



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

Ana Maria Possamai

**Desenvolvimento das noções e cálculo de Massa Atômica de  
Dalton: implicações para o ensino de química**

Florianópolis  
2025

Ana Maria Possamai

**Desenvolvimento das noções e cálculo de Massa Atômica de  
Dalton: implicações para o ensino de química**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Licenciatura em Química do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Licenciatura em Química.

Orientadora: Dra. Larissa Moreira Ferreira

Florianópolis

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Possamai, Ana Maria

Desenvolvimento das noções e cálculo de Massa Atômica de Dalton : implicações para o ensino de química / Ana Maria Possamai ; orientadora, Larissa Moreira Ferreira, 2025.  
45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Química - Licenciatura, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Química - Licenciatura. 2. Massa atômica. 3. teoria atômica. 4. Dalton. I. Moreira Ferreira, Larissa. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Química - Licenciatura. III. Título.

Ana Maria Possamai

**Desenvolvimento das noções e cálculo de Massa Atômica de Dalton:** implicações para o ensino de química

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Licenciatura em Química” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em Química

Florianópolis, 12 de Dezembro de 2025.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dra. Larissa Moreira Ferreira  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dra. Anelise Maria Regiani  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Miguel Soriano Balparda Caro  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2025

Dedico este trabalho a todos os químicos que vieram antes  
e que virão depois de mim. Isso é fruto do legado das  
nossas trajetórias.  
E à Pouca.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Dra. Larissa Moreira Ferreira por ter aceitado me orientar, e pelas aulas dentro e fora da sala de aula. Também pela dedicação e amor ao que faz, e principalmente por acreditar em mim e neste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Miguel Soriano Balparda Caro, que me auxiliou, me incentivou e me aceitou de volta no curso, e que tenho a honra de ter em minha banca. E claro, obrigada por seu trabalho como professor desde os tempos do meu bacharelado.

À prof. Anelise Maria Regiani, agradeço imensamente por ter aceitado participar desta banca desde o início, e pelo carinho e cuidado com o seus estudantes por sempre buscar buscar a excelência no seu trabalho.

Agradeço a todos que fizeram parte desta jornada, que dura muitos anos, e todos os professores, servidores e colegas da química, que me tocaram ou que toquei de alguma forma. É na troca de saberes, experiências e vivências que presentamos uns aos outros com as coisas boas que estão dentro de nós.

## RESUMO

Este trabalho buscou analisar o episódio histórico do desenvolvimento das noções e do cálculo da Massa Atômica por John Dalton, confrontando a lógica de sua gênese científica (Saber Sábio) com o conhecimento escolar tradicionalmente ensinado (Saber Ensinado), à luz dos referenciais teóricos dos Níveis Epistemológicos da Química de Johnstone e da Teoria da Transposição Didática de Chevallard. O objetivo geral foi compreender o contexto epistemológico e experimental da determinação das massas atômicas por Dalton e identificar as implicações desse conhecimento para o ensino de química. A metodologia consistiu na reconstrução histórica e epistemológica da gênese do conceito de massa atômica relativa, utilizando como base a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), através de análise de fontes primárias e secundárias. A análise permitiu a compreensão de que o desenvolvimento desse conhecimento não foi puramente teórico, mas se deu a partir de uma série de fenômenos macroscópicos (observações, medições experimentais de proporções em massa nas reações químicas) e da representação simbólica (tabelas e fórmulas mínimas), que serviram de base para sustentar a hipótese submicroscópica da existência dos átomos. Esse percurso histórico, que integrou os três níveis epistemológicos da química, contrasta com o ensino tradicional, no qual os estudantes são introduzidos à química por meio dos domínios Submicroscópico e Simbólico, sem a devida ancoragem nos fenômenos Macroscópicos. A análise demonstrou que essa abordagem pedagógica resulta em uma descontextualização e fragmentação do conhecimento no processo de transposição didática, distanciando o Saber Ensinado do Saber Sábio original e omitindo a relevância da Massa Atômica Relativa e suas bases experimentais na compreensão da atomística. Assim, o resgate das bases conceituais e evidências experimentais desse episódio histórico tem o potencial de reduzir as distorções sofridas pelo Saber Sábio e promover uma aprendizagem mais significativa, permitindo que o aluno compreenda a construção da teoria atômica por meio dos mesmos passos lógicos e sistemáticos em que ela foi inicialmente desenvolvida.

**Palavras-chave:** massa atômica relativa; John Dalton; história da ciência; ensino de química;

## ABSTRACT

This work sought to analyze the historical episode of the development of the first notions and the calculation of Atomic Weights by John Dalton, confronting the logic of its scientific genesis with the knowledge traditionally taught in schools, in light of the theoretical frameworks of Johnstone's Epistemological Levels of Chemistry and Chevallard's Theory of Didactic Transposition. The general objective was to understand the epistemological and experimental context of Dalton's determination of relative atomic weights and to identify the implications of this knowledge for chemistry teaching. The methodology consisted of a historical and epistemological reconstruction of the genesis of the concept of relative atomic mass, based on the Multicontextual Approach to the History of Science (AMHIC), through analysis of primary and secondary sources. The analysis revealed that the development of this knowledge was not purely theoretical; rather, it emerged from a series of macroscopic phenomena (observations and experimental measurements of mass proportions in chemical reactions) and symbolic representations (tables and empirical formulas), which provided the basis to support the submicroscopic hypothesis of the existence of atoms. This historical path, which integrated the three epistemological levels of chemistry, contrasts with traditional teaching practices, in which students are introduced to chemistry through the Submicroscopic and Symbolic domains without proper anchoring in Macroscopic phenomena. The analysis demonstrated that such pedagogical approaches result in a decontextualization and fragmentation of knowledge in the didactic transposition process, distancing what is usually taught from the original knowledge and omitting the relevance of Relative Atomic Weight and its experimental foundations in the understanding of atomism. Thus, revisiting the conceptual bases and experimental evidence of this historical episode has the potential to reduce distortions suffered by the original knowledge and to promote more meaningful learning, enabling students to understand the construction of atomic theory through the same logical and systematic steps by which it was originally developed.

**Keywords:** relative atomic weights; John Dalton; history of science; chemistry teaching.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triângulo de Johnstone . . . . .	13
Figura 2 – Sistema Didático de Chevallard. . . . .	16
Figura 3 – Esferas da transposição didática. . . . .	17
Figura 4 – Primeira tabela publicada de massas atômicas relativos. . . . .	26
Figura 5 – Novos valores para os constituintes da água. . . . .	28
Figura 6 – Tabela de Massas Atômicas Relativas. . . . .	29
Figura 7 – Dados de outros cientistas sobre a composição dos óxidos de nitrogênio. . . . .	30
Figura 8 – Eudiômetro de Volta . . . . .	31
Figura 9 – Eudiômetro de volta, quantitativo . . . . .	33
Figura 10 – Exemplo de uso da densidade para cálculo das proporções em massa . . . . .	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> . . . . .	<b>12</b>
2.1	OBJETIVO GERAL . . . . .	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .	12
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>13</b>
3.1	NÍVEIS EPISTEMOLÓGICOS DA QUÍMICA SEGUNDO JOHNSTONE	13
3.2	A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE CHEVALLARD E O ENSINO DE QUÍMICA . . . . .	16
3.2.1	<b>Transposição Didática e História da Química</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MÉTODOS</b> . . . . .	<b>21</b>
4.1	AMHIC - ABORDAGEM MULTICONTEXTUAL DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA . . . . .	21
<b>5</b>	<b>EPISÓDIO HISTÓRICO: A GÊNESE DO CONCEITO DE MASSA ATÔMICA</b> . . . . .	<b>23</b>
5.1	UM BREVE CONTEXTO DESTA PESQUISA . . . . .	23
5.2	AS NOÇÕES DE DALTON SOBRE A MATÉRIA . . . . .	24
5.3	PRIMEIRAS PUBLICAÇÕES SOBRE MASSAS ATÔMICAS RELA- TIVAS . . . . .	25
5.3.1	<b>Cálculo da Massa Atômica</b> . . . . .	<b>28</b>
5.3.2	<b>Experimentos relacionados</b> . . . . .	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA</b> . . . . .	<b>36</b>
6.1	CONTEXTO METACIENTÍFICO: OS NÍVEIS EPISTEMOLÓGICOS	36
6.2	CONTEXTO PEDAGÓGICO: NA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA . .	39
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>44</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Há milênios que, de diferentes formas, utilizamos processos químicos com os mais variados objetivos - da metalurgia à cura; da agricultura à alimentação; de substâncias psicoativas às cerimônias religiosas. Esses avanços tecnológicos são uma parte indissociável da história da humanidade e moldaram a sociedade como conhecemos hoje.

Antes da constituição e estruturação do campo da química, estudiosos já buscavam a sistematização e domínio das substâncias e suas transformações. Muito antes da ideia do átomo ser aceita pela comunidade científica, já conhecíamos e havíamos catalogado diversos elementos químicos, suas propriedades, formas de obtenção e transformações. É partir dessas atividades práticas de experimentação e observação, da interação com o físico, tangível, e real, é que começamos a filosofar não somente sobre os "comos", mas também sobre os "por quês".

John Dalton, um cientista meteorologista inglês, é um personagem fundamental na elucidação dos porquês da química. Quando propôs sua teoria atômica, resgatando os conceitos corpusculares da matéria de Newton, o fez em um contexto social e científico bastante diferente. Embasado pelas teorias de outros cientistas como Lavoisier, Boyle e Henry (Viana; Porto, 2007), que buscaram matematizar as transformações, o conceito de átomo começa a parecer plausível.<sup>1</sup>

Enquanto tentativas anteriores de emplacar o atomismo surgem como experimento mental, e portanto, pouco convincentes e quase indistinguíveis em natureza de outras teorias e explicações esotéricas da alquimia, a teoria atômica de Dalton vem acompanhada de resultados experimentais e dos primeiros cálculos de Massa Atômica Relativa. Ela se mostrou tanto satisfatória para explicar as observações feitas por Dalton sobre o comportamento dos gases, quanto promissora em buscar novos limites na ciência por outros cientistas adeptos do atomismo. (Dalton, 1808)

Em seu trabalho *A New System of Chemical Philosophy* (Dalton, 1808), explica que a massa atômica relativa foi calculada a partir das proporções de massa de cada reagente consumido em diferentes reações químicas. Assim, pode-se interpretar a contribuição de Dalton de acordo com a concepção de Johnstone (2010): do **Macro** (processos químicos já bem estabelecidos) e **Simbólico/Representacional** (da matematização dos átomos), agora para o **Submicroscópico** (com o desenvolvimento da teoria Atômica).

Apesar da BNCC prever que os primeiros conceitos de química, já no ensino fundamental, sejam a nível macroscópico (Brasil (2018) pg. 334-345), estes aspectos costumam ficar de lado: logo nas primeiras aulas de química (geralmente no Nono Ano, como introdução ao ensino médio) o Saber Ensinado - o conhecimento científico que efetivamente se ensina na sala de aula (Chevallard, 1991) - consiste nos conceitos de átomos e suas

---

<sup>1</sup> Não que esta tenha sido prontamente aceita por seus contemporâneos - principalmente pelo movimento antiatomista, mas mesmo seus críticos, ao confrontarem dados e cálculos práticos, acabaram por contribuir com o debate e para o refinamento da teoria atômica.

propriedades, partículas subatômicas, número de prótons e número de massa (Milaré; Marcondes; Rezende, 2014).

Assim, para este aluno, o primeiro contato com a química se dá através dos domínios Simbólico e Submicroscópico, e há pouca relação com experiências sensíveis a nível Macroscópico (ALVES; MOREIRA; PINTO, 2020) - invertendo a lógica do desenvolvimento epistemológico através do qual chegamos a estas conclusões do Saber Sábio (Chevallard, 1991).

