





Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico-epistemológico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas

Classifications of chemical elements in the 19th century: a historical-epistemological study in the search for a correlation between the atomic weight of elements and their physicochemical properties

Cristina Spolti Lorenzetti¹

<https://orcid.org/0000-0001-9037-189X> 

Anabel Cardoso Raicik¹

<https://orcid.org/0000-0001-6674-8466> 

1. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: cspolti55@gmail.com; anabelraicik@gmail.com

Resumo: O século XIX é permeado por distintas sistematizações dos elementos químicos que evidenciavam a busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas. Um resgate histórico-epistemológico, ainda que sucinto, de classificações como a de Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, a de Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, evidenciam como eram variadas as formas pelas quais os estudiosos buscavam uma classificação para os elementos e como observavam por diferentes perspectivas os parâmetros químicos utilizados nessas classificações. Além disso, esse período, sobretudo vinculado ao Congresso de Karlsruhe, permite compreender a relevância das discussões relacionadas aos procedimentos de determinação do peso atômico, da nomenclatura dos elementos, dos dissensos linguísticos e conceituais relativos a átomos, moléculas, substâncias, entre outros, que permearam a comunidade científica naquele momento.

Palavras-chave: Sistematização; Peso Atômico; Congresso de Karlsruhe; História da Ciência; Natureza da Ciência.

Abstract: The 19th century is permeated by different systematizations of chemical elements that evinced the search for a correlation between the atomic weight of the elements and their physical-chemical properties. A historical-epistemological rescue, albeit succinct, of classifications such as that of Johann W. Döbereiner (1780-1849) and his Law of Triads, that



of Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886) and his Vis Tellurique, that of John A. R. Newlands (1837-1898) and his Law of Octaves, show how varied the ways in which scholars sought a classification for the elements were and how they observed the chemical parameters used in these classifications from different perspectives. Furthermore, this period, especially linked to the Karlsruhe Congress, allows us to understand the relevance of discussions related to procedures for determining atomic weight, the nomenclature of elements, linguistic and conceptual disagreements regarding atoms, molecules, substances, among others, which permeated the scientific community at that time.

Keywords: Systematization; Atomic Weight; Karlsruhe Congress; History of Science; Nature of Science.

Introdução

O surgimento de práticas de síntese e análise laboratoriais a partir do século XVII, juntamente à retomada do atomismo e a introdução do empirismo baconiano e do mecanicismo cartesiano, vão conferir novos questionamentos aos estudos da matéria e às concepções de elemento na ciência (Banchetti-Robino, 2011; Goldfarb, 1987; Lorenzetti et al., 2024a, 2024b). Ainda que permeada em um fundo filosófico que tem os quatro elementos aristotélicos e os princípios “mercúrio”, “sal” e “enxofre” – a *tria prima* – derivada da alquimia árabe e desenvolvida por espagiristas, amplamente disseminados, compostos e elementos passaram a ser sistematicamente estudados, isolados, misturados, decompostos na considerada “ciência moderna” (Maar, 2011).

A tradição de lidar com compostos, seja com alquimistas, iatroquímicos, farmacêuticos, curandeiros, é bastante antiga. No contexto alquímico e mágico-vitalista, era comum que o ouro e a prata fossem considerados elementos advindos de uma boa mistura; particularmente o ouro, visto como uma mistura perfeita de outras partes estruturantes fundamentais, como os princípios mercúrio e enxofre (Goldfarb, 1987). Não obstante, à luz de novas considerações filosóficas que permearam a ciência nos séculos XVII, XVIII e XIX, mais laboratórios eram construídos, mais práticas eram desenvolvidas e, inevitavelmente, surgiram problemas que antes não eram preocupações latentes; como a classificação de compostos e elementos, a padronização de nomenclaturas, a definição de conceitos (tais como átomos, moléculas, substâncias etc.) e os procedimentos de obtenção do peso atômico.

Em seu livro *O pluralismo coerente da química moderna*, Bachelard (2009) evidencia a variedade de substâncias que os químicos modernos fizeram surgir em seus laboratórios e a infinidade de compostos artificiais que foram obtidos a partir da decomposição de complexas substâncias orgânicas de origem animal e vegetal.

Compostos que antes eram ditos semelhantes, através de sua cor ou cheiro, isto é, a partir de aspectos sensoriais ou por sua origem natural (como óleos extraídos especificamente de plantas), passaram por análises mais criteriosas que se valeram de outros valores, não apenas o sensorial, para sua classificação. Bachelard acreditava, inclusive, que essa prática de utilizar os sentidos para determinar certas propriedades de compostos e assim aproximá-los ou afastá-los em termos de semelhanças, dificultou que se obtivesse, ainda no século XVIII, uma classificação de compostos em famílias que não só formassem agrupamentos, mas que tivessem uma acepção analítica. As sistematizações que surgiram no século XIX não apenas reuniam os elementos a partir de certas categorias símiles, argumentou Bachelard, mas auxiliaram na construção de conhecimento sobre os compostos e as séries analíticas empregadas, a partir dos próprios mecanismos e práticas utilizados.

Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794), Jeremias Benjamin Richter (1762–1807), Joseph Louis Proust (1754–1826), entre tantos outros, impulsionaram, sobremaneira, as pesquisas que seguiram a eles no início do século XIX. A teoria atômica e a Lei das proporções múltiplas de John Dalton (1766-1844) e a Lei dos volumes de Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850), por exemplo, marcaram os estudos sobre a matéria do período. Apresentando resultados diferentes para o estudo de gases, principalmente no que se refere ao volume do vapor d'água, eles influenciaram tanto os defensores da teoria atômica, que buscavam procedimentos e valores apropriados para o peso atômico, como quem se alinhava com o que ficou conhecido como peso equivalente (Maar, 2011).

À luz de uma nova filosofia, além das propriedades físico-químicas qualitativas, atreladas fortemente ao sensorial, os químicos também passaram a considerar fortemente aspectos quantitativos dos elementos, sendo esse um dos parâmetros que permitiu à comunidade científica da época o estabelecimento de diversas relações de classificação química, principalmente a partir da década de 30 do século XIX. Essas relações, em termos gerais, instituíram um novo ciclo de estudos químicos, que estavam ligados à ideia de organizar, classificar, categorizar e, a partir dessas práticas, obter novos conhecimentos sobre os elementos sistematizados. Foi (e é) um movimento dinâmico entre explorar, isolar, relacionar, organizar um determinado objeto de estudo pertencente à natureza, até modificá-la, e ao mesmo tempo obter novos conhecimentos sobre ela; modificar para construir e aprender.

Nesse sentido, e visando contextualizar historicamente algumas organizações para os elementos químicos pouco ponderadas no ensino de ciências, este artigo

resgata sistematizações como a de Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, a de Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, além de uma das tabelas de Julius Lothar Meyer (1830-1895), que antecederam à publicação da comumente conhecida Tabela Periódica de Dmitri I. Mendeleev (1834-1907). Ressalta-se brevemente, para tanto, fatores que influenciaram direta ou indiretamente o desenvolvimento dessas sistematizações, como o primeiro evento internacional a reunir uma comunidade de químicos, o conhecido Congresso de Karlsruhe, que ocorreu em 1860, que objetivava uma conciliação entre diferentes perspectivas químicas que circulavam na época.

Em síntese, busca-se evidenciar entrelinhas uma mudança metodológica (e epistemológica) entre os estudiosos; de um pensamento qualitativo (levando em consideração aspectos físico-químicos em sua grande maioria sensíveis aos sentidos humanos) para um outro quantitativo, por parte de alguns deles. Além disso, a influência que fatores considerados mais “externos” ao corpo conceitual da ciência exercem sobre os estudiosos, a indivisibilidade entre sujeito (humano) e pesquisador que explicita como concepções idiossincráticas influenciam as pesquisas, a coletividade na ciência e sua dinamicidade, entre outros, são salientados, sobretudo com vistas a reflexões para o ensino de ciências.

À luz de uma historiografia contemporânea, que busca “equilibrar o internalismo e o externalismo” e “subsidiar uma explicitação da relação que se julga haver entre o desenvolvimento conceitual da ciência e as múltiplas influências externas” (Queiroz & Hidalgo, 2020, p. 68), este artigo percorreu seus caminhos metodológicos. Distintamente àquele anacrônico, whig, hagiográfico, embasado na ideia de progresso positivista, que se busca combater, o percurso histórico aqui traçado, valorizando tanto fontes primárias quanto secundárias fidedignas, visou valorizar um contexto coletivo de desenvolvimento científico. As fontes históricas utilizadas e selecionadas, sempre com os olhos de quem as analisa, seja o historiador, o pesquisador, o professor, carrega a ideia de um passado que não é morto, “mas um passado que, em algum sentido, ainda está vivo no presente” (Carr, 1982, p. 22) e pode, e deve, ser levado ao ensino de ciências.

Primeiras Classificações do Século XIX: Relações Numéricas entre o Peso Atômico de Elementos e a Disseminação das Tríades

Em 1817, Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), buscando uma relação entre os elementos químicos e seus pesos atômicos desenvolveu e publicou a Lei das Tríades. Nessa classificação, os óxidos eram agrupados a partir de relações entre seus pesos; apesar de essencialmente numérica, ela auxiliou a traçar semelhanças entre as propriedades físico-químicas dos elementos que pertenciam à tríade. Essa classificação mostrava que a média entre o peso do integrante mais leve e o peso do integrante mais pesado resultava em um valor muito aproximado ou igual ao peso do integrante intermediário da tríade (Rawson, 1974).

A título de exemplo, Döbereiner mostrou uma relação entre *strontia* (SrO) (peso do composto 50), *kalk* (ou *lime*) (CaO) (peso do composto 27,5) e *baria* (BaO) (peso do composto 72,5), respectivamente, em linguagem atual, os óxidos de estrôncio, cálcio e bário. Efetivamente, a relação estabelecida, a partir dos pesos utilizados por ele com os dados da época, fica assim expressa:

$$SrO = \frac{CaO + BaO}{2} = \frac{27,5 + 72,5}{2} = 50$$

A soma média em questão dará o valor de 50, que se refere ao valor do peso do óxido de estrôncio; isto é, o peso intermediário entre os elementos utilizados.

