, expor o significado real do assunto e expurgar as obscuridades metafísicas” (Mach, apud Fitas, 1998, p.7). Neste sentido, o atomismo não é uma intuição bem recebida, pois segundo a análise de Fitas sobre o princípio de Mach,

“uma boa teoria científica [ao final do século XIX] é aquela que permite a classificação e previsão de fenômenos sem o recurso a um excessivo número de ideias sem correspondência com o que é observado pelos sentidos, a lei científica corresponde a um enunciado econômico, formulado na linguagem matemática dos resultados experimentais. [...] a hipótese atomista, supondo o átomo como entidade real, constitui uma teoria física muito complicada; **um átomo nunca se observara [...] logo esta teoria não teria sentido.**” (Fitas, 1998, p.8)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FITAS, A.J.S, **Mach: o positivismo e as reformulações da mecânica no séc. XIX.** In: 3º Encontro de Évora sobre História e Filosofia da Ciência. Évora. 1996. Atas. Disponível em: <http://home.uevora.pt/~afitas/AJSFitas-1998a-Mach.pdf> Acesso em: 31/06/2023.
- FIGUEIRAS, C. **Duzentos anos da teoria atômica de Dalton.** Química Nova na Escola. Nº 20, 2004.
- MILNITSKY, R. **Epistemologia e Currículo: reflexões sobre a Ciência Contemporânea em busca de um outro olhar para a Física de Partículas Elementares.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- PATY, M. A **Matéria Roubada: a apropriação crítica do objeto da Física Contemporânea.** / Tradução Mary Amazonas Leite de Barros. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1995.
- ZATERKA, L. . **Alguns aspectos da teoria da matéria: atomismo, corpuscularismo e filosofia mecânica.** In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). Estudos de História e Filosofia das Ciências. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, v. 1, p. 329-352.