Segundo Piaget (1977), "o conhecimento 'realiza-se através de construções contínuas e renovadas a partir da interação com o real', não ocorrendo através de mera cópia da realidade, e sim pela assimilação e acomodação a estruturas anteriores que, por sua vez, criam condições para o desenvolvimento das estruturas seguintes" (Piaget, 1977 apud Cardoso; Colinvaux, 2000). Assim, quando priorizarmos uma abordagem da química através dos níveis abstratos ao invés dos não-observáveis, encontramos uma dificuldade em colocar o aluno como protagonista do seu aprendizado, pois ele ainda não tem ciência dos problemas Macroscópicos que estes aspectos se propõem a explicar.

No entanto, ainda é possível olharmos para a história da ciência visando compreender o desenvolvimento do conhecimento que se pretende ensinar, para que, em sala de aula, possamos reconstruí-lo segundo os passos pelos quais foi inicialmente construído, munindo o discente das teorias, evidências e observações experimentais, para que possa, guiado pelo professor, começar a entender os processos de desenvolvimento da ciência.

Assim, esta parte do ensino de química se mostra desconectada da lógica do seu desenvolvimento epistemológico. Através da reconstrução do episódio histórico do desenvolvimento das noções e dos cálculos de Massa Atômica por Dalton, busca-se, neste trabalho, trazer reflexões sobre o tema, propondo aproximar seu ensino do contexto em que foi desenvolvido.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Neste trabalho, tem-se como objetivo Compreender o contexto epistemológico e experimental da determinação das massas atômicas por John Dalton e identificar implicações para o ensino de química.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

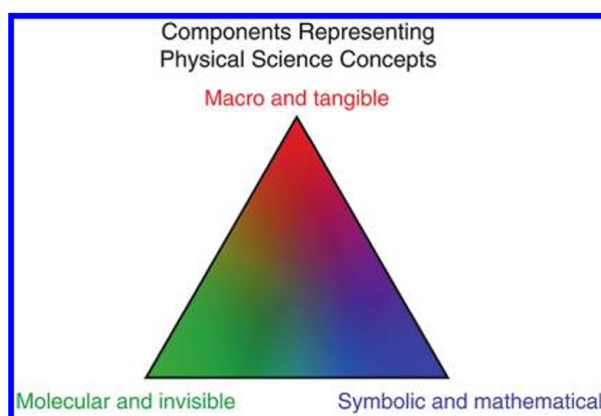
- Identificar os métodos experimentais utilizados por Dalton para determinação das Massas Atômicas relativas
- Compreender as evidências experimentais que deram suporte à hipótese atômica de Dalton
- Levantar implicações do tema para o ensino de química

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 NÍVEIS EPISTEMOLÓGICOS DA QUÍMICA SEGUNDO JOHNSTONE

Segundo Johnstone (1991), cada fenômeno ou conceito químico vem acompanhado de três níveis de compreensão diferentes: o Submicroscópico, o Macroscópico, e o Simbólico (Figura 1). O nível Macroscópico compreende os fenômenos tangíveis e observáveis; O submicroscópico, o atômico e molecular; e o Simbólico, o representacional e matemático, que utilizamos para ilustrar e manipular as informações e conceitos químicos.

Figura 1 – Triângulo de Johnstone



Fonte: Extraído de (Johnstone, 2010)

Para ilustrar esses aspectos, Johnstone (2010) traz um exemplo de uma frase que pode ser facilmente dita por um professor de química: "Tenho aqui uma solução aquosa de um sal de cobre azul. A coloração se deve à hidratação dos íons de cobre, representado por  $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ ". Nesta frase, dita rapidamente e de fácil compreensão para químicos já familiarizados, têm-se os três níveis sendo apresentado simultaneamente:

- Tenho aqui uma solução aquosa de um sal de cobre azul. => macroscópico, tangível
- A coloração se deve à hidratação dos íons de cobre => submicroscópico, invisível
- representado por  $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ . => simbólico, matemático

Assim, Johnstone argumenta que a química exige uma grande memória de trabalho, e muitas vezes, a compreensão simultânea dos três aspectos - levando à sobrecarga cognitiva dos alunos, que, aliada à comum falta de interesse, dificulta a transposição da memória recente para a memória de longo prazo (onde realmente se efetiva o aprendizado), gerando distorções no conhecimento químico dos alunos, numa tentativa destes de reter as informações de forma que lhes faça sentido (Johnstone, 2000).

Aliado a isso, o autor também diz que o ensino de ciências está, muitas vezes, respondendo perguntas que os estudantes *ainda* não estão se fazendo. "Why is grass green?", "Why is glass fragile?", "What is lead doing in petrol?" são perguntas que parecem

interessantes ou curiosas para os que já têm interesse na química, mas as considera irrelevantes ou "não-perguntas" para a maioria dos estudantes de ciências (Johnstone, 1991).

Uma das soluções para este problema seria sempre ancorar o ensino de química no que já é de conhecimento para o aluno, no mundo macroscópico que lhe é familiar. Sem esta ancoragem, o aprendizado de fato - a capacidade de manipular o conhecimento, resolvendo problemas e trazendo soluções - é impossibilitado, e o conhecimento torna-se supérfluo e sistemático (Johnstone, 2010).

No que diz respeito ao trabalho de Dalton, no livro *A New System of Chemical Philosophy* (1808), ele apresenta a ideia de que as massas atômicas relativas dos elementos podiam ser determinadas com base nas proporções em massa dos reagentes que participam de diferentes reações químicas. Ou seja, ao analisar as quantidades de substâncias consumidas e produzidas em reações bem conhecidas, Dalton (1808) conseguiu propor uma maneira sistemática de compará-las em termos de massa. Sob essa perspectiva, a contribuição de Dalton pode ser interpretada, segundo as concepções de Johnstone (2010), como uma transição epistemológica importante: da compreensão macroscópica (focada nos fenômenos visíveis e nas transformações químicas observáveis) e simbólica (centrada no uso de ícones, fórmulas e representações para descrever substâncias), para uma visão agora submicroscópica fundamentada, buscando explicar os fenômenos com base na estrutura e no comportamento dos átomos.

Porém, conforme afirmam Assis, Oliveira e Gomes (2024) e Campos e Reinaldo Carvalho Silva (2004) uma análise de publicações sobre os conteúdos de massa atômica e modelos atômicos de ensino de química, vários deles sob uma perspectiva da história e filosofia da ciência, revela que nem sempre estes aspectos epistemológicos do desenvolvimento da teoria atômica são levados em consideração.

Como o ensino de química no Ensino Médio costuma iniciar com os conteúdos de atomística, o conceito de Massa Atômica é geralmente definido como a soma do número de prótons e do número de nêutrons. Posteriormente, quando o conteúdo sobre Modelos Atômicos é introduzido, alguns livros didáticos chegam a fazer alguma referência ao cálculo das Massas Atômicas relativas por Dalton (Ferreira et al., 2023; Bignardi, 2018), apesar de as bases conceituais de Leis Ponderais e os Postulados de Dalton, fundamentais para a compreensão do desenvolvimento da teoria atômica, ainda não serem de conhecimento dos alunos.

Observa-se, então, uma inversão epistemológica na transposição didática desses saberes da química, que partem do nível Submicroscópico (atomística), para o Simbólico (representação de modelos atômicos), e posteriormente, o Macroscópico (Leis Ponderais). Assim, é pertinente questionar o quanto este episódio histórico, da forma com que é ensinado, realmente cumpre a premissa de contribuir para o entendimento da história da ciência pelos alunos do ensino médio.

Leme (2008), em sua dissertação de mestrado *Investigação das concepções de licenciandos em química sobre história da ciência*, aponta que mesmo os licenciandos entrevistados não mencionam ou relembram o conceito de Massa Atômica Relativa como contribuição de Dalton, mesmo este sendo um conceito fundamental para o desenvolvimento da sua teoria atômica. Pode-se especular que este seja um dos motivos para a desconexão destes conceitos observados no ensino de química a nível básico.

Em buscadores como Google Scholar, e na revista QnESC - Química Nova na Escola, publicada pela Sociedade Brasileira de Química, são escassos os trabalhos que tratam dos aspectos conceituais e práticos do desenvolvimento da teoria de Dalton. Usando as palavras-chave *Dalton, Massas atômicas, Massa atômica relativa, teoria atômica Dalton*, são encontrados diversos artigos que tratam do modelo atômico em si e Ensino de química; alguns artigos sobre o desenvolvimento da teoria atômica e história e filosofia da ciência (com menos ocorrências relacionando-os ao ensino de química); e somente um artigo que tratou de relacionar os aspectos Macroscópicos e Submicroscópicos da teoria atômica - através de uma abordagem prática.

No artigo, intitulado **De Massas e Massas Atômicas**, Campos e Reinaldo Carvalho Silva (2004) propõem duas abordagens a serem desenvolvidas nas aulas de laboratório, argumentando que a correlação entre os conceitos de Leis Ponderais e Átomo não é intuitiva para os estudantes. Assim, sugerem um experimento simplificado, e uma atividade prática que permita observar as relações de massa entre os reagentes e calcular suas massas relativas.

Na maior parte dos livros didáticos de Ensino Médio, o modelo atômico de Dalton é apresentado apenas através dos seus postulados, e pouca ou nenhuma relação é feita com as leis ponderais das reações químicas. Importantes correlações entre o universo macroscópico e o universo atômico, tais como a indestrutibilidade dos átomos ao longo de uma reação química, de um lado, e a lei da conservação da matéria de Lavoisier, de outro, não são trazidas à tona. Perde-se, assim, uma excelente oportunidade de discutir a própria estrutura metodológica da Química, transitando entre modelos, fatos e sua descrição. (Campos; Silva, R. C., 2004)

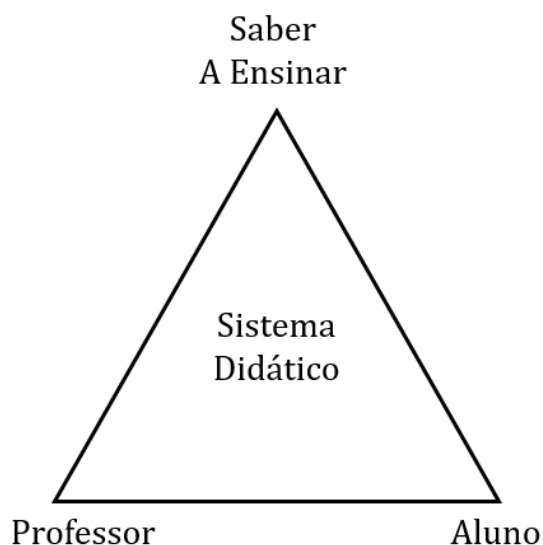
Entre todas as pesquisas, esse foi o único trabalho encontrado que procurou articular os níveis Macroscópico com o Submicroscópico (Johnstone, 1991) para o tema das Massas Atômicas Relativas e as contribuições de Dalton. Nota-se, nesta abordagem, uma potencialidade de maior compreensão dos processos cognitivos e sistemáticos de Dalton que possibilitaram o desenvolvimento de sua teoria atômica. Nersessian (1992) argumenta que esse é um papel valioso do ensino através da história da ciência, uma vez que há semelhanças entre os processos cognitivos históricos e os processos de aprendizagem. Assim, pode-se argumentar a favor do resgate das bases conceituais e evidências experimentais pertinentes a este episódio histórico, buscando abordar este tema a partir dos mesmos níveis epistemológicos em que se desenvolveu.

### 3.2 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE CHEVALLARD E O ENSINO DE QUÍMICA

No contexto do ensino de Química, uma análise adicional pode ser desenvolvida à luz da Teoria da Transposição Didática proposta por Chevallard. (Chevallard, 1989, 1991; Lopes, 1997; LEITE; CANDAU, 2004; Mello, 2019; Lima; Bortolai; Dutra-Pereira, 2022). A transposição didática fala sobre as transformações pelas quais passa o conhecimento, de sua origem até a sua aplicação didática. Para este autor, há três níveis de transposição: O Saber Sábio, o Saber a Ensinar, e o Saber Ensinado.

Por **Saber Sábio**, entende-se aquele saber que é produzido dentro do contexto científico. São as teorias mais atualizadas, e o saber formal produzido na academia. O **Saber A Ensinar** é aquele que *se escolhe* ensinar, a nível curricular, por exemplo, articulado por diferentes agentes da sociedade, que têm poder sobre currículos escolares, leis e regulamentações pedagógicas. Já o **Saber Ensinado** é aquele que efetivamente é ensinado em sala de aula, na relação aluno-professor-saber a ensinar (Sistema Didático, Figura 2).