Ao longo de 30 anos Döbereiner estudou, entre outras coisas, relações dessa natureza. Atreladas ao peso atômico, ele se dedicou também às propriedades qualitativas dos elementos, destacando, por exemplo, características muito semelhantes do ferro, cobalto e níquel e a pouca diferença em seus pesos atômicos. Durante sua carreira, ele publicou outras tríades: bromo, cloro e iodo; sódio, lítio e potássio; arsênio, fósforo e antimônio; selênio, enxofre e telúrio; nitrogênio, carbono e oxigênio (Van Spronsen, 1969).

Do ponto de vista epistêmico da construção e do estabelecimento de conhecimento científico, um dos grandes obstáculos de Döbereiner, e daqueles que o seguiram, foi o de oferecer uma explicação robusta sobre o porquê de as tríades se estruturarem daquela forma e o de definir um vínculo fenomenológico entre as propriedades dos elementos e seu peso atômico. Em outras palavras, ainda que tivessem alcançado uma relação numérica entre os elementos e os compostos que compunham as tríades, não havia a proposição de um princípio geral que as explicassem (Rawson, 1974; Tolentino et al., 1997). Essa ausência de um princípio geral, que sustente os dados empíricos e as relações estabelecidas a partir deles,

deixa evidente que os dados *per si* não geram teorias, “leis e teorias científicas são elaborações/criações do intelecto humano. Não são meras sínteses indutivas do observado” (Pедуzzi & Raicik, 2020, p. 25). Em outras palavras, um dos valores atrelados à ciência é a unificação; a busca de um princípio geral, que organize e generalize dados empíricos e fragmentos teóricos construídos ao longo de uma pesquisa.

A falta de um princípio geral que explicasse as tríades, dificultou, inclusive, que outros químicos norteassem suas pesquisas; afinal, as teorias têm também um papel preditivo e modelador de caminhos a serem seguidos. Dessa forma, visando aumentar o número de relações que poderiam ser feitas entre os elementos químicos, a partir de um princípio geral (ainda desconhecido) outros estudiosos deram certa continuidade, por assim dizer, aos estudos de Döbereiner (Scerri, 2008).

Leopold Gmelin (1788-1853), por exemplo, em 1827, conseguiu encontrar uma tríade para o magnésio. Ele também identificou que os próprios pesos atômicos formavam séries e, por isso, considerava que as tríades não eram meras coincidências. Não obstante, ele voltou-se quase que exclusivamente para as relações numéricas, não analisando as propriedades dos elementos (Van Spronsen, 1969). No século XIX, com técnicas laboratoriais cada vez mais acessíveis, houve um aumento considerável de dados quantitativos sobre compostos e elementos químicos disponíveis aos cientistas.

Observando a relação entre os pesos atômicos dos elementos pertencentes às tríades de uma maneira diferente, em vez de entendê-los como uma relação equivalente (o peso do segundo como sendo uma média do primeiro e do terceiro), Max Von Pettenkofer (1818-1901) a interpretou como sendo uma variação constante entre os pesos equivalentes, como na tríade do lítio, sódio e potássio. A partir disso, não limitou suas análises às relações de três elementos, relacionando, exemplificativamente, magnésio, cálcio, estrôncio e bário (todos alcalinos terrosos). Nessa série, ele percebeu que os pesos equivalentes variavam em números múltiplos de 8; informação que aparece também em trabalhos posteriores, inclusive de outros químicos, e apresenta uma relevância considerável para o desenvolvimento de classificações. Pettenkofer, propôs ainda que essa variação constante poderia ser útil para determinar pesos equivalentes de elementos que eram difíceis de se obter em laboratório (Van Spronsen, 1969).

Agregando importantes contribuições aos trabalhos de Döbereiner e Pettenkofer, nas décadas de 50 e 60 do século XIX, Jean Baptiste André Dumas

(1800-1884) separou os não-metais em três grupos: do flúor, do oxigênio e do nitrogênio; relacionando os elementos desses grupos entre si. É interessante notar que as relações entre elementos e a formação de grupos, que serão explicados pela Lei Periódica posteriormente, já começavam a aparecer em um gradativo processo de conhecimento dos elementos químicos, como elementos pertencentes aos grupos dos alcalinos, alcalinos terrosos e nos já citados anteriormente. Com efeito, “as idéias estão sempre envoltas em um conjunto de outras idéias, em um quadro teórico e experimental que exprime os conhecimentos e os valores vigentes” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 38). Nos trabalhos de Dumas, as propriedades qualitativas foram utilizadas como parâmetro para as classificações e não apenas as informações numéricas sobre os elementos (Rouvray, 2004). Apesar da grande relevância conferida aos dados empíricos no período, químicos como Dumas viram na articulação das características qualitativas e quantitativas uma oportunidade de ampliar as classificações que poderiam ser feitas com elementos e compostos das tríades.

Nessa mesma linha, Willian Odling (1829-1921), operando com diferentes propriedades dos elementos químicos — como a teoria atômica de Dalton, os minerais isomorfos¹, o calor atômico², as regularidades nos volumes atômicos — e as relações dos pesos atômicos, buscou obter combinações e tentar uma possível classificação para esses elementos. Publicando seu trabalho em 1857 e mostrando muita cautela no início de suas pesquisas, ele não obteve combinações diferentes daquelas encontradas por outros químicos (Rouvray, 2004). Não obstante, na década seguinte, em 1864, ele desenvolveu uma importante classificação sistemática de 57 dos 60 elementos químicos conhecidos à época, organizando-a a partir da ordem crescente de peso atômico, como será mostrado na próxima seção deste artigo.

Os estudos citados e outros tantos, como os de Peter Kremers (1827-s/i), John Hall Gladstone (1827-1902), Josiah Parsons Cookel (1827-1894), Ernst Lenssen (1837-1898) e John Mercer (1791-1866), que se dispuseram a pensar em sistematizações envolvendo principalmente tríades (e, em maior grau, relações quantitativas dos pesos equivalentes ou atômicos, em relação às relações qualitativas), foram realizados até a metade do século XIX. A química nesse período

¹São minerais que possuem composições diferentes, porém estrutura e/ou forma cristalográfica análoga; podem ser iguais ou com variações constantes, o que permite o estudo de um composto ou elemento a partir de outro. Isso se faz importante, principalmente no século XIX, quando um composto pode ser facilmente estudado em laboratório e outro não.

²É uma grandeza obtida ao multiplicar o peso atômico pelo calor específico do elemento em questão. Esse valor constante, no século XIX, era conhecida por Lei de Dulong Petit (Maar, 2011).

ainda não era um corpo de conhecimento padronizado como é atualmente, não existia, por exemplo, um sistema unificado de nomenclaturas, de procedimentos, de viés teórico para o peso atômico, nem para conceitos importantes como átomo, moléculas, substâncias simples etc. Em nível conceitual, isso fazia com que surgissem trabalhos muito diferentes uns dos outros. Mathew Carey Lea (1823-1897), a título de exemplo, propôs a possibilidade de *pesos negativos* e um sistema no qual ele subtraía 44 ou 45 unidades dos pesos atômicos de alguns grupos de elementos e assim ia obtendo pesos atômicos de outros elementos conhecidos na época (Van Spronsen, 1969).

Era eminente, portanto, a necessidade de uma padronização. O importante Congresso de Karlsruhe, nesse sentido, tem um valor inestimável. Ocorrido em 1860, foi o primeiro congresso especificamente de química que reuniu estudiosos de diferentes países. O que os congressistas buscavam era justamente discutir conceitos que mais divergiam nas pesquisas que realizavam, como substância, átomo, partícula, mistura, entre outros; bem como encontrar um alinhamento para os procedimentos de estabelecimento dos pesos atômicos e das nomenclaturas dos elementos (DeMilt, 1951).

Com as contribuições de diversos químicos e estudiosos de outras áreas, foram realizados debates e explicitados contrapontos entre defensores de diferentes linhas de pensamento. Com efeito, “a dinâmica da produção de conhecimentos na ciência mostra um processo vivo, criativo, polêmico, questionador e argumentativo. Essa realidade contrasta com a falsa imagem de uma ciência que se apresenta como um corpo árido de fatos e conclusões” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 42). Por certo, o consenso, como meta desejável, não precisa (e talvez nem deva) ser geral (seria como utópico se pensar nisso), mas certas convergências são necessárias e importantes, e esse foi um saldo positivo do congresso, como se verá a seguir.

A Inexistência de um Consenso Químico: A Importância do Congresso de Karlsruhe

No início do século XIX, alguns estudiosos passaram a determinar o peso atômico dos elementos a partir da teoria atômica de Dalton, isto é, partiam de uma perspectiva atômica da matéria para interpretar os dados empíricos. Com os dados analíticos obtidos em laboratório, era possível conhecer o peso atômico de determinado composto, caso se soubesse a fórmula dele. O problema residia na circunstância de que a fórmula química do composto só poderia ser conhecida a

partir do peso atômico dos elementos que faziam parte dela. Com isso, adentrava-se em um contratempo circular, pois para conhecer bem um, se fazia necessário conhecer o outro, que só poderia ser conhecido quando o primeiro já estivesse determinado (Maar, 2011).