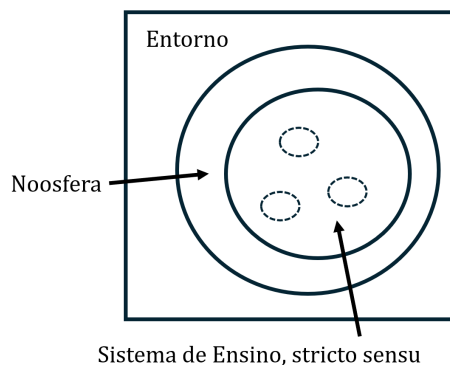
Figura 2 – Sistema Didático de Chevallard.



Fonte: Autoria própria. Adaptado de Chevallard (1991).

Chevallard (1989), então, trata os múltiplos Sistemas Didáticos (Figura 2, onde o Saber A Ensinar se torna o Saber Ensinado) na esfera escolar como uma unidade chamada de Sistema de Ensino *Strictu sensu* (turmas, classes, escolas, etc.), que conta com sistemas, regras e estruturas para garantir que o ensino funcione. Mais distante dessa esfera, estaria o *Entorno*, que consiste na parcela de agentes da sociedade que não têm poder institucionalizado sobre o Saber a Ensinar no âmbito escolar - como acadêmicos, pesquisadores (detentores do Saber Sábio) e pais dos alunos. *Entre* essas duas esferas está

Figura 3 – Esferas da transposição didática.



Fonte: Adaptado de Chevallard (1991).

a *noosfera*, que determina, a partir do Saber Sábio, o que efetivamente deve ser ensinado (Saber A Ensinar), e onde estão todos os agentes que têm poder sobre os parâmetros curriculares (Figura 3).

Como bom matemático, Chevallard utiliza a noção de conjuntos (Figura 3) para esquematizar as diferentes esferas da sociedade envolvidas no processo de transposição didática, em que cada conjunto está inscrito no nível anterior. Assim, considerando a densidade de informações embutidas em cada um dos termos descritos acima, optou-se neste trabalho por sistematizá-los em forma de quadro, procurando respeitar a noção de conjuntos e seus relativos pertencimentos, conforme a Figura 1.

Quadro 1 – Quadro resumo da teoria da transposição didática de Chevallard.

	Entorno	Noosfera	Strictu sensu	
			Sistema de Ensino	Sistema Didático
			Descrição	Sociedade em geral, sem poder institucionalizado sobre o currículo
Agentes	Pesquisadores, Comunidade, Pais, sistema produtivo	Representantes da educação e da sociedade. Legisladores, docentes	Escolas, órgãos reguladores, administrativos, Material didático	Alunos, professores
Transformação Lato sensu	Saber Sábio	Saber Sábio → A ensinar	A ensinar → Saber Escolar	Escolar → Ensinado
Problemática	Resolver problemas da sociedade	Construção do currículo, Mediando interesses sociais e objetivos educacionais	Viabilizar a escolarização do conteúdo	Formação crítica do educando
Forma de mediação	Diálogo com a Noosfera	Diálogo com o entorno e o Sistema de Ensino	Diálogo com a Noosfera e Sistema Didático	Contrato didático com aluno e Sistema de Ensino

Fonte: Autoria própria.

Assim, para Chevallard (1991), o conhecimento precisa passar por diversas "trans-

formações adaptativas"(deformações na escala Lato sensu, Figura 1) para que seja adequadamente transposto do entorno ao sistema didático. O conhecimento começa como *saber sábio*, mas entre cada transição entre as esferas descritas na Figura 1, é readaptado, porque precisa atender as demandas específicas do sistema didático (problemáticas), "em que o objetivo é a formação do cidadão crítico, capaz de compreender o meio que o cerca, estabelecendo relações entre conteúdo e contexto"(Lima; Bortolai; Dutra-Pereira, 2022). Percebe-se então, que o **Saber A Ensinar resolve uma problemática diferente do Saber Sábido** (ciência dos cientistas), que, por sua vez, se preocupa com a produção do conhecimento visando atender demandas dos acadêmicos e da sociedade.

Assim, o Saber Sábido e o Saber A Ensinar têm características fundamentalmente diferentes, apesar de compartilharem o mesmo objeto de conhecimento. Neste processo de transposição, o Saber A Ensinar distancia-se do Saber Sábido, justamente pela proposta da resolução de problemáticas distintas. Segundo Lima, Bortolai e Dutra-Pereira (2022), o Saber Sábido passa por várias etapas até se tornar um saber escolarizado:

- descontemporização - saber ensinado desvinculado dos tempos sua gênese;
- naturalização - apropriação do saber ensinado pela instituição de ensino ("sempre ensinamos assim");
- descontextualização – novo contexto de aprendizagem (recontextualização) do saber sábio baseado no cotidiano;
- despersonalização - saber "tercerizado", desvinculado do seu produtor, no processo didático. "Pueden creerme, porque no es mío..." (Chevallard, 1991)

Amaral-Rosa et al. (2021) argumentam com base em Pozo e Crespo (2009) e Lopes (1997), que a **dificuldade na aprendizagem de ciências** vem porque, no processo de transposição didática, **o Saber Sábido é esvaziado de sua historicidade e problemáticas originais, mas também não contempla as problemáticas e particularidades pertinentes ao sistema de ensino.**

(...) um elemento do conhecimento científico, quando deslocado das questões que ele permite resolver e dos conceitos com os quais constitui uma rede relacional, tem sua natureza fortemente modificada. Trata-se de uma despersonalização e de uma descontemporização dos conceitos, quando se tornam objetos de ensino. Desta forma, o saber ensinado aparece como um saber sem produtor, sem origem, sem lugar, transcendente ao tempo. Por isso, não é sem motivos que os livros didáticos, componentes essenciais da noosfera, omitem referências bibliográficas e históricas (Lopes, 1997);

Em alguns trabalhos, como Amaral-Rosa et al. (2021), Rosa et al. (2015), Lima, Bortolai e Dutra-Pereira (2022) e Lopes (1997), a questão da transposição didática é estudada especificamente no contexto do ensino de química. Esses autores argumentam que o ensino de química ocorre com uma extensa deformação do Saber Sábido no processo de transposição didática, devido ao alto grau de complexidade de abstração desta ciência, como já apontado por Johnstone (1991).

### 3.2.1 Transposição Didática e História da Química

Segundo Lima, Bortolai e Dutra-Pereira (2022), é de responsabilidade do professor fazer o papel de mediador entre estes saberes, não a fim de formar "especialistas", mas sim, tornar o conhecimento inteligível. Há várias formas de tornar o conhecimento inteligível através da didática, buscando aproximar o saber da problemática a qual se pretende resolver. Por exemplo, pode-se buscar facilitar o processo de abstração, realizar atividades práticas e experimentais, aproximar o conhecimento do cotidiano dos alunos, contextualizar o conhecimento no seu devido processo histórico, entre outros.

No seu artigo *Conhecimento escolar em química: processo de mediação didática da ciência*, Lopes (1997) apud Nersessian (1992) argumenta que, no contexto da História da Ciência, o resgate das atividades cognitivas e experimentais dos cientistas nos processos históricos de construção do Saber Sábio podem ser uma boa ferramenta para convertê-lo ao Saber Ensinado. Segundo Lopes (1997), Nersessian (1992) "conclui haver semelhança entre os processos cognitivos das históricas revoluções científicas e da aprendizagem por mudança conceitual. [...] novas estruturas conceituais não emergem gratuitamente nas mentes dos cientistas, mas são construídas em resposta a problemas específicos, através da utilização de procedimentos sistemáticos."

Lima, Bortolai e Dutra-Pereira (2022) também defendem a história da ciência como ferramenta para transposição didática:

Entendemos que não há como transpor conteúdos sem entender o percurso histórico, inclusive as suas mudanças de acordo com o tempo, com os pesquisadores, as críticas e até mesmo as refutações que sofreram. Sendo assim, torna-se essencial que os Educadores Químicos apresentem como foi o processo de formação do saber, indicando ainda o percurso para tal transposição, uma vez que esse saber não se constitui de modo neutro. Nessa perspectiva, Leivas e Cury (2009) apontaram que "(...) é necessário entender de onde vem o saber a ensinar, qual o saber sábio que lhe deu origem, para que os conteúdos não fiquem 'picoteados' e apenas fórmulas mágicas sejam oferecidas aos estudantes." (Lima; Bortolai; Dutra-Pereira, 2022)

Assim, aspectos históricos e epistemológicos da ciência podem contribuir para um Saber Ensinado mais efetivo, procurando, em certa medida, desfazer as distorções sofridas pelo Saber Sábio original. Pode-se *contemporizar*, *contextualizar* e *personalizar* o conhecimento tratado no episódio histórico, além de *desnaturalizar* o seu ensino, questionando as escolhas pedagógicas e curriculares do ensino de ciências.

Considerando, então, as transformações *Lato sensu* do Saber Sábio - descontemporização, naturalização, descontextualização e despersonalização - pode-se observar como o tema de Massa Atômica sofreu estas deformações ao passar de Saber Sábio para o Saber A Ensinar. O conceito de massa atômica, ao ser ensinado a partir da definição subatômica (soma de prótons e nêutrons), ou ainda como massa ponderada (considerando da abundância dos isótopos), aparece inicialmente descontemporizado e descontextualizado de sua gênese.

E até mesmo no ensino de Modelos Atômicos, em que pretende-se fazer um resgate e contextualização histórica deste episódio da química, o tema da Massa Atômica Relativa - fundamental para o desenvolvimento da teoria atômica - não costuma ser abordado em aula. Assim, o Saber A Ensinar, ao chegar na escola, aparece separado das bases conceituais que efetivamente fundamentaram o seu desenvolvimento.

Um resgate das evidências experimentais e bases conceituais que deram suporte à Dalton para o cálculo das Massas Atômicas Relativas tem potencial para reduzir as distorções do conhecimento sofridas no processo de transposição didática. Ao construir com o aluno as estruturas conceituais que levaram ao desenvolvimento deste conhecimento, é possível aproximar o saber a ensinar do saber sábio original.

## 4 MÉTODOS

### 4.1 AMHIC - ABORDAGEM MULTICONTEXTUAL DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

A AMHIC - Abordagem Multicontextual da História da Ciência, é uma metodologia proposta por Moura em sua tese de doutorado para ensino de ciências.(Moura, 2012) Foi desenvolvida no contexto de formação de professores de Física, buscando sistematizar uma forma de se trabalhar Episódios Históricos da Ciência como parte fundamental do processo de aprendizagem, e não somente como um apêndice ou curiosidade ao final do processo pedagógico (Moura; Silva, C. C., 2014) - em contraste em como tema geralmente é tratado no ensino de ciências (Bignardi, 2018).

Assim, um episódio histórico na AMHIC é definido como "um conjunto de acontecimentos relacionados entre si, de forma dependente ou independente, tendo um aspecto central comum"(Moura, 2012). Esses episódios são tratados não como mera curiosidade, conjunto de fatos, datas e narrativas, mas devem trazer elementos a serem debatidos, analisados e discutidos à luz de diferentes teorias, constituindo a centralidade do processo pedagógico. Moura (2012) defende que "a história da ciência promove a visão crítico-transformadora do licenciando, uma vez que possibilita aproximar o professor da historicidade do conhecimento científico, colocando-o como parte dessa história, promovendo sua postura crítica e ativa em relação à ciência."

Esta abordagem é chamada Multicontextual porque trabalha cada episódio em três contextos: Científico, Metacientífico e Pedagógico. Dentro do contexto científico, resgata-se o saber científico propriamente dito, com suas técnicas experimentais e teorias pertinentes ao episódio; no Metacientífico, levanta-se questões relevantes ao desenvolvimento deste saber científico, trazendo reflexões epistemológicas, culturais, sociológicas e filosóficas; no contexto Pedagógico, estuda-se o potencial de aplicação deste conhecimento em sala de aula.