No período, havia aqueles que não aderiram à teoria atômica de Dalton; voltados mais fortemente à corrente filosófica positivista, argumentavam uma falta de evidência experimental à teoria, especialmente, quanto à realidade física do átomo (Oki, 2009). A maioria desses estudiosos preferia utilizar o que ficou conhecido como peso equivalente, que foi amplamente popularizado por William Hyde Wollaston³ (1766-1828) e seguido por nomes como Döbereiner e Gmelin. No peso equivalente, os elementos ou compostos eram postos para reagir com uma certa quantidade padrão de um outro elemento, que na maioria dos casos era o oxigênio, já que era um elemento que se combinava com muitos outros e os estudiosos estavam acostumados a manuseá-lo⁴. Dessa forma, os defensores desse procedimento alegavam que os pesos equivalentes provinham de dados puramente empíricos, que não dependiam de hipóteses ainda pouco evidenciadas. Além disso, eles sustentavam que o peso equivalente não possuía o problema circular do peso atômico, isto é, da fórmula química e do peso dependerem um do outro para serem conhecidos (Rocke, 1978).

Em outras palavras, o peso atômico salvaguardava uma explicação teórica junto aos dados empíricos obtidos, mas não oferecia um manuseio experimental direto das entidades que eram tratadas na teoria. Já o peso equivalente, assegurava um tratamento majoritariamente experimental, contudo não tinha um suporte teórico-fenomenológico sobre a matéria. Por certo, os mecanismos de escolha teórica/procedimental na ciência podem ser complexos; essa disputa entre procedimentos e perspectivas de interpretar o peso dos elementos químicos, evidencia isso. As escolhas de teoria dependem do posicionamento da comunidade científica, bem como a interpretação que cada indivíduo dá aos valores atrelados às escolhas. Nesse cenário, vê-se a formação de diferentes “escolas” de pensamento, que defendiam um ou outro lado, como a França, grandemente adepta ao peso equivalente, e a Alemanha e Itália, fortemente ligadas ao peso atômico (Oki, 2009; Maar, 2011). Cabe destacar que o âmago dessas disputas profundamente epistêmicas e procedimentais é como o vento matinal que afasta a neblina dos leitos

³Apesar de ter sido popularizado por Wollaston no início do século XIX, já no século XVII os defensores do flogístico construíram tabelas de pesos relativos utilizando os mesmos procedimentos.

⁴Ao contrário do hidrogênio, que era o elemento padrão do peso atômico, era pouco combinável e o manuseio não era trivial.

dos rios; essa neblina que encobre a constante fluidez, o bater de pedras, as grandes mudanças que o rio sofreu durante a noite. Com o olhar atento à história da ciência é possível perceber evoluções e revoluções, disputas, avanços que, muitas vezes, vem de veias idiossincráticas, de coletivos intersubjetivos. Tudo isso sem tornar o rio menos vigoroso e a ciência menos científica.

Apesar do procedimento do peso equivalente apresentar vantagens ressaltadas pelos seus defensores, também ocorriam dissonâncias entre aqueles que o utilizavam (Rocke, 1978). Para realizar a pesagem era preciso fixar um elemento padrão; esse elemento era geralmente o oxigênio. Entretanto, cada estudioso utilizava um peso padrão diferente para ele; Wollaston utilizava 10,00, Thomas Thomson (1773-1852) 1,00 e Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) 100,00 (Maar, 2011). Isso fazia com que as tabelas desenvolvidas por eles, apesar de partirem de um mesmo procedimento, fossem todas diferentes umas das outras. O fato de os dados experimentais serem tratados sem uma teoria robusta para dar suporte, evidenciava um outro problema. Os “dados puramente empíricos”, sem uma interpretação adequada, não levavam a um caminho muito longínquo.

Com efeito, qualquer que fosse o procedimento empregado, ele abarcava inconsistências. Isso porque, na época, a experimentação, o aporte teórico e a metafísica dos conceitos e entidades envolvidas não estavam suficientemente articulados. Quer dizer, “fazemos ciência com fatos assim como construímos uma casa com pedras, mas uma acumulação de fatos não é ciência assim como não é uma casa um monte de pedras” (Poincaré, 1985, p. 115). Isso corrobora a importância da articulação de diferentes práticas que fazem parte da ciência, “O conhecimento não deriva somente da razão, da força ou capacidade autosuficiente do intelecto; tampouco resulta apenas da percepção aguçada dos sentidos, sejam eles estendidos ou não pelo auxílio de instrumental apropriado” (Peduzzi & Raíck, 2020, p. 25).

Berzelius foi quem buscou uma intersecção entre o peso equivalente e o peso atômico; ele dava certo tratamento atômico aos dados experimentais que obtinha. A partir da ideia de ligação entre os elementos (que foi a base para o que depois foi nomeado e enunciado em 1852, por Edward Frankland (1825-1899), como *valência*), era possível interpretar empiricamente o vapor d’água de duas formas diferentes. Na primeira delas, admitia-se que o oxigênio iria se combinar com o hidrogênio e teria um peso equivalente de 8,00, resultando na fórmula química HO. Em contrapartida, dando um tratamento atômico aos dados, assumia-se que o oxigênio iria fazer duas ligações com átomos de hidrogênio, assim o seu peso seria de 16,00 e a fórmula

química H_2O . Foi esse último o caminho que Berzelius seguiu (Bachelard, 2009; Maar, 2011).

Ainda que Berzelius tenha buscado uma aproximação entre as duas perspectivas, não conseguiu traçar de forma teórica e clara essa intersecção. Ademais, é importante ressaltar que existiam outros conjuntos de dados empíricos que os estudiosos se debruçavam para ajudar na determinação dos pesos atômicos e equivalentes; um desses conjuntos foi o que ficou conhecido como Lei de Dulong-Petit.

Pierre-Louis Dulong (1785-1838) e Alexis-Thérèse Petit (1791-1820) desenvolveram um trabalho que culminou nessa referida lei e que também ficou conhecido como *calor atômico*. Os dois partiram da premissa de que átomos individuais têm o mesmo calor atômico, que seria dado pela multiplicação do calor específico do material e seu peso atômico, ou seja, o calor atômico seria uma constante (Van Spronsen, 1967). Eles reconheciam que não era uma lei que fornecia números exatos, mas, pelo menos, dava uma ideia da magnitude dos pesos atômicos.

A Lei do Isomorfismo, enunciada por Eilhard Mitscherlich (1796-1863), na qual compostos que se cristalizavam na mesma forma seriam semelhantes na composição química, foi, igualmente, bastante utilizada pelos químicos da época para auxiliar na determinação de fórmulas químicas. Apesar de semelhantes, as composições químicas não eram iguais, o que permitia que sistematicamente elementos diferentes fossem estudados (Maar, 2011).

Em meados do século XIX, por conseguinte, havia uma expressiva quantidade de estudos teóricos e dados empíricos, mas sem uma reconciliação evidente entre eles, como supracitado.

O empirismo e o racionalismo estão ligados, no pensamento científico, por um estranho laço, tão forte como o que une o prazer à dor. Com efeito, um deles triunfa dando razão ao outro; o empirismo precisa ser compreendido; o racionalismo precisa ser aplicado. Um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas, não pode ser pensado nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente (Bachelard, 1991, p. 9-10).

Em retrospectiva, pode-se perceber que o ponto central dos problemas residia na não diferenciação clara entre átomos e moléculas — além de um uso indiscriminado de palavras como substância simples e composta, corpos, partículas etc. (DeMilt, 1951). Essa falta de padronização ou de clareza linguística fazia com

que surgissem, por exemplo, questionamentos relacionados à divisibilidade de moléculas, que eram consideradas átomos em gases, isto é, eram consideradas partículas unas. Se a teoria de Dalton dizia que os átomos eram indivisíveis, como poderiam esses “átomos” de compostos se dividirem em outros elementos? Além disso, outra grande questão residia em como fugir do ciclo vicioso que envolvia os conhecimentos do peso atômico e da fórmula química dos compostos. Em algumas situações, também estava ficando difícil de saber quais conclusões os químicos estavam tirando a partir da teoria atômica e quais estavam sendo feitas a partir dos estudos dos pesos equivalentes (Oki, 2007).

Nesse sentido, os estudos do italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) têm um papel significativo ao que seria um caminho para a solução de alguns desses problemas. Não obstante, como nada parte do nada, “o pensamento científico [...] não se desenvolve in vácuo” (Koyré, 1991, p. 204), ele foi fortemente influenciado pelos estudos de Amedeo Avogadro (1776-1856). No início da década de 1800, Avogadro havia realizado uma diferenciação entre átomos e moléculas ao estudar as não concordâncias entre a teoria atômica de Dalton e a Lei dos volumes de Gay-Lussac, principalmente no que se refere a divergência do volume de vapor d’água. A partir de seus estudos, Avogadro concluiu que havia na molécula de água, duas unidades do mesmo elemento⁵, nesse caso hidrogênio, o que dificultou a circulação de suas pesquisas entre seus pares na época, já que se acreditava que partículas de um mesmo elemento se repeliam (Lorenzetti et al., no prelo).

Cannizzaro, entendendo que os escritos de Avogadro deveriam ser amplamente difundidos e discutidos, e utilizando, para além dos estudos avogadronianos, conhecimentos de Dumas e Regnault, desenvolveu sua própria concepção atômico-molecular. Ele reproduziu os estudos de densidade do vapor d’água que Dumas havia feito, só que agora considerando que na molécula de água havia 2 e não apenas 1 átomo de hidrogênio. Uma das conclusões que obteve, que depois apareceu em seu *Esquema de um Curso de Filosofia Química*, de 1858, é que “[...] volumes iguais dessas substâncias, sejam simples ou compostas, contêm igual número de moléculas: não, porém, igual número de átomos, pois moléculas de diferentes substâncias ou da mesma substância em diferentes estados, podem conter diferentes números de átomos, sejam da mesma natureza ou de naturezas diversas” (Cannizzaro, 1947, p. 1).

⁵“2x moléculas de hidrogênio combinam-se com x moléculas de oxigênio para produzir 2x moléculas de vapor d’água, sendo x um número inteiro. Como há (pelo menos) um átomo de oxigênio em cada uma das duas moléculas de vapor d’água que se originam da combinação de duas moléculas de hidrogênio com uma de oxigênio, a molécula de oxigênio possui (pelo menos) dois átomos” (Peduzzi, 2019, p. 51).

Com isso, Cannizzaro diferenciava-se da perspectiva dos estudiosos do período, que diziam que volumes iguais de substância simples no estado gasoso contém o mesmo número de átomos. Para esses estudiosos, tais átomos se combinam em moléculas, que depois de se unirem não se separariam mais — como se fosse um átomo composto, uma única partícula, que, para os estudos de termodinâmica, funcionavam muito bem. Contudo, com essa concepção surgiam imprecisões linguísticas e conceituais sobre átomos, moléculas e substâncias, essas palavras eram utilizadas como sinônimos, sem especificar sobre o que se estava tratando (Oki, 2006).

A clara diferenciação entre átomos e moléculas e o resgate dos escritos de Avogadro foram os pontos mais importantes do trabalho de Cannizzaro, apresentado em Karlsruhe. Com ele, o italiano conseguiu fazer uma intersecção entre os trabalhos de Dalton, Wollaston, Gay-Lussac, Avogadro, Berzelius, Gerhardt e outros.

O famoso congresso supracitado, que ocorreu na cidade de Karlsruhe, na Alemanha, nos dias 3, 4 e 5 de setembro de 1860 foi idealizado, conforme Maar (2011), para resolver uma “confusão babilônica”⁶, algo muito apropriado já que diversas das centelhas que o fizeram surgir estavam relacionadas à linguagem química. Cannizzaro fez a sua fala no congresso no terceiro dia. Naquele momento, não chamou muito a atenção dos participantes, mas o seu colega de delegação, Angelo Pavesi, o ajudou a distribuir o escrito de seu estudo; que assim se disseminou entre os presentes. Dentre as pessoas que receberam o *Esquema de um Curso de Filosofia Química* e o lhe atribuíram a devida importância estão Mendeleev e Meyer — ambos desenvolveram em datas muito próximas um sistema periódico para os elementos químicos (Maar, 2011).

Conforme registros históricos, o importante Congresso Internacional de Karlsruhe recebeu 127 pesquisadores e professores de química, em sua maioria, mas não exclusivamente⁷ (Stock, 1933). Além de Mendeleev, Meyer, Cannizzaro, Robert Bunsen (1811-1899), Odling, Alexandr Porfirevich Borodin (1833-1887), Henry Roscoe (1833-1915) e Dumas também se fizeram presentes na ocasião. Karl Weltzien (1813-1870), um de seus organizadores, ressaltou a importância de um dos

⁶No sentido da torre de Babel.

⁷Em fontes secundárias que tratam do congresso existe certa discordância do número de participantes que estiveram presentes no congresso. Contudo, Alfred Stock (1933) em seu trabalho intitulado “*Der internationale Chemiker-Kongreß, Karlsruhe 3–5. September 1860 vor und hinter den Kulissen*” (Congresso Internacional de Químicos, Karlsruhe 3–5. Setembro de 1860 os precedentes e os bastidores) apresenta diversos documentos do congresso, dentre eles uma lista assinada a mão contendo 127 participantes. Nessa lista encontram-se os sobrenomes dos químicos e a cidade de onde vieram. Dos 127 que tem registro se sabe que 57 vieram da Alemanha, 21 da França, 18 da Inglaterra, 7 da Áustria e outros 7 da Rússia, 6 da Suíça, 4 da Suécia, 3 da Bélgica, 2 da Itália, 1 de Portugal, 1 da Espanha e 1 do México.

propósitos do encontro: o de se chegar a um acordo para vários conceitos químicos a fim de promover um ensino de química mais padronizado, com o rigor científico que carecia; afinal, conceitos de base da química eram amplamente difundidos com diferentes significados (Maar, 2011).

Visando uma unificação, uma padronização e, sobretudo, buscando um diálogo entre os químicos, sem a imposição de dogmas, Friedrich August Kekulé (1829-1896) sensibilizou Charles Adolf Wurtz (1817-1894) e Karl Weltzien para a promoção do evento. Durante a execução do congresso, nomes conhecidos da química ajudaram em sua organização. Weltzien presidiu o primeiro dia, Jean-Baptiste Joseph Dieudonné Boussingault (1802-1887) o segundo e Dumas o terceiro. Além disso, foram nomeados cinco secretários: Wurtz, Roscoe, Kekulé, Adolph Strecker (1822-1871) e Lev Nikolaevitch Schischkov (s.d.). A função deles era permitir que quem quisesse participar das discussões tivesse voz e que aqueles já consagrados acadêmicos não se alongassem demais em suas falas, deixando espaço para múltiplas perspectivas circularem (DeMilt, 1948; Stock, 1933).

Na circular do congresso, criada a partir de uma reunião entre Kekulé, Weltzien e Wurtz em março de 1860, os seus objetivos já eram bem estabelecidos: “definições mais precisas dos conceitos de átomo, molécula, equivalente, atomicidade, alcalinidade, etc; discussões sobre os verdadeiros equivalentes dos corpos e suas fórmulas, preparação de um plano para uma nomenclatura racional” (DeMilt, 1951, p. 421). Essa demanda por definições e padronizações voltava-se não apenas ao ensino, mas à própria construção da ciência química, que carecia de uma clara comunicação e coerência entre os cientistas. Afinal, como explicitado na referida circular “a química atingiu um estado de desenvolvimento que, aos signatários, parece necessário um encontro com um grande número de químicos, ativos nessa ciência, envolvidos com pesquisa e ensino, para que se aborde uma unificação de alguns pontos importantes (DeMilt, 1951, p. 421)”⁸.

Por certo, não era esperado que, em um único evento, se resolvessem todas as demandas necessárias, mas que se levasse para a comunidade a importância e a magnitude das discussões que ali seriam estabelecidas. “Embora não se espere que o encontro convocado consiga harmonizar completamente as opiniões divergentes, os signatários estão convencidos de que deveria ser possível, por esse meio, pelo menos preparar o caminho para um acordo desejável sobre essas questões importantes (DeMilt, 1951, p. 421)”⁹.

⁸Trecho original da circular.

⁹Trecho original da circular.

Efetivamente, o congresso de Karlsruhe não resolveu todos os problemas da química, (nem poderia e nem era o seu objetivo) como já era esperado. Mas atingiu seu propósito ao proporcionar um espaço de discussões entre os estudiosos ali presentes. Consequentemente, visava-se um melhor entendimento entre eles, sobretudo em termos de linguagem e procedimentos nos estudos que estavam realizando. É possível citar, sumariamente, alguns pontos importantes que surgiram a partir do encontro: i) o estabelecimento de uma unidade para símbolos, nomes e formas de representar os elementos e as fórmulas químicas dos compostos; ii) o reconhecimento de que substâncias como o oxigênio, o nitrogênio e o hidrogênio eram diatômicas; iii) a preferência pela utilização do peso atômico ao peso equivalente; e iv) a busca por uma química mais universal e coerente (Maar, 2011).

Após o evento, os organizadores e outros estudiosos presentes escreveram relatórios sobre os acontecimentos do congresso. Dentre os escritos, pode-se citar o do jovem Mendeleev que, com seus 26 anos e ainda no período de seu doutoramento, escreveu o seu relato um dia após o término do evento. Em suas palavras, percebe-se a importância do que presenciou na ocasião:

O Congresso de química apenas acabou em Karlsruhe e já produziu um efeito tão notável na história de nossa ciência que eu considero um dever, mesmo que em poucas palavras, descrever todas as sessões do congresso e os resultados que alcançaram. A principal razão pela convocação de um congresso internacional de química, foi o desejo de esclarecer e, se possível, concordar nas diferenças básicas que existem entre os seguidores de diferentes escolas químicas (Mendeleev conforme citado em DeMilt, 1951, p. 422).

Mendeleev, discriminando as principais discussões de cada dia, salienta que no primeiro dia debateu-se sobre a diferença entre átomos, moléculas, equivalente e a questão da medida do peso atômico. No segundo dia, à luz das reflexões já realizadas, distinguiu-se átomos e moléculas, “considerando uma molécula como uma quantia de substância entrando em reação e determinando propriedades físicas, e considerando átomos como a menor quantidade de uma substância presente em uma molécula”, relatou Mendeleev, conforme explicita DeMilt (1951, p. 422). Aliás, acordou-se que equivalente seria uma informação inteiramente empírica, independente do entendimento teórico de átomos ou moléculas. Mendeleev explica que havia uma espécie de votação, entre os presentes, para se chegar a um acordo sobre os temas levantados. “O resultado foi inesperadamente unânime e importante. Entendendo a diferença entre átomos e moléculas, químicos de todos os países compreenderam o princípio de um sistema unitário”, afirma ele (DeMilt, 1951, p. 422). Com efeito, “a geração de um novo conhecimento, a solução de um problema,

é o resultado de um processo de investigação cercado de muitas variáveis, que nada tem de linear ou trivial. A sua publicidade e avaliação pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 33).

A medida do peso atômico se deu no terceiro dia de evento e o mais debatido foi o peso do carbono. Na ciência, é “legítima a procura por critérios que buscam conferir identidade aos interesses mantidos por comunidades de diferentes tradições de conhecimento” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 20), assim ficou decidido, não por unanimidade, que os estudiosos passariam a adotar o peso do carbono como 12 e não 6. Não obstante, houve consideráveis ponderações sobre isso. Dumas, por exemplo, chegou a sugerir que na química orgânica o valor adotado fosse 12 e na química inorgânica fosse 6. Porém, “contra isso Cannizzaro falou acaloradamente, mostrando que todos deveriam usar o mesmo peso atômico novo. Não houve votos sobre essa questão, mas a grande maioria ficou do lado de Cannizzaro” (Mendeleev conforme citado em DeMilt, 1951, p. 422). Mendeleev salienta, por fim, conforme apresenta deMilt, que os presentes mantiveram grande respeito uns com os outros e que “tudo isso, parece-me, é uma garantia total do rápido sucesso das ideias do agora no futuro” (1951, p. 422).