Na primeira etapa, no levantamento do contexto científico, será feita uma pesquisa bibliográfica buscando compreender as evidências experimentais que deram suporte ao desenvolvimento da teoria da Massa Atômica relativa de Dalton, utilizando fontes primárias - isto é, o trabalho principal de Dalton (Dalton, 1808) e outros que forem posteriormente identificados, e fontes secundárias, que já tenham analisado suas publicações, como a obra de Roscoe e Harden (1896).

Pretende-se também buscar fontes secundárias ou terciárias que venham a complementar outras fontes secundárias ou terciárias que venham a complementar o estudo, selecionadas de acordo com os critérios:

- Relevância da publicação para o tema
- Pertinência do conteúdo a ser analisado
- Coerência com a fonte primária

- Emprego de referências primárias pelos autores

A partir desta bibliografia, será produzido um texto que servirá de fundamentação para a análise dos contextos, à luz dos níveis epistemológicos da química de Johnstone (1991), e da transposição didática de Chevallard (1991), analisando potencialidades e implicações para o ensino de química.

## 5 EPISÓDIO HISTÓRICO: A GÊNESE DO CONCEITO DE MASSA ATÔMICA

Na reconstrução do Episódio Histórico, leva-se em consideração as colocações de Moura (2012) sobre o Contexto Científico dentro desta metodologia. Nesse contexto, busca-se recontar e reconstruir o episódio histórico levando-se em consideração os conceitos científicos presentes, e não somente recontar nomes, datas e eventos. Entende-se que os episódios históricos carregam conteúdos, conceitos e saberes científicos, e que estes são indissociáveis da história da ciência como ferramenta pedagógica.

Segundo Moura (2012), o contexto científico é composto pela vertente teórica e pela vertente prática, e estas são indissociáveis - porque são interdependentes na construção da ciência. Na vertente teórica, analisa-se os conceitos e concepções adotadas pelos cientistas da época; e na vertente prática, a experimentação, práticas ou atitudes adotadas pelos cientistas no episódio em questão.

Assim, nas próximas seções, faz-se um resgate teórico-conceitual e prático deste episódio histórico, debatendo as concepções prévias de Dalton, suas motivações e inspirações para o desenvolvimento da teoria atômica e das massas atômicas, e os experimentos que desenvolveu, de forma a abordar as vertentes teóricas e práticas previstas pela AMHIC.

### 5.1 UM BREVE CONTEXTO DESTA PESQUISA

Há diversos trabalhos publicados, entre artigos e livros, que procuram resgatar ou reconstruir o desenvolvimento da teoria atômica de Dalton. Um dos primeiros é sua biografia póstuma, produzida e publicada por William Charles Henry (1804-1892) (Henry, W.C., 1854), que foi aluno de Dalton, e que é filho de William Henry (1775 —1836) - cientista inglês que colaborou intensamente com Dalton (Farrar, 1968; Henry, W.C., 1854). Este primeiro trabalho já demonstrava indícios do desafio que seria tentar recontar esta história: ele revela que o próprio Dalton, em suas anotações, aulas, ou conversas pessoais, costumava relatar diferentes origens para sua teoria atômica, com diversas inconsistências.

De fato, mesmo em sua principal publicação, *A new system of Chemical Philosophy* (Dalton, 1808), não discorre sobre a origem do conceito de massa atômica. Todo o tom de sua obra é impessoal, e ele se atém a comentar sobre as observações experimentais e deduções a partir destas, sem muito esclarecer ou justificar os processos mentais que o levaram a tais conclusões.

Tornando a história mais interessante, é importante ressaltar que a vasta maioria das anotações, cadernos, instrumentos e equipamentos de laboratório deixados por Dalton foram destruídos em um ataque aéreo em Manchester durante a segunda guerra mundial - em um episódio conhecido como Manchester Blitz (1940). Os ataques da força aérea alemã atingiram a *Manchester Literary and Philosophical Society* (Sociedade Literária e Filosófica de Manchester), que abrigava o laboratório de Dalton, e da qual foi o Presidente

com o mandato mais longo. O que não foi destruído estava em outras coleções, de universidades ou outros museus (Farrar, 1968). O acervo foi destruído sem antes ter sido devidamente estudado; portanto, os trabalhos sobre Dalton posteriores à data do ataque trabalham com uma limitação nas fontes primárias.

O trabalho de Roche (2005), é proeficiente em tratar desta dificuldade. No artigo "*In search of El Dorado: John Dalton and the Origins of the Atomic Theory*" (Em busca de El Dorado: John Dalton e as Origens da Teoria Atômica, em tradução livre), o autor faz um resgate das principais origens possíveis para a teoria atômica, baseando-se em artigos históricos, publicações do próprio Dalton, ou publicações de outros autores contemporâneos a ele para reconstruir a história.

E claro, não é possível separar a origem da teoria atômica da questão do cálculo das massas atômicas relativas - foi esta contribuição, baseada em evidências experimentais, que diferenciou a contribuição de Dalton das demais teorias corpusculares que a antecederam. Então, é preciso tratar também da origem da teoria atômica para se chegar aos seus cálculos de massa atômica.

Uma das origens propostas por (Roche, 2005) é a hipótese que chamou de "*a priori*". Segundo o autor, Dalton sempre esteve convencido de que a matéria era composta por estas últimas partículas indivisíveis, e os seus experimentos pareciam fornecer mais evidências para tal. No contexto deste trabalho, escolheu-se trabalhar com esta hipótese, a partir da qual acredita-se ser possível reconstruir os caminhos percorridos por Dalton até o cálculo de massa atômica, com base em suas publicações. Para isto, é preciso primeiro resgatar as concepções de Dalton sobre a constituição da matéria, para então entender o que poderia tê-lo levado à noção de massa atômica relativa.

## 5.2 AS NOÇÕES DE DALTON SOBRE A MATÉRIA

Dalton, como meteorologista, não tinha formação em química. Através de seus experimentos com gases, começou a refletir sobre a natureza e a constituição da matéria. Segundo (Roche, 2005), Newton era uma das grandes referências de Dalton, que adota a visão corpuscular newtoniana - que também foi desenvolvida a partir do estudo dos gases.

Sir Isaac Newton (1643-1727), em seu trabalho *PRINCIPIA Principios Matemáticos de Filosofia Natural, livro II* (1687), elabora princípios matemáticos para o comportamento dos gases - ou *fluidos elásticos*. Ele diz que

Seja um fluido composto de partículas mutuamente suspensas, cuja densidade depende da compressão, as forças centrífugas das partículas serão reciprocamente proporcionais às distâncias dos seus centros. E vice-versa, partículas mutuamente suspensas, com forças que são reciprocamente proporcionais às distâncias de seus centros, compõem um fluido elástico, cuja densidade depende da compressão. (Newton, 2021). Tradução própria.

Ou seja - ele observa que a densidade de um gás depende do seu nível de compressão,

e para explicar esse fenômeno, elabora um **modelo** mental e matemático de que o fluido elástico é composto de partículas estacionárias que se repelem mutuamente, cuja força de repulsão age só até a distância da partícula mais próxima, não tendo nenhum efeito sobre as partículas mais distantes - e compara esta força com a do magnetismo. (Newton, 2021) No entanto, diz que se trata apenas de um *modelo* matemático, e a questão de os fluidos elásticos serem realmente constituídos de tais partículas pertence a outra discussão. (Newton, 2021)

É a partir deste *modelo* de "fluido elástico" que Dalton pensa sobre a constituição da matéria. Segundo Rocke (2005), Dalton interpreta a colocação de Newton de forma literal - e não como modelo -, e adota esta visão corpuscular como verdade. Ou seja, nesta hipótese que chama de *a priori*, Rocke (2005) entende que Dalton, antes mesmo de desenvolver a sua teoria atômica com base em evidências experimentais, já estava convencido de que a matéria era constituída de partículas últimas, indivisíveis com peso, tamanho e forma característicos.

Outra investigação importante é sobre seu entendimento sobre Afinidade química. Em suas publicações, Dalton usa o conceito de **afinidade** nas situações: pra descrever mudanças de estado (1), reações químicas (2), mistura de gases (3), solubilidade de gases em líquidos (4). Ou seja, se trata de um conceito amplo e sem uma definição clara, que parece ser utilizada para descrever as transformações químicas que Dalton observava, sem ainda o entendimento que esses fenômenos têm naturezas distintas. De fato, o conceito de Afinidade química vinha sendo discutido por químicos desde a época de Newton, e havia pouco consenso sobre sua natureza definitiva (Banchetti-Robino; Villani, 2023).

### 5.3 PRIMEIRAS PUBLICAÇÕES SOBRE MASSAS ATÔMICAS RELATIVAS

É na tentativa de explicar a "afinidade" observada na solubilização dos gases (4), que não pareciam obedecer nenhuma lei matemática, que Dalton inicia a investigação das massas atômicas relativas. Em sua publicação *On the absorption of gases by water and other liquids*, Dalton (1806) apresenta pela primeira vez a tabela dos "massas relativas das partículas últimas dos gases e outros corpos"<sup>1</sup>, elaborada em 1803, acreditando que a solubilidade de um gás estava relacionada com a massa de suas partículas últimas (Figura 4). No entanto, observa-se que na publicação dos primeiros resultados, Dalton já tinha reconhecido que não haveria relação entre a propriedade e o fenômeno observado; mas também reconhece que estava diante de algo inédito.

A maior dificuldade (...) surge de diferentes gases seguirem leis diferentes. Por que a água não admite a mesma solubilização para todos os gases? Tenho ponderado sobre esta questão, e apesar de eu ainda não me dar por completamente satisfeito, estou praticamente convencido que a circunstância depende do peso

<sup>1</sup> Neste trabalho, adotar-se-á o termo "massa atômica relativa", ao invés da tradução literal **peso atômico relativo** (em inglês: Relative atomic weights), por ser o termo empregado no ensino de química.

Figura 4 – Primeira tabela publicada de massas atômicas relativos.

**T A B L E**  
*of the relative weights of the ultimate particles  
of gaseous and other bodies.*

Hydrogen .....	1
Azot .....	4.2
Carbone .....	4.3
Ammonia .....	5.2
Oxygen .....	5.5
Water .....	6.5
Phosphorus .....	7.2
Phosphuretted hydrogen .....	8.2
Nitrous gas .....	9.3
Ether .....	9.6
Gaseous oxide of carbone .....	9.8
Nitrous oxide .....	13.7
Sulphur .....	14.4
Nitric acid .....	15.2
Sulphuretted hydrogen .....	15.4
Carbonic acid .....	15.3
Alcohol .....	15.1
Sulphureous acid .....	19.9
Sulphuric acid .....	25.4
Carburetted hydrogen from stag. water	6.3
Olefiant gas .....	5.3

Fonte: (Dalton, 1806)

e do número das partículas últimas dos diversos gases: As partículas leves e **unitárias** sendo as menos absorvíveis e as demais, aumentando de acordo com o seu aumento em peso e complexidade.\*

\*Experimentações subsequentes diminuíram a probabilidade desta conjectura. (Dalton, 1806). Tradução própria.

A sua colocação sobre as partículas leves e unitárias ("single", na versão original), já dá indícios sobre a sua lei das Combinações Múltiplas, ainda não elaborada formalmente, e somente publicada alguns anos depois, em 1808 no *A new system of Chemical Philosophy*. Dalton já reconhece neste momento que existiam partículas últimas com níveis de complexidade diferentes.

Em um estudo de 1802 publicado em 1805, *Experimental enquiry into the proportion of the several gases or elastic fluids, constituting the atmosphere* (Investigações experimentais sobre a proporção de diversos gases ou fluidos elásticos, constituintes da atmosfera - em tradução livre) (Dalton, 1805), Dalton investiga a composição da atmosfera em uma série de experimentos. A proporção do gás Nitrogênio, por exemplo, era visualizada reagindo o oxigênio atmosférico com diversos compostos cujos produtos não

eram gasosos. Um deles, utilizando reações de óxido nítrico e oxigênio em presença de água:

"Se 100 medidas de ar comum forem adicionadas a 72 de gás nitroso (atual óxido nítrico) em um frasco largo sobre a água, de maneira a formar uma fina camada de ar, e agitação imediata e momentânea for utilizada, serão encontradas 79 ou 80 medidas de gás nitrogênio puro como resíduo"(Dalton, 1806; Fujii, 1986).