Em síntese, e o evento é um ensinamento disso, “os cientistas lidam com suas diferenças e com os desafios da subjetividade discutindo, dando publicidade a seus trabalhos (em correspondências, nas reuniões científicas, nos periódicos) para a análise dos pares e chegando, normalmente, a amplos consensos” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 42).

Os Reflexos do Congresso de Karlsruhe e os Primeiros Sistemas — Quase — Periódicos

Com os avanços da década de 1850 e, principalmente, com as discussões e reflexões advindas do congresso de Karlsruhe, formou-se um cenário favorável para o desenvolvimento de classificações que abrangessem cada vez mais elementos e que relacionassem de forma mais robusta seus pesos atômicos, com suas propriedades qualitativas e o grupo a que faziam parte. Nota-se, de forma bastante interessante, como cada estudioso utilizou as ferramentas que tinha em mãos na época para desenvolver sua classificação. Essa dissemelhança, envolvendo aspectos que, em vias de uma pura e descontextualizada “reconstrução racional”,

seriam considerados supérfluos por serem subjetivos, desempenhou um papel importantíssimo nesse processo de construção.

Curiosamente, o primeiro estudioso que publicou uma classificação para os elementos químicos após o congresso em Karlsruhe não foi um químico, mas um geólogo e mineralogista. Alexandre Emile Béguyer De Chancourtois (1820-1886)¹⁰, mesmo sem ter participado do evento, entrou em contato com os relatórios e as discussões realizadas. Ele trabalhou com sistematizações nos campos da mineralogia, geologia, geografia e filosofia (Giunta, 2021). Durante seus estudos, seguiu o lema *Les propriétés des corps sont les propriétés des nombres* (“As propriedades dos corpos são as propriedades dos números”), que o ajudou a fazer relações necessárias em seus estudos geológicos e mineralógicos, bem como em sua classificação dos elementos (Hartog, 1889).

De Chancourtois, no início da década de 1860, estava desenvolvendo um estudo litológico, o qual demandava um sistema que reunisse as substâncias simples. Já havia trabalhos de geólogos no período que envolviam elementos químicos e temas da geologia em si, como o de Jean-Baptiste Armand Louis Léonce Élie de Beaumont (1798-1874) — conhecido como Élie de Beaumont — que classificou 59 elementos conhecidos na época de acordo com sua eletropositividade, organizando também uma distribuição geográfica desses elementos. O próprio De Chancourtois utilizou os trabalhos Beaumont em seus estudos (Hartog, 1889).

Não obstante, em 1862, De Chancourtois publicou sua classificação, denominada *Vis Tellurique* ou, traduzindo para o português brasileiro, *parafuso telúrico*. O nome dado à classificação desponta de duas especificidades. A primeira delas é que o elemento telúrio figurava bem ao centro da sistematização (Tolentino et al., 1997). A segunda, não menos importante, é que ele tinha um significado especial; “o epíteto Tellurique [...] lembra muito, felizmente, a origem geognóstica, pois Tellus significa terra no sentido mais positivo, mais agrícola, no sentido Terra Nutritiva” (Van Spronsen, 1969, p. 100).

Sua sistematização é tridimensional. Formando um cilindro, os elementos são distribuídos em um eixo que espirala em 45° em torno dele. Em uma linha horizontal a esses elementos divisa-se o seu nome completo e seu peso atômico¹¹, já na linha vertical encontra-se novamente seu peso ou seu peso acrescido de 16 unidades ou seus múltiplos. Nas linhas verticais, ao longo da espiral, também é possível encontrar os elementos que foram classificados como sendo do mesmo grupo. São

¹⁰A quem Van Spronsen (1969) chamou de “um sistematizador por natureza”.

¹¹Para alguns elementos ele utilizou o peso atômico que era aceito na época e para outros ele dividiu por dois.

eles, por exemplo, lítio, sódio, potássio e rubídio (alcalinos), bem como em outra linha oxigênio, enxofre, selênio e telúrio (família do oxigênio). Fica aparente na Figura 1 que entre o potássio e o rubídio se encontra o manganês e depois do rubídio, na mesma linha, estão o tálio e o tório, que não fazem parte dos alcalinos. Na família do oxigênio isso também acontece; tem-se entre o enxofre e o selênio, o titânio e o ítrio¹² e entre o selênio e o telúrio, o molibdênio e o cádmio; ainda depois do telúrio se encontra o ósmio. Todos esses elementos citados, que não fazem parte dos alcalinos ou da família do oxigênio, são elementos de transição, aqueles que atualmente ocupam um bloco central na Tabela Periódica contemporânea e que não interferem nos outros grupos (Giunta, 2021).

¹²No Vis Tellurique está representando como Yt, hoje o ítrio tem o símbolo Y.

Figura 1

Parte superior do Parafuso Telúrico (Van Spronsen, 1969, p. 99).

IS TELLURIQUE

9

7 Avril 1862

VIS TELLURIQUE
CLASSEMENT NATUREL DES CORPS SIMPLES OU RADICAUX
obtenu au moyen d'un
SYSTÈME DE CLASSIFICATION HÉLICOÏDAL ET NUMÉRIQUE
par A.E. BÉGUÏER de CHANCOURTOIS

Tableau des
Caractères Géométriques
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Hydrogène	H	1													
Lithium	Li	7													
Glaucium	Gl	9													
Bere	Be	11													
Carbone	Ar	14													
Azote	O	16													
Oxygène	Fl	19													
Fluor	No	23													
Sodium	Mg	24													
Magnésium	Al	27													
Aluminium	Si	28													
Silicium	P	31													
Phosphore	S	32													
Soufre	Cl	35													
Chlore	K	39													
Potassium	Ca	40													
Calcium	Ti	48													
Titane	Cr	52													
Chrome	Mn	55													
Manganèse	Fe	56													
Fer	Ni	59													
Nickel	Co	59													
Cobalt	Cu	63													
Cuivre	Vt	63													
Vanadium	Zn	65													
Zinc	As	75													
Arsenic	Br	79													
Brome	Se	80													
Sélénium	Rb	87													
Rubidium	Sr	88													
Strontium	La	91													
Lanthane	Ce	92													
Cerium	Mo	98													
Molibdène	Di	99													
Didyme	Yt	100													
Yttrium	Ti	103													
Thallium	Rh	104													
Rhodium	Pd	107													
Palladium	Ag	108													
Argent	Cd	111													
Cadmium	Sn	119													
Étain	Ta	119													
Thallium	U	120													
Uranium	Sb	121													
Antimoine	Co	124													
Cobalt	Te	127													
Jode	Te	128													
Tellure	Ta	184													
Tantale	W	185													
Tungstène	Ir	197													
Iridium	Pl	198													
Platine	Au	200													
Or	Hg	204													
Mercur	Ru	205													
Ruthénium	Os	208													
Osmium	Bi	209													
Bismuth															

is tellurique of Béguier de Chancourtois (upper part: simplified by the present author)

Nota. [Descrição da imagem] Imagem da parte superior da classificação desenvolvida por De Chancourtois, conhecida como Parafuso Telúrico. Os elementos são distribuídos de acordo com seu peso ao longo de um eixo com inclinação de 45°. Além disso, outras informações podem ser verificadas na sistematização, como uma lista dos elementos com seus respectivos símbolos. [Fim da descrição].

Quando submeteu seu trabalho à publicação, De Chancourtois decidiu simplificar a classificação, por ter achado rebuscada demais. Com isso, algumas relações foram suprimidas, fazendo com que sua classificação não abarcasse todos os elementos conhecidos no período. No ato de publicação do *Vis Tellurique*, os editores não publicaram a imagem da classificação. Assim, infelizmente, a comunidade científica não encontrou, sequer, uma ilustração simplificada de sua

classificação, o que dificultou o entendimento de sua estrutura, contribuindo para o não reconhecimento de seu trabalho. Uma figura muito simples só foi publicada e, portanto, viabilizada entre os pares, um ano depois, de forma independente (Van Spronsen, 1969). De fato, “podem ser bastante complexos e sutis os mecanismos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 34).

Apesar de ter sido um dos primeiros a estabelecer de forma explícita uma relação entre o peso atômico e as propriedades dos elementos, mostrando uma repetição periódica das propriedades, De Chancourtois não chegou a desenvolver um enunciado teórico para essa função. Além do mais, as ideias e a linguagem que utilizou para desenvolver o trabalho estavam impregnadas com o estilo de pensamento da mineralogia e da geologia, o que dificultou, de mesmo modo, a disseminação de sua sistematização (Tolentino et al., 1997).

Em 1889 uma tradução do trabalho de De Chancourtois foi publicada na *Nature* pelo químico P. J. Hartog (1864-1947). Nessa edição, ele apresenta ponderações entre a tabela chancourtoisiana e a de Mendeleev, que havia sido publicada em 1869. Assim, evidenciou a semelhança de todos os elementos estarem organizados a partir de seu peso atômico que, em consequência, trazia relações numéricas importantes entre eles. Ademais, Hartog mostra que essas relações não se encerravam numericamente no peso atômico dos elementos, mas refletiam em suas propriedades físico-químicas, inclusive. Apesar de trazer importantes considerações, a formação de De Chancourtois em geologia e a dificuldade de visualização de sua sistematização tridimensional, acrescida da omissão de sua imagem quando de sua publicação original, são alguns dos elementos que influenciaram a baixa difusão e o indevido reconhecimento de seu estudo. A ciência não é imune a interesses e valores da comunidade.