Essa reação forma ácido nítrico dissolvido em água, e tem como resíduo gás nitrogênio. A partir desse experimento, nota que o oxigênio da atmosfera reage com uma porção de óxido nítrico, ou com o dobro desta - e não há meio termo (Dalton, 1805).

Se, nesse último experimento, menos de 72 medidas de gás nitroso forem utilizados, haverá um resíduo contendo gás oxigênio; se mais, então algum gás nitroso residual será encontrado. Esses fatos claramente apontam a teoria do processo: os elementos de oxigênio podem se combinar com uma certa porção de gás nitroso (óxido nítrico), ou com o dobro desta - mas não em quantidade intermediária. O primeiro caso resulta em ácido nítrico; o segundo, em ácido nitroso. (Dalton, 1805). Tradução própria.

O trabalho de Roscoe e Harden (1896), *A new View on Dalton's Atomic Theory* investiga as anotações de Dalton em seus cadernos de laboratório. Os autores especulam se esta colocação específica sobre a reação de gás atmosférico com Óxido Nítrico, de 1802, realmente contribuiu para a formulação da lei das proporções múltiplas, e argumenta que os eventos estão desconectados. No entanto, relatam que em **setembro de 1803**, Dalton realizou diversos experimentos com óxidos de nitrogênio, reproduzindo as técnicas de Henry Cavendish (1731 — 1810) , Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) e Humphry Davy (1778 –1829), para determinar a composição em massa de N e O. A primeira Tabela das massas atômicas relativas seria publicamente divulgada em **Outubro de 1803** (mas somente oficialmente publicada em 1806).

Considerando que a primeira tabela de massas atômicas é elaborada para tentar explicar a solubilidade de diferentes gases, não é impossível imaginar que este experimento relatado em Novembro de 1802 possa ter dado a ideia a Dalton. Afinal, dois gases reagem, um produto se solubiliza em água (ácido nítrico), mas não o gás nitrogênio - por quê? Seria devido à massas diferentes das partículas últimas? É com esse experimento, ainda, que observa pela primeira vez que os gases se combinam em proporções definidas. E já, nesta época, tratando a matéria como partícula, a semente do que seria a teoria atômica pode ter surgido nessas investigações.

Isso também é coerente com a sua primeira observação de que a massa das partículas estaria relacionado com a solubilidade dos compostos. Inicialmente, diz que as leves e unitárias são menos absorvíveis - o que explicaria o gás nitrogênio não ser absorvido pela água, mas o ácido nítrico, sim (Dalton, 1806).

### 5.3.1 Cálculo da Massa Atômica

Na primeira publicação da tabela de massas relativas Dalton não especifica como obteve esses valores. Posteriormente, no *A new system of Chemical Philosophy* de 1808, Dalton elucida o seu raciocínio. Tendo a proporção em massa dos constituintes de diversas substâncias, já calculadas por outros cientistas, e tendo conhecimento já calculado a massa específica de diversos gases (no artigo *Experimental enquiry into the proportion of the several gases or elastic fluids, constituting the atmosphere* (Dalton, 1805), Dalton sabia que Hidrogênio era o gás menos denso. Por isso, adota-o como referência, atribuindo massa 1 para o Hidrogênio, e a partir disso, calcula as demais massas em relação a esta, da mesma forma que hoje calculamos a fórmula mínima ou fórmula empírica dos compostos.

Dalton começa com a análise da água, por assumir que são é um dos compostos binários mais simples (OH) (Cole, 1978). Isso permitira a ele determinar as fórmulas dos óxidos de nitrogênio com que estava trabalhando: adotando a massa do H como 1, da água calcularia a massa de O, e com a massa do O, poderia calcular a massa dos óxidos de nitrogênio, confirmando a sua teoria atômica (Roscoe; Harden, 1896).

Para isto, se baseou nos trabalhos de Cavendish e Lavoisier (Figura 5), tanto nos seus resultados quanto em seus experimentos, e repetiu diversos deles nos meses que antecederam a elaboração da tabela de massas atômicas relativas (Roscoe; Harden, 1896). Os valores são posteriormente corrigidos, conforme refina o entendimento de sua teoria e aprimora os resultados obtidos experimentalmente, chegando no valor que estaria finalmente publicado no seu livro *A new System of Chemical Philosophy*.

Figura 5 – Novos valores para os constituintes da água.

<b>4. Of water—</b>			
	Ox.	Hyd.	
Lav.	85	- 15	- 5.6 : 1
corrected	$87\frac{1}{2}$	- $12\frac{1}{2}$	- 7 : 1
<b>Why 1 to 1? because neither syn. nor analysis shows any other.</b>			

Fonte: Extraído das anotações de aula de Dalton (Roscoe; Harden, 1896).

Assim, em uma regra simples de proporções, pôde calcular a massa do átomo de oxigênio, assumindo o valor de 1 para a massa do Hidrogênio.

$$\begin{array}{l} 85\% \text{ ————— } x m_O \\ 15\% \text{ ————— } y m_H \end{array}$$

Na Equação acima,  $m_H$  e  $m_O$  representam as massas dos átomos de H e O, respectivamente.  $x$  e  $y$  representam a quantidade de cada um dos átomos na molécula. Assim, acreditando que a água é um composto binário de Hidrogênio e Oxigênio, diz que  $x = y = 1$ , e pode calcular a relação das massas de H e O na molécula de água:

$$m_O = \frac{m_H \cdot 85}{15} = 5,66 m_H$$

Assim, chega ao resultado de que a massa do átomo de Oxigênio é 5,66 vezes maior do que a massa de H. Apesar de diferente da primeira tabela publicada (Figura 4), é um dos primeiros encontrados por Dalton em suas pesquisas, conforme anotações extraídas de seus cadernos por Roscoe e Harden (1896), disponíveis na segunda coluna da tabela exposta na Figura 6.

Figura 6 – Tabela de Massas Atômicas Relativas.

Page 258  
19th September 1803  
TABLE OF THE SPECIFIC GRAVITIES, ETC.

	Sp. gr.	Wt. of ult. at.	Diameters of particles elastic. to water 1.
Hydrogen gas . . . . .	.077	1	10.5
Oxygen gas . . . . .	1.127	5.66	8.5
Azotic gas . . . . .	.966	4	8
Compounds.			
Nitrous oxide 2 A. 1 O.	1.610	13.66	10.2
Nitrous gas 1 A. + 1 O..	1.102	9.66	10.3
Nitric acid . . . . .	2.440	15.32	9.5
Sulphur . . . . .		14.4	
Charcoal . . . . .		4.4	
Phosphorus . . . . .		7.2	
Phosphuretted hydrogen .		8.2	
Gaseous oxyd. carb. 1 C.			
1 O. . . . .	1.000	10.1	11 +
Carbonic acid . . . . .	1.500	15.7	11
Carbonated hydrog. 1 to 1	.660	5.4	10 +
Ammoniac gas . . . . .	.580	5.00	10.2
Sulphureous acid . . . . .	2.265	20.00	10.2
Sulphuric acid . . . . .		25.7	
Sulphuretted hydrog. . . .	1.106	15.4	12
Water vapour . . . . .	.700	6.66	10.6
Ether 2 Carb. + 1 H. . . .	3.47	9.8	7 +
Alcohol 2 Carb. + 2 H. 1 oxy. . . . .		16.46	

Fonte: (Roscoe; Harden, 1896). Elaborada por Dalton em Setembro de 1803.

Legenda: Coluna 1: substâncias analisadas; Coluna 2: Gravidades Específicas - ou a densidade de um gás em relação à densidade atmosférica - calculadas por Dalton; Coluna 3: massa do átomo último; Coluna 4: diâmetro calculado das partículas.

É importante notar que Dalton optou por chamar todas as últimas partículas de uma substância de Átomos, em detrimento de outras nomenclaturas, por considerar que esta palavra já carrega consigo a noção de indivisibilidade. No entanto, usa também o termo "átomo composto": costumava se referir a um "átomo de ácido carbônico", por exemplo, mesmo sabendo que este átomo, por sua vez, poderia ser dividido em outros

átomos. Ainda assim, justifica que a nomenclatura é adequada - pois com a divisão de um átomo de ácido carbônico, este deixa de ser ácido carbônico, e, portanto, este átomo é, de fato, a última partícula de ácido carbônico (Roscoe; Harden, 1896).

### 5.3.2 Experimentos relacionados

Não há um único experimento relacionado ao cálculo das massas de diferentes átomos, mas todos eles tinham um objetivo em comum: determinar as proporções em massa (fórmula empírica) dos componentes de uma substância, através de reações químicas, e medindo a quantidade de reagentes e produtos. A partir das proporções em massa, determina-se a massa atômica relativa das partículas.

Espera-se que, para diferentes métodos, os resultados obtidos sejam idênticos para a análise de uma mesma substância. Assim, Dalton utiliza os dados de outros cientistas (Figura 7), assim como os seus próprios, para o cálculo das massas atômicas relativas, chegando repetidamente aos mesmos resultados, ou valores muito próximos. Inclusive, explica que optou por fazê-lo primeiro com os dados já publicados, para evitar seus próprios vieses na experimentação a fim de comprovar a sua teoria (Dalton, 1808).

Figura 7 – Dados de outros cientistas sobre a composição dos óxidos de nitrogênio.

318		OXYGEN WITH AZOTE.			
	Sp. gr.	constitution by weight.		Ratios.	
Nitrous gas	1.102	46.6 azote	+ 53.4 oxy.	6.1:7	
		44.2	+ 55.8	5.5:7	
		42.3	+ 57.7	5.1:7	
Nitr. oxide	1.614	63.5	+ 36.5	2 × 6.1:7	
		62	+ 38	2 × 5.7:7	
		61	+ 39	2 × 5.4:7	
Nitric acid	2.444	29.5	+ 70.5	5.8:7 × 2	
		29.6	+ 70.4	5.9:7 × 2	
		28	+ 72	5.4:7 × 2	
		25.3	+ 74.6	4.7:7 × 2	

} Davy.  
} Cavendish.

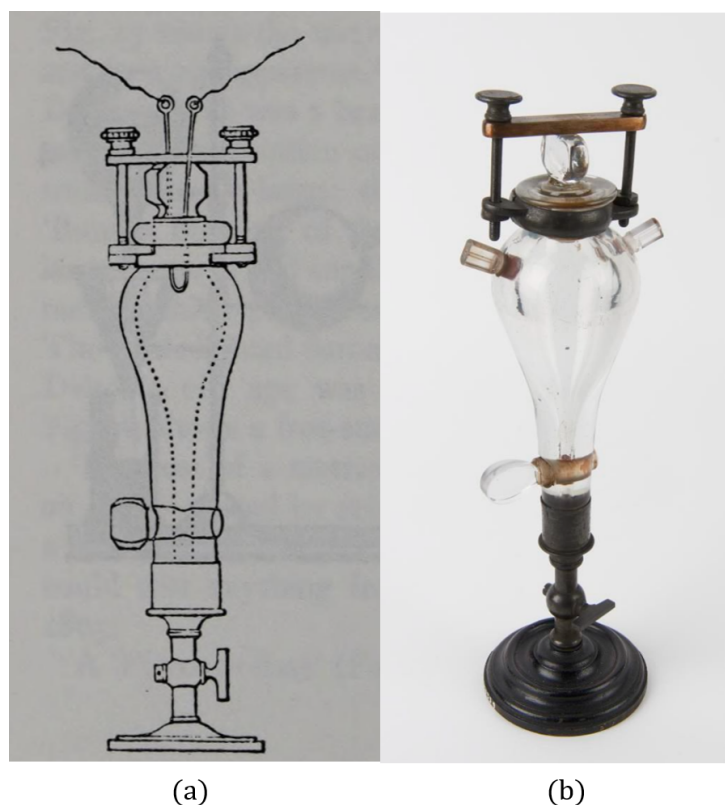
Fonte: (Dalton, 1808)

No *A New System of Chemical Philosophy*, Dalton relata em detalhes os experimentos que reproduziu de Davy, Priestley, Cavendish e Lavoisier para Água, Amônia, os Óxidos de Nitrogênio e diversas outras substâncias, que não serão o foco deste trabalho. Porém, um dos experimentos é o mais recorrente e utilizado para diversas determinações

das massas dos gases: a eletrificação em um **Eudiômetro de Volta** (Dalton, 1808). Por isso, este será o foco desta discussão.

O Trabalho de Farrar (1968) investiga os aparatos utilizados por Dalton em seu laboratório, incluindo o Eudiômetro de Volta (Figura 8). Após a sua morte, em 1844, seus equipamentos foram encaixotados e permaneceram intocados por cerca de 30 anos - ao final deste período, aparatos metálicos e "garrafas elásticas", para se trabalhar com gases, já tinham sido deteriorados. A maior parte de seus equipamentos foi perdida também em um ataque aéreo em Manchester em 24 de Dezembro de 1940, na Segunda Guerra Mundial. No entanto, algumas peças estavam sob posse de outras Universidades ou Museus, e outros haviam sido fotografados anteriormente. É nesses equipamentos e no trabalho de William Henry, *The elements of experimental chemistry* (Os Elementos da Química Experimental, em tradução livre), primeiro publicado em 1801, que Farrar baseia seu estudo, já que Dalton e Henry colaboraram extensivamente em suas pesquisas com gases.

Figura 8 – Eudiômetro de Volta



Fonte: (Farrar, 1968) e National Maritime Museum de Londres.

Disponível em: <<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co12657/volta-type-eudiometer>>. Acesso em 25/11/2025

Legenda: (a) Ilustração do Eudiômetro de Volta utilizado por Dalton para produção de água; (b) Eudiômetro de volta confeccionado por Newman e Cavendish.

O princípio do Eudiômetro de Volta é a passagem de corrente elétrica pela substância ou mistura. Ele poderia ser utilizado tanto na *detonação* quanto na *decomposição* das substâncias. Por exemplo, para a determinação das proporções em massa dos componentes

da água, Dalton utiliza um Eudiômetro contendo gás Hidrogênio e Gás Oxigênio. Com a passagem de corrente elétrica, ocorre a detonação, e água é formada. Analisando a composição dos gases remanescentes, é possível determinar o quanto de cada gás foi consumido, e a proporção entre eles. Ou, alternativamente, a corrente elétrica pode ser passada por uma substância como água, ou amônia, e ser decomposta em seus componentes originais (Dalton, 1808; Grapi-Vilumara, 2020).

Havia vários tipos de eudiômetros utilizados por Dalton e outros cientistas, todos baseados no mesmo princípio. Para análises precisas, um cilindro graduado seria empregado. O cilindro é preenchido com água ou mercúrio, e vertido sobre um recipiente contendo água, de modo que a pressão atmosférica mantenha o cilindro totalmente preenchido. A esse cilindro, os gases são adicionados, até que o volume desejado de cada um seja completado. Com a passagem de corrente elétrica, ocorre a explosão e o volume observado na graduação do cilindro é alterado, e as massas podem ser determinadas (Figura 9).

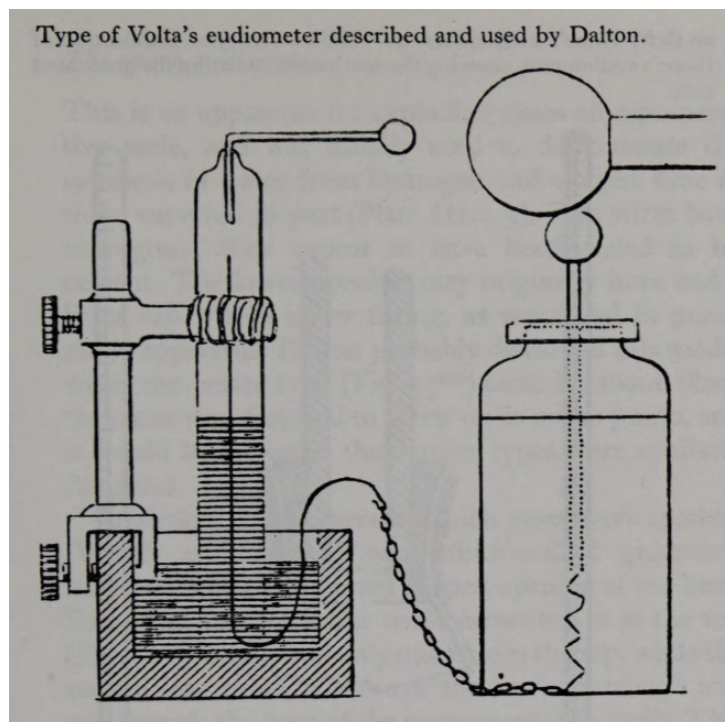
Dalton descreve o aparelho da Figura 9 no seu livro (Dalton, 1808):

A composição da água é fácil e elegantemente demonstrada por meio de um Eudiômetro de Volta, um instrumento de grande importância em pesquisas envolvendo fluidos elástico. Ele consiste em um tubo de vidro graduado reforçado, com um fio hermeticamente selado, ou firmemente cimentado; outro fio solto é inserido no tubo, quase tocando o anterior, de forma que uma faísca ou choque elétrico possa ser enviado de um fio para o outro através de qualquer porção de gás, ou mistura de gases, confinados por água ou mercúrio. Com uma das extremidades do tubo imersa em um líquido, com a ocorrência de uma explosão, não há nenhuma comunicação com o ar externo; assim a mudança produzida pode ser determinada. (Dalton, 1808). Tradução própria.

Observa-se na Figura 9 então, um cilindro graduado preenchido com mercúrio, e com a abertura também imersa em mercúrio. Inicialmente, o cilindro seria completamente preenchido, e somente depois, o gás seria adicionado através de uma mangueira, de forma a ser possível observar o volume de gás adicionado conforme a figura 9. Isto permite manter a temperatura e pressão ambientes, já que o sistema todo se mantém vedado em pressão atmosférica, e o calor liberado por qualquer reação é dissipado naturalmente. Neste cilindro, há um conector superior, fixado ao cilindro, e um fio inserido por baixo deste, conectado a uma garrafa de Leyden - uma forma rudimentar de capacitor. A esfera maior, acima do sistema, estaria ligada a um gerador de eletricidade; como uma máquina elétrica, que gera eletricidade estática através do atrito. Quando as cargas acumuladas são suficientemente grandes, o circuito é fechado por um choque elétrico que ocorre dentro do tubo, gerando a detonação dos reagentes.

Não fica claro se os valores das massas dos reagentes são determinados através da densidade ou pesando-se diretamente o gás. Como o cilindro era graduado, seria possível determinar a massa de gás indiretamente através do volume remanescente. Os trabalhos da época comumente citavam a *gravidade específica*, que é a massa específica do gás em relação à massa específica da atmosfera. Por exemplo, Dalton (1808) diz que a gravidade

Figura 9 – Eudiômetro de volta, quantitativo



Fonte: (Farrar, 1968).

Legenda: Ilustração de um Eudiômetro de Volta, feito por Henry, utilizado por Dalton para análise quantitativa dos componentes da água. Observa-se um cilindro graduado

específica do Hidrogênio é de 0,0805, em relação à atmosfera (1,0000). Também reconhece que 100 polegadas cúbicas de Hidrogênio pesam aproximadamente 2,5 g à temperatura e pressão médias - 30 bar e 60° graus Fahrenheit. Já era bastante entendido na época que pressão e temperatura influenciavam na medida dos gases. Inclusive, se as condições fossem diferentes destas, recomendava-se que fossem artificialmente ajustadas para que não houvesse erro na medida (Henry, William, 1826). Assim, seria possível determinar a massa de um gás através do volume.

No entanto, há evidências que o método da gravidade específica poderia ser empregado. Ao falar sobre a eletrificação da amônia (em um Eudiômetro de Volta), para decompô-la em N e H afim de determinar suas proporções em massa, Dalton utiliza este dado para cálculo da massa (figura 10). Diz que 100 gramas de amônia, com gravidade específica 0,6, equivalem a 60 gramas, e resulta em 185 medidas de uma mistura de gases - que determina serem 51,8 de azoto e 133,2 de hidrogênio. Multiplicando esses valores pela gravidade específica de cada gás, e somando as massas obtidas, chega a aproximadamente 60 gramas, obedecendo a lei de Lavoisier, e concluindo ser esta a composição da amônia.

Evidentemente, após a detonação no eudiômetro, estão presentes os gases N e H. Para determinar as proporções de cada, Dalton insere oxigênio na mistura, e faz uma nova detonação para a formação de água. Agora o Hidrogênio foi removido da mistura de gases, e o volume remanescente corresponde ao Nitrogênio, cuja massa então poderia

Figura 10 – Exemplo de uso da densidade para cálculo das proporções em massa

The image shows a handwritten calculation on aged paper. The text is as follows:

					Grains.
100 measures of ammonia,	which	×	sp. gr. .6	gives	60
become	185 measures of mixed gas,				—————
namely,	51.8 azote,	— — —	which	×	sp. gr. .967 gives 50.09
and	133.2 hydrogen,	— —	which	×	sp gr. .08 gives 10.65
					—————
					60.74

Fonte: (Dalton, 1808).

facilmente ser calculada através da gravidade específica. Com este método, chega ao valor de 4,7 para massa atômica relativa do Nitrogênio.

Na sua primeira tabela de massas atômicas relativas, Dalton utiliza os dados de Lavoisier, que diz que a água era constituída por 85% oxigênio e 15% de hidrogênio - uma proporção de 5,7:1, e chega nestes valores para suas primeiras tabelas de massas atômicas relativas. Porém, posteriormente, utiliza dados de outros cientistas, bem como os seus próprios, para calcular a correta proporção de dos componentes da água, já que considera as primeiras análises incorretas. Isso pode ser visto nas suas anotações de aula (Figura 5) e nas discussões feitas no *A New System of Chemical Philosophy*.

Ao invés de somente interpretar esses resultados como uma proporção em massa da substância, o seu entendimento da matéria como partículas que se combinam sempre nas proporções mínimas o faz pensar que fórmula da água seja HO (figura 5), e chega aos valores de massa de Oxigênio sendo 7 vezes maior do que a massa do Hidrogênio, sendo a massa total de um "átomo" de água, 8. Ainda diz que não há evidências experimentais apontando que a fórmula da água seja diferente de HO (Figura 5).

Sobre isto, é digna de nota uma observação que Dalton faz anos depois da primeira elaboração dos primeiros cálculos de massas atômicas relativas. Ao discorrer sobre a composição em massa da molécula de água, observa que no eudiômetro de volta duas medidas de hidrogênio requerem somente uma medida de oxigênio, e que os experimentos de Cavendish e Lavoisier mostraram que o oxigênio tem 14 vezes a massa do Hidrogênio - valor muito mais próximo do atual 16:1 atual. Ainda chama estes valores de *massas absolutos*, e em seguida, discorre sobre a *massa relativa*, e chega na relação 7:1 O:H. No entanto, Dalton não define o que seria a massa absoluto; e é um tanto curioso que ele próprio reconheça esta distinção. Ao final da discussão, ainda admite que a água poderia ser um composto Ternário - dois átomos de H e um de O - mas não leva esta consideração adiante e não ajusta seu entendimento sobre as combinações neste trabalho.

Conhecendo os valores das massas relativas de N e O, calculados em relação ao H, agora Dalton poderia validar sua teoria aplicando-a aos diversos óxidos de Nitrogênio. Da mesma forma, utiliza os eudiômetros para determinação da composição do Gás Nitroso

(que julga NO), e Ácido Nítrico (que determina ser NO<sub>2</sub>). Utilizando os dados expostos na Figura 7, calcula que a massa do átomo de N deve estar entre 5,4 e 6,1. Reconhece, no entanto, que estes valores diferem dos valores obtidos a partir da análise da amônia, mas atribui o erro à imprecisões na determinação da gravidade específica dos gases (Dalton, 1808).