Entretanto, outras classificações para os elementos químicos começam a surgir, como a desenvolvida pelo químico inglês John Alexander Newlands (1837-1898). Apesar de também não estar presente no congresso de Karlsruhe — pois estava lutando no *Risorgimento* italiano (batalhas que buscaram a unificação do território italiano), no exército de Giuseppe Garibaldi (1807-1882)¹³ — o evento teve um impacto em seu trabalho. Quando retornou à Inglaterra, Newlands, começou a se interessar por questões debatidas no congresso, mas não necessariamente nos consensos lá estabelecidos, restringindo-se inicialmente apenas aos escritos de Dumas. Por isso, muitas de suas publicações desse período, principalmente até 1863, não receberam muita atenção; por possuírem informações e relações ou

¹³A mãe de Newlands era italiana.

desatualizadas ou insuficientes para a comunidade científica em geral; já versadas em demais parâmetros pós-Karlsruhe (Giunta et al., 2021).

No entanto, ao entrar em contato com os escritos de Cannizzaro, dentre outros, Newlands construiu primeiramente um sistema baseado em tríades. Depois, ainda no mesmo ano, relacionou as propriedades qualitativas dos elementos com a progressão aritmética dos pesos atômicos. Isso fez com ele percebesse que essas propriedades se repetiam a uma certa série de elementos, especificamente a cada sete (Giunta et al., 2021). Newlands fez, então, uma analogia com as oitavas musicais, na qual um tom retorna a uma oitava maior a cada sete tons. No caso de sua tabela, as propriedades eram repetidas a cada sete elementos (Figura 2).

Figura 2

Sistematização de Newlands, construída a partir da Lei das Oitavas (Chemical Society, 1866).

Table II.—Elements arranged in Octaves.

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56

Nota. [Descrição da Imagem] A imagem é uma tabela contendo oito colunas de elementos dispostos lado a lado verticalmente. Nessas colunas, os elementos são organizados a partir da ordem crescente de seu peso atômico. Na parte superior da imagem está escrito “Table II – Elements arranged in Octaves” fazendo referência à Lei das Oitavas de Newlands. [Fim da descrição].

Apesar de apresentar dissonâncias, como a de pesos atômicos, grupos de elementos incompletos ou simplesmente a incoerência entre a posição do elemento na tabela e a propriedade físico-química que deveria apresentar, Newlands acreditou que teria encontrado uma *lei* e não apenas construído uma sistematização, a “Lei das Oitavas”.

Newlands externalizou que estava consciente de que em sua sistematização havia algo como uma *lei* que auxiliava na estruturação da própria tabela e atuava na organização dos elementos. Em 1866, ao apresentar seu trabalho para a Chemical Society em Londres, ele foi questionado — de forma sarcástica — por George Carey Foster (1835-1919), físico-químico bastante conhecido no período, se sua

sistematização consistia em simplesmente organizar os elementos em ordem alfabética. Além disso, questionaram as analogias que fez com a teoria musical (Leite, 2019; Maar, 2011). Por certo, o trabalho de Newlands não teve muito reconhecimento, “suas bases taxonômicas eram consideradas vagas ou confusas” (Dmitriev, 2004, p. 268). Entretanto, em 1887, portanto onze anos depois, ele recebeu a medalha Davy of the Royal Society, em homenagem às suas pesquisas.

Com efeito, a aceitação de uma determinada teoria está atrelada a diferentes parâmetros que não apenas o estrito “conteúdo” científico conceitual. Existem preferências idiossincráticas, inspirações e relações que permeiam a ciência e os estudiosos.

Uma sistematização em séries de 5 elementos também foi desenvolvida nesse período, e publicada em 1864, por Willian Odling supracitado (Figura 3). Ela foi mais ampla que a de Newlands, no sentido de que abrangeu todos os elementos. Todavia, nem todos eles estavam colocados em lugares adequados em termos dos grupos a que faziam parte e na ordem crescente de seus pesos atômicos (Tolentino et al., 1997; Van Spronsen, 1969). Sua sistematização possuía cinco colunas, que abrigavam grupos e subgrupos de elementos a partir de suas relações de peso e outras propriedades. Ele derivou seu sistema do fenômeno de analogias relativas à isomorfia dos compostos. Odling foi o primeiro a fazer a inversão do Telúrio e do Iodo e, em seu sistema, podem ser encontradas organizações de elementos em grupos que só serão vistas novamente nas tabelas de Mendeleev e Meyer.

Figura 3*Sistematização de Odling, publicada em 1864 (Odling, 1864).*

				Ro 104	Pt 197
				Ru 104	Ir 197
				Pt 106.5	Os 199
H 1	"	"		Ag 108	Au 196.5
"	"	Zn 65		Cd 112	Hg 200
L 7	"	"		"	Tl 203
G 9	"	"		"	Pb 207
B 11	Al 27.5	"		U 120	"
C 12	Si 28	"		Sn 118	"
N 14	P 31	As 75		Sb 122	Bi 210
O 16	S 32	Se 79.5		Te 129	"
F 19	Cl 35.5	Br 80		I 127	"
Na 23	K 39	Rb 85		Cs 133	"
Mg 24	Ca 40	Sr 87.5		Ba 137	"
	Ti 50	Zr 89.5		Ta 138	Th 231.5
	"	Ce 92		"	
	Cr 52.5	Mo 96		V 137	
	Mn 55			W 184	
	Fe 56				
	Co 59				
	Ni 59				
	Cu 63.5				

Nota. [Descrição da imagem] A imagem mostra a sistematização desenvolvida por Odling, na qual os elementos são dispostos em cinco colunas, uma ao lado da outra. Nessas colunas, os elementos são organizados a partir da ordem crescente de seus pesos e são representados por seus símbolos químicos. [Fim da descrição].

Evidenciando uma efervescência no desenvolvimento de sistematizações cada vez mais robustas, e sobremaneira derivadas de ponderações realizadas no Congresso de Karlsruhe, nessa década tem-se a publicação do manual científico “As teorias modernas da química e seu significado para a estática química”, por Julius L. Meyer, em 1864. Nessa obra, além da importante divulgação da concepção atômico-molecular de Cannizzaro, Meyer apresenta sua primeira tentativa de arranjar os elementos a partir do peso atômico e da valência. Em sua primeira tabela (Figura 4), ele arranja 50 elementos fazendo com que 28 deles apresentassem uma mudança regular na valência. Cabe destacar que nesse período ele ainda não falava em periodicidade (Boeck, 2021).

Figura 4

Tabela de Meyer presente na obra “As teorias modernas da química” (Boeck, 2021).

	4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
	—	—	—	—	Li = 7,03	(Be = 9,3?)
Differenz =	—	—	—	—	16,02	(14,7)
	C = 12,0	N = 14,04	O = 16,00	Fl = 19,0	Na = 23,05	Mg = 24,0
Differenz =	16,5	16,96	16,07	16,46	16,08	16,0
	Si = 28,5	P = 31,0	S = 32,07	Cl = 35,46	K = 39,13	Ca = 40,0
Differenz =	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	44,0	46,7	44,51	46,3	47,6
	—	As = 75,0	Se = 78,8	Br = 79,97	Rb = 85,4	Sr = 87,6
Differenz =	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	45,61	49,5	46,8	47,6	49,5
	Sn = 117,6	Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0	Ba = 137,1
Differenz =	89,4 = 2,44,7	87,4 = 2,43,7	—	—	(71 = 2,35,5)	—
	Pb = 207,0	Bi = 208,0	—	—	(Tl = 204?)	—

Nota. [Descrição da Imagem] A imagem apresenta a sistematização desenvolvida por Meyer. Nela, pode-se observar 6 colunas nas quais os elementos representados por seus símbolos químicos são organizados a partir da ordem crescente de seus pesos.

Meyer, dentre outras atividades acadêmicas, continuou dedicando-se à classificação dos elementos químicos. Nos anos posteriores, empenhou-se em estudar grupos isolados de elementos em que havia uma variação regular dos pesos atômicos, da valência e das propriedades físico-químicas dos elementos. Em 1868, enquanto Meyer escrevia uma segunda edição do livro “As teorias modernas da química”, ele elaborou uma nova sistematização que englobava, agora, 52 daqueles 56 elementos conhecidos à época.

Essa tabela não publicada de Meyer apresenta muitas semelhanças com aquela que, em 1869, vai ser publicada por Mendeleev e amplamente disseminada e conhecida, até os dias de hoje. Meyer não falava sobre a característica periódica do arranjo que tinha feito. Ele não externaliza, por assim dizer, uma consciência epistêmica da natureza daquilo que havia construído; por certo ele admitia uma relação entre os elementos e seus pesos atômicos, mas ainda não conseguia explicá-la, assim como o fez Mendeleev no ano seguinte.

Essa classificação, todavia, não foi publicada; ficando arquivada na Universidade de Eberswalde, na qual Meyer trabalhou até 1868, sendo encontrada somente pelo geólogo e mineralogista Adolf Remelé (1839-1915), que não divulgou o rascunho da sistematização enquanto aconteciam as disputas de prioridade pela

Lei Periódica. Remelé só tornou público o documento no obituário que escreveu em homenagem à morte de Meyer em 1895 (Boeck, 2021).

Importa ressaltar que, em 1870, Meyer publica devidamente um novo sistema periódico e, em razão desse e de trabalhos anteriores, inclusive a não publicada classificação de 68, ele disputou com Mendeleev a prioridade pela descoberta da Lei Periódica (Scerri, 2015). Apesar de não ser objeto desse artigo em particular, pode-se salientar, como o faz Norwood Hanson (1967), que “um conceito não analisado é um conceito desconhecido” (p. 321), e assim, descobertas só podem ser mais bem compreendidas quando submetidas a análises de distintas naturezas (Lorenzetti et al., 2023).