## 6 IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA

A metodologia prevista pela AMHIC prevê, então, a partir do episódio histórico, a análise dos contextos metacientífico e pedagógico, afim de extrair as potencialidades formativas da história da ciência (Moura; Silva, C. C., 2014).

No contexto metacientífico, busca-se analisar o episódio de fora, afim de estabelecer correlações e identificar aspectos epistemológicos, históricos, filosóficos, culturais ou sociais de forma a complementar o contexto científico. Essa análise busca compreender a própria estrutura e desenvolvimento da ciência como forma de se conhecer o mundo, e o nosso próprio entendimento do que a caracteriza (Moura; Silva, C. C., 2014).

Por sua vez, o contexto pedagógico busca a construção de análises e saberes relacionados à questões de ensino-aprendizagem, olhando para a historicidade do conhecimento com um viés didático e pedagógico. Adota-se uma perspectiva crítica, analisando problemáticas, potencialidades e oportunidades de articulação do episódio histórico com a prática docente (Moura, 2012). Neste contexto, Chevallard (1991) será o referencial de análise.

### 6.1 CONTEXTO METACIENTÍFICO: OS NÍVEIS EPISTEMOLÓGICOS

A primeira correlação a ser estabelecida é entre o trabalho de Dalton com os Níveis Epistemológicos de Johnstone para a Química (Johnstone, 2007): macroscópico, representacional e submicroscópico. À época de Dalton, o aspecto macroscópico da química era o mais desenvolvido. Já se conhecia diversos elementos químicos, obtidos experimentalmente através de diversas técnicas e equipamentos, bem como as propriedades de diversas substâncias, como densidade, reatividade, forma de obtenção e composição.

Para determinação da composição da água, o Eudiômetro de Volta foi o principal instrumento de Dalton. Mas Lavoisier, por exemplo, usou um método diferente: passou vapor de água por um tubo incandescente contendo pequenos fios de ferro, que foi oxidado pelo oxigênio, e o gás hidrogênio foi coletado separadamente (Dalton, 1808). De maneira semelhante, Dalton descreve vários experimentos feitos por Davy e Cavendish para determinar as proporções de massa nos óxidos de nitrogênio (Figura 7), em que estes compostos participavam de reações químicas afim de se medir as quantidades de reagentes e produtos formados ou consumidos, para enfim determinar as proporções iniciais. Era preciso conhecer muito bem as técnicas, as propriedades, as formas de obtenção e a reatividade das substâncias - pois era através desses processos que se poderia investigar e descobrir a própria natureza da matéria.

É de se admirar que a química tenha chegado a este ponto sem a teoria atômica. Apesar de haver, já de Newton, a noção de que a matéria pudesse ser particulada, não haviam ainda investigações sérias sobre o tema, e muito menos uma teoria coerente que explicasse os fenômenos químicos. Mesmo assim, foi possível avançar esta ciência em

conhecimento, método e técnica - inclusive com aparelhos sofisticados como o eudiômetro - evidenciando a importância do nível macroscópico no desenvolvimento destes conceitos.

As noções particulares de Newton sobre a matéria tiveram uma enorme influência sobre Dalton (Roscoe; Harden, 1896). Ao adotar esta visão realista da matéria como partícula, Dalton começa a pensar agora no nível microscópico para explicar os fenômenos. Inicialmente, está preocupado com dois principais comportamentos dos fluidos elásticos (gases): a expansão com o calor e a mistura de gases na atmosfera.

As noções de densidade não davam conta de explicar os fenômenos. Dalton, já tendo determinado a composição da atmosfera e as densidades - ou melhor, gravidades específicas - dos gases, não conseguia explicar porquê a atmosfera não era estratificada nos gases que a compunham. Foi a noção da matéria como partícula que o permitiu a Dalton explicar o fenômeno e elaborar a sua Lei das Pressões Parciais. Para ele, os gases eram partículas, que ocupavam todo o espaço disponível porque suas partículas estavam rodeadas de "calórico- um fluido hipotético - e se repeliam entre si. Ao adicionar calor, aquecendo o gás, a esfera de calórico ao redor das partículas aumentava, promovendo a expansão do gás. No entanto, partículas diferentes não se repeliam, e as partículas de um gás ocupariam o espaço entre as partículas do outro, não apresentando nenhuma afinidade ou interferência - ou seja, a pressão total é a soma das pressões parciais (Dalton, 1808)).

Dalton tentou calcular o diâmetro destas partículas (Roscoe; Harden, 1896; Dalton, 1808), Figura 6, que seria toda a "esfera" de calórico ao redor desta, e responsável pela densidade diferente de cada gás. Dalton não acreditava em moléculas diatômicas, e nem que volumes iguais de gases continham o mesmo número de partículas (Dalton, 1808). Por isso, ao observar densidades - ou "Gravidade Específica- diferentes para o mesmo volume de gases diferentes nas mesmas condições, atribui esta observação ao diâmetro da partícula: cabem poucas partículas grandes, no caso de gases pouco densos; e cabem mais partículas pequenas, no caso de gases mais densos. Para isto, escolhe padronizar o hidrogênio como 1, assim como fez com as massas atômicas, e passa a calcular o diâmetro das partículas dos gases.

Assim, com estas ideias, na tentativa de explicar os fenômenos macroscópico a partir do microscópico, Dalton compõe a primeira tabela de massas atômicas relativas para explicar a solubilidade dos gases (Figura 4). Este entendimento também o permitiu interpretar as combinações em proporções definidas que observava como combinações entre partículas, levando ao desenvolvimento da teoria das combinações múltiplas e definidas. Além disso, também calcula a fórmula mínima dos compostos a partir da fórmula empírica e da padronização da massa do átomo de H. Neste caso, figura também o nível Simbólico-Matemático - que foi o que diferenciou a teoria de Dalton das suas antecessoras.

Na química, observa-se então, que o nível macroscópico antecede o desenvolvimento dos níveis submicroscópico e simbólico. No caso da teoria atômica, é a partir das proporções visíveis e mensuráveis que Dalton passa a representá-las no nível simbólico como suporte

para suas interpretações submicroscópicas, que, por sua vez influenciam o macroscópico - na prática de Dalton e no desenvolvimento de novos experimentos que possam comprovar esta teoria.

Assim, neste episódio histórico, Dalton une pela primeira vez os três aspectos do triângulo de Johnstone. Ao dominar a técnica, opera no macroscópico; ao pensar na matéria como partícula para explicação dos fenômenos, está no submicroscópico; e ao matematizar as relações entre as partículas de uma substância, traz o nível simbólico-representacional.

À luz desse episódio, pode-se discutir que a teoria atômica não surge como suposição abstrata, mas como resposta a questionamentos sobre o comportamento da matéria observado experimentalmente. A teoria se desenvolve a partir da investigação experimental, e com suporte experimental concreto. Não é um simples resgate do atomismo de Leucipo e Demócrito, e nem somente de um exercício filosófico. Através de processos indutivos, observando-se que as combinações sempre aconteciam em proporções fixas, foi possível chegar na Lei das Combinações Múltiplas; através de processos de abstração sobre a matéria, seguida de experimentação e análise dos resultados, foi possível desenvolver a teoria atômica de Dalton.

No ensino de química, estes aspectos não são abordados, deixando de lado os aspectos macroscópico e simbólico da teoria atômica de Dalton. O ensino atual não somente rompe essa sequência, apresentando primeiro o nível submicroscópico, depois o simbólico, também não relaciona estes conhecimentos entre si e nem aborda os aspectos macroscópicos do desenvolvimento da teoria atômica de Dalton. Faleiro e Arnaud (2025) relata que estudantes têm dificuldades no estudo dos modelos atômicos, não conseguindo estabelecer relações entre a teoria e comportamento da matéria, não conseguindo empregar o nível microscópico para a compreensão do macro, ressaltando a falta da relação entre modelos e fenômenos no ensino de química.

Dada a relativa simplicidade do cálculo das fórmulas mínimas e o conceito de fórmula empírica ou experimental, que são comumente trabalhadas no ensino de química como introdução ao cálculo estequiométrico, seria possível aprofundar esta abordagem para relacioná-la com a gênese da teoria atômica - unindo os três aspectos do triângulo de Johnstone, atribuindo significado ao que é estudado, e fornecendo uma visão mais completa do conhecimento químico (Johnstone, 2010).

No entanto, Johnstone (1991) defende que a dificuldade na aprendizagem de química vem justamente da sobrecarga cognitiva de lidar com os três aspectos ao mesmo tempo. Nessa perspectiva, reconhecemos que, no ensino tradicional, os aspectos são trabalhados separadamente (teoria atômica, fórmulas químicas, leis ponderais), e a articulação destes em um momento posterior poderia promover o entendimento do todo dentro do ensino de química. Já Mortimer, Machado e Romanelli (2000), ao desenvolverem triângulo semelhante voltado para o ensino de química, defende que os aspectos Representacionais, Fenomenológico ou experimentais, e Teóricos precisam comparecer igualmente no ensino

de química - já que, para ele, a produção do conhecimento resulta de um diálogo entre teoria e experimento, pensamento e realidade.

## 6.2 CONTEXTO PEDAGÓGICO: NA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Com a análise deste episódio histórico da determinação das massas atômicas à luz da Transposição Didática de Chevallard, torna-se evidente que esse conteúdo sofreu intensos processos de descontextualização e naturalização ao passar do Saber Sábido ao Saber A Ensinar.

O trabalho de Santos (2023) investiga a representação do modelo atômico de Dalton nos livros didáticos de química. A autora enfatiza que dos 7 livros analisados, todos apresentaram insuficiências ao não retratarem as **motivações** de Dalton para o desenvolvimento da teoria atômica, e a maioria sequer menciona o seu trabalho com gases e da atmosfera. No entanto, nota-se que tanto os livros didáticos quanto no próprio trabalho de Santos (2023) não são mencionados os experimentos realizados por Dalton, e nem sua ausência parece ser notada dos livros didáticos. Segundo Chevallard (1991), isto pode ser interpretado como uma **naturalização** do ensino pela via submicroscópica e simbólica.

Enquanto a formulação da teoria atômica, bem como as discussões posteriores e controversas, se pautaram nos resultados experimentais e na interpretação destes, estes aspectos não são discutidos nem nos livros didáticos, e nem nas produções acadêmicas encontradas sobre o assunto no contexto brasileiro, mostrando que a naturalização da forma com que ensinamos vai além da sala de aula.

Santos (2023) relata uma forte descontextualização do tema nos livros didáticos brasileiros. Dentre os sete livros analisados, apenas dois faziam alguma menção ao trabalho de Dalton com gases da atmosfera, mas em frases curtas e sem relacioná-lo conceitualmente com o desenvolvimento da teoria atômica. Ainda assim, esta associação é um tanto tênue; pois ela surge como consequência de análises e de reações químicas de diversos compostos, e não somente dos constituintes da atmosfera. Como citado anteriormente, Dalton está investigando a solubilidade de diferentes gases em água - estes não necessariamente componentes da atmosfera. Suas investigações experimentais também se iniciam com análises da molécula de água e amônia, e posteriormente, com os óxidos de nitrogênio, estes não sendo componentes da atmosfera.

Segundo Santos (2023), somente um dos livros fazia alguma referência às massas atômicas calculadas por Dalton - mas ainda sem elucidar como chegou a estas noções e sua relação com o desenvolvimento da teoria atômica. Nota-se, novamente, a forte descontextualização do Saber Sábido original, que foi resignificado para o contexto educacional. No entanto, por ser um conteúdo relacionado à história da ciência, a recontextualização também não é feita baseada no cotidiano do aluno, e acaba se tornando uma coleção de fatos soltos, e pode-se argumentar que pouco agregam para o entendimento de fenômenos do cotidiano, e tampouco para a compreensão da natureza da ciência, com abordagens

lineares e acumulativas (Faleiro; Arnaud, 2025).

No Saber Sábio, a noção de massa atômica surge em meio a indagações sobre afinidade química, solubilidade dos gases e proporções de massa entre reagentes; fundamentada em sucessivas medições empíricas e diversos experimentos com diferentes substâncias, tanto de Dalton quanto de outros cientistas; e permeada de revisões e inconsistências nas próprias publicações de Dalton.