De qualquer forma, Mendeleev desenvolveu sua classificação para os elementos químicos enquanto escrevia um manual de química inorgânica, intitulado *Principles of Chemistry*. Essa necessidade didática (e científica) fez surgir a sua Tabela e a sua Lei Periódica, certamente não sem diversas incursões por sistematizações que já vinham sendo elaboradas. Mendeleev foi o primeiro a enunciar explicitamente a relação de periodicidade entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas “Os elementos dispostos de acordo com seu peso atômico representam uma clara periodicidade de propriedades” (Mendeleev, 1869, p. 76).

É bastante comum encontrar narrativas, no âmbito didático, paradidático, de divulgação da ciência, afirmando que Mendeleev chegou à forma final de sua Tabela Periódica através de um mero sonho (Brito et al., 2005; Lorenzetti et al., 2022; Mehlecke et al., 2011). Sem uma devida contextualização histórica, ou uma mínima vigilância epistemológica, ignora-se uma conjuntura científica e profissional do próprio químico, e o arcabouço teórico que possuía. A narrativa do “sonho do Mendeleev” acaba ignorando diversos fatores relevantes da história da Tabela Periódica e sua natureza, mas isso é objeto de análise em outro artigo.

Considerações Finais

O resgate, ainda que breve, de distintas sistematizações e preocupações que permearam, sobretudo, a década de 1860 e antecedem a publicação da então bem conhecida Tabela Periódica de Mendeleev, evidenciam a relevância de trazer à tona abordagens mais contextuais ao ensino de ciências. Afinal, uma “abordagem lógica, a-histórica e linear/sequencial dos conteúdos, veiculada pelo livro didático (e por outros materiais de ensino), é uma simplificação (grosseira) que ressalta apenas os

resultados da ciência” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 32); e, particularmente com o desenvolvimento da Tabela Periódica, essas outras sistematizações são, normalmente, negligenciadas.

A ênfase em apenas um produto a-histórico da ciência, “transforma grandes questões científicas, com múltiplos problemas filosóficos, em mero conjunto de experiências de um empirismo simplista. Descartam por completo a fina tessitura epistemológica das teorias científicas, perdendo, portanto, todo caráter educativo” (Lopes, 1993, p. 327). Nesse sentido, negligencia-se a coletividade, os complexos processos de aceitação e escolhas de teorias, as idiosincrasias presentes na construção e anuência de conhecimentos, as dinâmicas e a importância de congressos científicos, a valorização e preferência de diferentes parâmetros para desenvolver pesquisas, entre outros fatores que fazem parte da ciência e da construção de conhecimentos. Esses aspectos, quando levados ao ensino de ciências, por exemplo, podem auxiliar na desconstrução de uma visão de ciência a-histórica e isolada da dinâmica social. A ciência é construída pela cultura e pela natureza, e também as constroem, em um incansável processo de inter-relações e interdependências.

Até mesmo resgates restritos à figura de Mendeleev simplificam sua imagem de cientista, ignorando, por exemplo, que ele foi antes de tudo um professor de Química, formado em Licenciatura. Talvez por isso e, pelos seus interesses particulares, sua escrita seja bastante fluida e entremeada por reflexões pedagógicas e filosóficas atreladas à química. Reaver a importância do Congresso de Karlsruhe é fundamental para se compreender a magnitude da transcrição da *Faraday Lecture* de Mendeleev quando ganhou o *Faraday Prize* em 1889, na qual relembra as sistematizações que o antecederam, o impacto do congresso, seu processo de construção da Tabela Periódica e os acontecimentos que sucederam à sua publicação.

Aliás, o próprio Mendeleev deixa bem-marcado como as pesquisas que buscavam uma relação entre os pesos atômicos e uma classificação para os elementos químicos, refletindo suas propriedades físico-químicas, foram centrais para a química do século XIX. Desde as tríades de Döbereiner até a primeira publicação de Meyer, que antecederam os desdobramentos posteriores como o da Tabela Periódica de Mendeleev, muitos conhecimentos foram construídos, como se buscou evidenciar neste trabalho. As discussões relacionadas aos procedimentos de determinação dos pesos atômicos, da nomenclatura dos elementos e compostos, dos dissensos linguísticos, conceituais e epistemológicos relativos a átomos,

moléculas, substâncias, entre outros, são exemplos claros disso. A realização do Congresso de Karlsruhe, motivado sobretudo por pesquisadores que trabalhavam com classificações de elementos, atingiu distintos campos da química, em particular, e da ciência em geral.

A variedade de sistematizações surgidas no século XIX, evidencia a multiplicidade de perspectivas e pesquisas que estavam surgindo na ciência daquele período; enquanto a química presenciava uma infinidade de novos compostos, procedimentos, equipamentos, perspectivas de interpretação, ela passava também por um processo de institucionalização como campo de pesquisa e disciplina. Bachelard, ao falar desse florescimento da química, reforça que “por trás de todo pluralismo pode-se reconhecer um sistema de coerência” (2009, p. 8).

Existe na ciência um propósito de sistematizar, organizar, classificar os conhecimentos construídos; o próprio ato de classificar — o sistema criado por trás disso — é construção de um novo conhecimento. O que Mendeleev fez em 1869 foi justamente expor o sistema que estava por trás das classificações; ele deu uma explicação fenomenológica para a periodicidade das propriedades dos elementos químicos. Mas como se buscou evidenciar, ele não fez isso desprovido de concepções; o conhecimento não parte do nada. Há uma história, que inclui distintas sistematizações, que precisa ser explicitada, discutida, problematizada, inclusive e principalmente no ensino.

As contribuições de Döbereiner, De Chancourtois, Newlands, Meyer e tantos outros, podem facilitar a compreensão de como o próprio Mendeleev desenvolveu a sua Tabela Periódica que, infelizmente, é a mais apresentada e/ou discutida no ensino de ciências e, por vezes, retratada como fruto direto de um mero sonho de Mendeleev (Lorenzetti et al., 2022). Ademais, um resgate histórico como o aqui desenvolvido, ainda que sucinto, permite evidenciar a importância dos encontros científicos, da interlocução institucional comum entre os estudiosos e como, em maior ou menor medida, estavam em contato com ideias semelhantes; dentro de um arcabouço teórico próximo ou díspar. Certamente, isso subsidia um entendimento mais amplo da influência que diversas teorias da época tiveram na construção “das” tabelas periódicas (Brito et al., 2005).

No âmbito do ensino, um enfoque na gênese da Tabela Periódica, e conseqüentemente em discussões que ela desencadeia — como aquelas relativas à noção de elemento/matéria, às outras classificações, às disputas teóricas e à própria Lei Periódica — pode contribuir para o esclarecimento de concepções ainda pouco elaboradas entre os estudantes. Um dos objetivos da educação científica na

atualidade é a discussão de aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC) (Peduzzi & Raicik, 2020). O resgate aqui desenvolvido, pode trazer à tona distintas reflexões nesse sentido, evidenciando, por exemplo, a relevância dos encontros científicos e da comunicação institucional entre os estudiosos, mostrando como, em diferentes níveis, eles estavam em contato com ideias semelhantes, dentro de um arcabouço teórico próximo ou divergente. Certamente, isso proporciona uma compreensão mais ampla da influência que diversas teorias da época exerceram na construção das tabelas (Brito et al., 2005).

Lorenzetti et al. (no prelo), a título de exemplo, desenvolvem uma unidade de ensino visando articular a história e filosofia da ciência a aspectos de NdC a partir de discussões sobre a gênese da Tabela Periódica que perpassa não apenas por Mendeleev, mas Döbereiner, De Chancourtois, Newlands, Meyer.

A interlocução entre o ensino e aspectos relativos à NdC, explorando múltiplas particularidades da história da ciência, se faz ainda mais importante no atual contexto sócio-político, em que as bases do conhecimento científico são postas a prova constantemente, não por vias críticas construtivas, mas através da disseminação das chamadas *fake news*. A abordagem e a discussão aberta com os estudantes sobre as estruturas da comunidade científica, da dinâmica da construção de conhecimentos, das diferentes instituições e seus papéis na validação de conhecimentos e de mudanças necessárias que ocorrem tanto nas instituições como no próprio saber científico — como sua proficuidade ao longo do tempo e em momentos de crise — pode auxiliar em uma percepção mais ampla sobre o empreendimento científico. Dessa forma, os estudantes teriam mais ferramentas para analisar as informações que chegam até eles de variadas formas, mas principalmente pelas redes sociais (Gurgel, 2020).

Salienta-se, portanto, a importância de olhar para história da ciência valorizando não apenas seus produtos, seus resultados, mas também seus processos, suas práticas e subjetividades. O apagamento e/ou esquecimento de cientistas, teorias, procedimentos, disputas teóricas, só faz com que a própria ciência fique mais árida, mais longe da dinamicidade humana que lhe é inerente.

Essa história da ciência — plural, que se propõe a fazer uma contextualização espaço-temporal, estabelecendo inter-relações entre os conhecimentos científicos e entre os estudiosos — mostra-se profícua e desejável ao ensino de ciências, como a literatura atesta há décadas (Cardoso et al., 2019; Matthews, 1995; Moura, 2014; Peduzzi, 2001; Raicik & Peduzzi, 2015; Silva & Gastal, 2008; Teixeira et al., 2012). Afinal,

Relatos de episódios históricos cuidadosamente reconstruídos configuram-se modelos de natureza da ciência de cada contexto sócio-histórico-cultural, e podem conferir significado às noções epistemológicas abstratas desvendando os diferentes processos que levaram à construção de conceitos (Forato et al., 2011, p. 29).

Dar vez e voz, através dos originais ou fontes secundárias fidedignas, a cientistas que fizeram suas contribuições ao desenvolvimento científico é valorizar e promover, inclusive, a cultura científica.

Referências

- Bachelard, G. (1991). *A filosofia do não*. Lisboa: Abril Cultural.
- Bachelard, G. (2009). *Pluralismo coerente da química moderna*. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Banchetti-Robino, M. P. (2011). Ontological tensions in sixteenth and seventeenth century chemistry: between mechanism and vitalism. *Foundations of chemistry*, 13, 173-186. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9126-9>
- Boeck, G. (2021) The Periodic Table of the Elements and Lothar Meyer. In: Giunta, C. J.; Mainz, V. V.; Girolami, G. S. (Eds.), *150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium* (pp. 195-214). Springer International Publishing.
- Brito, A., Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2005). A reconstruction of development of the Periodic Table based on History and Philosophy of Science and its implications for General Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 84-111. <https://doi.org/10.1002/tea.20044>
- Cannizzaro, S. (1947). *A Sketch of a course of chemical philosophy* (1858). Edimburgo: E. & S. Livingstone.
- Cardoso, M. L. D., Forato, T. C. M., & Rodrigues, M. L. L. (2019). Ciência e epistemologia em sala de aula: Uma perspectiva histórica para a teoria de Lamarck. *Filosofia e História da Biologia*, 14(1), 45-78.
- Carr, E. H. (1982). *Que é história?* Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra.
- Chemical Society (1866). Proceedings of societies. *Chemical News*. 13, 113-114.

- DeMilt, C. (1951). The congress at Karlsruhe. *Journal of Chemical Education*, 28(8), 421.
- DeMilt, C. (1969). Carl Weltzein and the congress at Karlsruhe. *Chymia*, 1, 153-169.
- Dmitriev, I. S. (2004). Scientific discovery in statu nascendi: The case of Dmitrii Mendeleev's Periodic Law. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 34(2), 233-275. <https://doi.org/10.1525/hsps.2004.34.2.233>
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>
- Goldfarb, A. M. A. (1987). *Da Alquimia à Química*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Giunta, C. J. (2021). Vis Tellurique of Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois. In: Giunta, C. J.; Mainz, V. V.; Girolami, G. S. (Eds.), *150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium* (pp. 61-91). Springer International Publishing.
- Giunta, C. J., Mainz, V., & Poole-Sawyer, J. (2021). Periodicity in Britain: The Periodic Tables of Odling and Newlands. In: Giunta, C. J.; Mainz, V. V.; Girolami, G. S. (Eds.), *150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium* (pp. 93-131). Springer International Publishing.
- Gurgel, I. (2020). Editorial: Reflexões Político-Curriculares sobre a Importância da História das Ciências no Contexto da Crise da Modernidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37 333-350. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p333>
- Hanson, N. R. (1967). An Anatomy of Discovery. *The Journal of Philosophy*, 64(11), 321-352. <https://doi.org/10.2307/2024301>.
- Hartog, P. J. (1889). A first foreshadowing of the periodic law. *Nature*, 41(1052), 186-188.
- Kedrov, B. M. (1966). On the Question of the Psychology of Scientific Creativity. *Soviet Psychology*, 5(2), 18–37.

- Koyré, A. (1991). *Estudos de história do pensamento filosófico*. Rio de Janeiro: Forense Universitária.
- Leite, B. S. (2019). O Ano Internacional da Tabela Periódica e o Ensino de Química: das cartas ao digital. *Química Nova*, 42(6), 702-710.
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170359>
- Lopes, A. R. C. (1993). Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 11(3), 324-330. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4513>
- Lorenzetti, C. S., Raicik, A. C., & Damasio, F. (2022). “O Sonho de Mendeleiev” e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 15(2), 209-236.
<https://doi.org/10.5007/1982-5153.2022.e84228>
- Lorenzetti, C. S., Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2023). Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: Ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 25, e46058. <https://doi.org/10.1590/1983-21172022240157>
- Lorenzetti, C. S., Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2024). Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI. *Actio: Docência em Ciências*, 9(1), 1-21, 2024.
<https://doi.org/10.3895/actio.v9n1.17289>
- Lorenzetti, C. S., Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (no prelo). Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século XIX.
- Lorenzetti, C. S., Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (no prelo). Uma UEPS sobre a Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev: potencialidades didáticas da História e Filosofia da Ciência e de aspectos de Natureza da Ciência no âmbito da graduação em física e química.
- Maar, J. H. (2011). *História da Química: De Lavoisier ao Sistema Periódico* (Segunda Parte). Florianópolis: Editora Papa-Livro.

- Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), 164-224.
- Mehlecke, C. M., Eichler, M. L., Salgado, T. D. M., & Del Pino, J. C. (2011). A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 521-545.
- Mendeleev, D. (1869). The relation between the properties and atomic weights of the elements. *Journal of the Russian Chemical Society*, 1, 60-77¹⁴.
- Moura, B. A. (2014). O que é a Natureza da Ciência e qual a sua relação com a História e Filosofia da Ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32-46. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i1.237>
- Odling, W. (1864). On the proportional numbers of the elements. *Quarterly Journal of Science*, 1, 642-648.
- Oki, M. C. M. (2006). *A história da química possibilitando o conhecimento da natureza da ciência e uma abordagem contextualizada de conceitos químicos: um estudo de caso numa disciplina do curso de Química da UFBA*. [Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia]. <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/10854>
- Oki, M. C. M. (2007). O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. *Química Nova na Escola*, 26, 24-28.
- Oki, M. C. M. (2009). Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. *Química Nova*, 32(4), 1072-1082. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400043>.
- Peduzzi, L. O. Q. (2001). Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (Eds.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora* (pp. 151-170). Florianópolis: Editora da UFSC.
- Peduzzi, L. O. Q., & Raicik, A. C. (2020). Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 19–55. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>

¹⁴Менделѣва, Д. Соотношеніе свойствъ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ. ЖУРНАЛЫ РУССКАГО ХИМИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА, томъ. I, 60-77, 1869.

- Peduzzi, L. O. Q. (2015) *Do átomo grego ao átomo de Bohr*. Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, (revisado em julho de 2019a).
- Poincaré, J. H. (1985). A ciência e a hipótese. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Queiroz, D. M., & Hidalgo, J. M. (2020). Biografias científicas com vistas à inserção didática: aportes da História e da História da Ciência. *Histórica da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, 21, 65-86. <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2020v21p65-86>
- Raíck, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 8(1), 132-146. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v8i1.173>
- Rawson, D. C. (1974). The process of discovery: Mendeleev and the periodic law, *Annals of Science*, 31(3), 181-204. <https://doi.org/10.1080/00033797400200221>
- Rocke, A. J. (1978). Atoms and equivalents: The early development of the chemical atomic theory. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 9, 225-263. <https://doi.org/10.2307/27757379>
- Rouvray, D. H. (2004). Elements in the history of the Periodic Table. *Endeavour*, 28(2), 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2004.04.006>
- Scerri, E. (2008). The role of triads in the evolution of the periodic table: past and present. *Journal of Chemical Education*, 85(4), 585. <https://doi.org/10.1021/ed085p585>
- Scerri, E. (2015). The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 373(2037). <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0172>
- Silva, C. C., & Gastal, M. L. (2008). Ensinando ciências e ensinando a respeito das ciências. In: Pavão A. C., & Freitas, D. (Eds.) *Quanta ciência há no ensino de ciências*, (pp. 35-44). EdUFSCar

Stock, A. (1933). *Der Internationale Chemiker-Kongreß, Karlsruhe: 3.-5. Sept. 1860* vor und hinter den Kulissen: zur 38. Hauptversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft in Karlsruhe. Verlag Chemie.

Teixeira, E. S., Greca, I. M., & Freire Junior, O. (2012). Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. In: Peduzzi, L. O. Q., Martins, A. F. P., & Ferreira, J. M. H. (Eds.). *Temas de história e filosofia da ciência no ensino* (pp. 9-40). EdUFRN.

Tolentino, M., Rocha, R. C., & Chagas, A. P. (1997). Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. *Química nova*, 20, 103-117. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421997000100014>

Van Spronsen, J. W. (1967). The history and prehistory of the law of Dulong and Petit as applied to the determination of atomic weights. *Chymia*, 12, 157-169. <https://doi.org/10.2307/27757279>

Van Spronsen, J. W. (1969). *The periodic system of chemical elements: a history of the first hundred years*. Amsterdam: Elsevier.

Notas

TÍTULO DA OBRA

Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico-epistemológico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas

Cristina Spolti Lorenzetti

Mestre em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), PPGECT, Florianópolis, Brasil
cspolti55@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9037-189X>

Graduada em Licenciatura em Física no IFSC câmpus Araranguá, mestre em Educação Científica e Tecnológica pela UFSC e professora de Física da Educação Básica. Realiza pesquisas na linha de Epistemologia e História das Ciências, com foco na história de construção e descoberta da Lei e Tabela Periódica de Mendeleev. É integrante do Apeiron - Grupo de História, Filosofia e Ensino de Ciências.

Anabel Cardoso Raicik

Doutora em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), PPGECT, Florianópolis, Brasil

anabelraicik@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6674-8466>

Anabel Cardoso Raicik: Doutora e mestre em Educação Científica e Tecnológica e licenciada em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Líder do Apeiron - Grupo de História, Filosofia e Ensino de Ciências e membra colaboradora do Grupo de Estudos em Educação e Divulgação Científicas (GE²DIC).

Endereço de correspondência do principal autor

Av. Jorge Lacerda, 1759 - Costeira do Pirajubaé, Florianópolis - SC, 88047-001 (local de trabalho)

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através do recebimento de bolsa de mestrado [código de financiamento 001].

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: C. S. Lorenzetti; A. C. Raicik.

Discussão dos resultados: C. S. Lorenzetti; A. C. Raicik.

CONJUNTO DE DADOS DE PESQUISA

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não se aplica.

LICENÇA DE USO

Os autores cedem à revista **Alexandria** os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution](#) (CC BY) 4.0 International. Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

PUBLISHER

Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Publicação no [Portal de Periódicos UFSC](#). As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não

representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

HISTÓRICO – uso exclusivo da revista

Recebido em: 05-06-2024 – Aprovado em: 27-03-2025 – Publicado em: 24-05-2025