Entretanto, ao ser transformado em Saber A Ensinar, este episódio é fragmentado, e cada elemento teórico que embasa a teoria atômica de Dalton é abordado em um momento diferente no contexto escolar. Entende-se a massa atômica como soma de prótons e nêutrons, sem relação com experimentação, sem conexão com as leis ponderais, e sem conexão com a lógica histórica de construção do modelo de Dalton.

Assim, um resgate histórico e epistemológico da construção desse conhecimento, mostrando os procedimentos experimentais e os debates que envolveram Dalton, pode ajudar a reconstruir as bases do saber e aproximar o Saber Ensinado do Saber Sábio original, facilitando uma aprendizagem mais significativa e um entendimento mais robusto sobre a própria natureza da ciência química (Lopes, 1997).

Como podemos saber a composição da água? Como podemos saber a massa de um átomo? Estas eram as perguntas sendo feitas na época e o contexto original de produção deste conhecimento. E foi através de métodos experimentais **químicos** - da interação entre substâncias e com a eletricidade, bem como métodos simples de pesagem e aferição de volumes, que pudemos investigar, conhecer, e desenvolver modelos que nos permitiram avançar o nosso entendimento sobre a matéria. Do contexto do Saber a Ensinar, estas perguntas relacionadas aos aspectos macroscópicos estão distantes.

(Lima; Bortolai; Dutra-Pereira, 2022) defendem que é necessário entender de onde vem o saber a ensinar, para que não sejam oferecidas fórmulas mágicas aos estudantes. De fato, cabe pensar como e quando fazê-lo. Como o saber a ensinar resolve uma problemática diferente do saber sábio, uma das alternativas seria tratar sobre o tema mais adiante no percurso escolar do aluno, quando este já tivesse algumas noções dos fundamentos da química.

Segundo Lopes (1997), Nersessian (1992), é possível relacionar o processo de construção do conhecimento original com o seu ensino. Neste episódio histórico, observa-se o potencial de aprofundar o entendimento da química como ciência prática, e elucidar os processos que deram origem a uma das teorias fundamentais da química, tornando este saber sábio acessível, e o saber a ensinar menos abstrato. Trabalhos futuros baseados nessa perspectiva, podem, por exemplo, propor o desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino de estequiometria e fórmulas empíricas para o cálculo das massas atômicas relativas a partir das evidências experimentais e do raciocínio de Dalton, e resgatando o desenvolvimento da teoria atômica. Desse modo, os três níveis epistemológicos de Johnstone poderiam ser articulados, de modo a desfazer algumas das deformações sofridas por

este Saber no processo de transposição didática.

Assim, ao demonstrar a coerência epistemológica do caminho percorrido por Dalton, pode-se romper o "Contrato Didático" que naturaliza as deformações, para reestabelecer a Química como uma ciência baseada na relação entre o fenômeno que se observa e a teoria que se postula, para transformar o ensino da Química em um processo de construção de conhecimento significativo e não de mera memorização de dados e teorias.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou analisar o episódio histórico do desenvolvimento das noções e do cálculo da Massa Atômica por John Dalton, à luz dos contextos da AMHIC: Científico, Metacientífico e Pedagógico. Foi possível confrontar a lógica de sua gênese científica (Saber Sábido) com as estruturas didáticas que permeiam o ensino de química (Saber Ensinado), à luz dos referenciais teóricos de Johnstone (2000) (Níveis Epistemológicos) e Chevallard (1991) (Transposição Didática).

No contexto científico, através da reconstrução histórica da gênese do conceito de massa atômica relativa, compreende-se de que esse conhecimento não surgiu de maneira linear e, muito menos, puramente teórica. Pelo contrário, desenvolveu-se a partir de uma série de **fenômenos macroscópicos** cuidadosamente observados, de medições experimentais repetidas por Dalton e outros cientistas, e da busca por regularidades e coerências nos resultados obtidos experimentalmente. Nota-se que há uma compreensão profunda sobre a matéria e seu comportamento, bem como das propriedades das substâncias e sua reatividade. Também são empregados aparatos e técnicas junto a este conhecimento, que por sua vez, permitiram a elaboração da teoria atômica e o cálculo das massas atômicas, mostrando que a vertente prática está, de fato, intrinsecamente conectada à vertente teórica neste episódio histórico.

A análise desse episódio histórico no contexto metacientífico, à luz dos níveis epistemológicos de Johnstone (2000) mostrou que o desenvolvimento do conceito abordou os três níveis epistemológicos da química: submicroscópico (a hipótese da existência de partículas últimas da matéria) com o macroscópico (experimentos e medições), e o simbólico (tabelas, proporções, fórmulas mínimas). Esse percurso contrasta com o tradicional de ensino de química sobre o tema, no qual estudantes são submetidos a um ensino pautado em representações simbólicas sem compreender adequadamente os modelos microscópicos que o simbólico tenta representar.

A partir da perspectiva da Transposição Didática de Chevallard (1991) no contexto pedagógico, observou-se que o conceito de massa atômica sofre intensos processos de descontextualização e naturalização ao ser convertido em Saber A Ensinar. O resultado é um conteúdo fragmentado, apresentado como fato estabelecido e desvinculado de sua problemática original, perdendo grande parte de seu potencial formativo — tanto para promover uma compreensão mais profunda da natureza da ciência em geral quanto da prática química.

Neste processo, o conceito fundamental de Massa Atômica sofre uma significativa deformação. Para Dalton, foi um processo racional de elaboração de uma hipótese Submicroscópica para explicar o que observava no plano Macroscópico. Como o processo de determinação das massas atômicas — o cerne de sua contribuição — foi desconsiderado do saber a ensinar, este esvaziamento resulta em um Saber Ensinado descontextualizado e

naturalizado, onde o conceito surge como verdade pronta - e as origens do conhecimento são obscuras para o estudante.

Dessa forma, o resgate das bases conceituais, experimentais e epistemológicas da obra de Dalton pode ser um caminho promissor para reaproximar o Saber Ensinado do Saber Sábio, contribuindo para uma abordagem mais coerente, inteligível e historicamente fundamentada. Trabalhar com dados experimentais históricos, reconstruções de raciocínios e discussões sobre este processo pode oferecer aos estudantes a oportunidade de compreender não apenas o que é o conceito químico de massa atômica, mas como e por que ele foi desenvolvido, e a química em seus três níveis epistemológicos.

Assim, reforça-se a necessidade de repensar a abordagem didática dos temas relacionados à Dalton, e uma articulação mais coerente dos conteúdos relacionados a este episódio histórico, promovendo uma aprendizagem que não se limite à memorização de fórmulas e dados, mas que aproxime os estudantes do processo científico real, capaz de desenvolver uma compreensão mais aprofundada dos conceitos químicos essenciais para a formação científica.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Leonardo Alcântara; MOREIRA, Mayara Beatriz de Oliveira; PINTO, Lucan Emanuel da Silva. A QUÍMICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: QUAL A PERSPECTIVA DOS ESTUDANTES? **Educação Linguagem** · ISSN: 2359-277X, n. 2, p. 59–73, 2020.
- AMARAL-ROSA, Marcelo Prado; SANTOS FENNER, Roniere dos; MERTINS, Simone; SILVA, Carla Melo da; GALLE, Lorita Aparecida Veloso. “Ponte pra tudo!”: transposição didática e o ensinar da química. **Revista Signos**, v. 42, n. 1, 2021.
- ASSIS, Marcos Wilson Vicente de; OLIVEIRA, Daniel Augusto Barra de; GOMES, Verenna Barbosa. O que dizem os livros didáticos de química do PNLD 2021 sobre a teoria atômica? **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 30, p. 90–112, 2024.
- BANCHETTI-ROBINO, Marina Paola; VILLANI, Giovanni. **From the atom to living systems: A chemical and philosophical journey into modern and contemporary science**. [S.l.]: Oxford University Press, 2023.
- BIGNARDI, Camila. **Análise sobre atomística nos livros de Química do PNLD 2018 com base na História e Filosofia da Ciência**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp).
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. [S.l.: s.n.], 2018. Ministério da Educação. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 20 maio 2025.
- CAMPOS, Reinaldo Calixto; SILVA, Reinaldo Carvalho. De Massas e Massas Atômicas. **Química nova na escola**, n. 19, 2004.
- CARDOSO, Sheila Presentin; COLINVAUX, Dominique. Explorando a motivação para estudar química. **Química Nova**, FapUNIFESP (SciELO), v. 23, n. 3, p. 401–404, jun. 2000. ISSN 0100-4042.
- CHEVALLARD, Yves. La transposición didáctica. **Del saber sabio al saber enseñado**, v. 3, 1991.
- CHEVALLARD, Yves. On didactic transposition theory: Some introductory notes. In: UNIVERSITY OF BIELEFELD, GERMANY, e UNIVERSITY OF BRATISLAVA, SLOVAKIA. PROCEEDINGS of the international symposium on selected domains of research and development in mathematics education. [S.l.: s.n.], 1989. v. 1, p. 51–62.
- COLE, Theron. Dalton, mixed gases, and the origin of the chemical atomic theory. **Ambix**, Taylor & Francis, v. 25, n. 2, p. 117–130, 1978.

DALTON, John. A New System of Chemical Philosophy. **Manchester : Printed by S, Russell, 125, Deansgate, FOR R. BICKERSTAFF, STRAND, LONDON,** v. I-II, n. 1, 1808.

DALTON, John. **Experimental enquiry into the proportion of the several gases or elastic fluids, constituting the atmosphere.** [S.l.]: S. Russell, Deansgate., 1805.

DALTON, John. III. On the absorption of gases by water and other liquids. **The Philosophical Magazine**, Taylor & Francis, v. 24, n. 93, p. 15–24, 1806.

FALEIRO, Amanda; ARNAUD, Anike. Comparando o Conteúdo de Modelos Atômicos em Livros Didáticos do PNLD 2018 e 2021. **Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 1, p. 284–304, 2025.

FARRAR, Kathleen R. Dalton's Scientific Apparatus. In: CARDWELL, Donald Stephen Lowell (ed.). **John Dalton and the Progress of Science: Papers Presented to a Conference of Historians of Science, Held in Manchester, 1966, to Mark the Bicentenary of Dalton's Birth.** [S.l.]: Manchester University Press, 1968. cap. 10, p. 159–186.

FERREIRA, Davi Souza; PEREIRA, Álvaro Itaúna Schalcher; JÚNIOR, Jaldyr de Jesus Gomes Varela; SILVA, Adilson Luís Pereira. MODELOS ATÔMICOS DALTON E THOMSON NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD 2018-2020: UM ESTUDO HISTÓRICO-CONCEITUAL. **PESQUISA EM FOCO**, v. 28, n. 1, 2023.

FUJII, Kiyohisa. The Berthollet-Proust Controversy and Dalton's Chemical Atomic Theory 1800–1820. **The British Journal for the History of Science**, Cambridge University Press, v. 19, n. 2, p. 177–200, 1986.

GRAPI-VILUMARA, Pere. The Reinvention of the Nitrous Gas Eudiometrical Test in the Context of Dalton's Law on the Multiple Proportions of Combination. **Substantia**, v. 4, n. 1, p. 51–61, 2020.

HENRY, W.C. **Memoirs of the Life and Scientific Researches of John Dalton.** [S.l.]: Cavendish Society, 1854. (Works of the Cavendish Society).

HENRY, William. **The Elements of Experimental Chemistry.** [S.l.]: London, Baldwin, 1826.

JOHNSTONE, Alex H. Science education: We know the answers, let's look at the problems. In: PROCEEDINGS of the 5th Greek Conference "Science education and new technologies in education. [S.l.: s.n.], 2007. v. 1, p. 1–11.

JOHNSTONE, Alex H. Teaching of chemistry-logical or psychological? **Chemistry Education Research and Practice**, Royal Society of Chemistry, v. 1, n. 1, p. 9–15, 2000.

JOHNSTONE, Alex H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of computer assisted learning**, Wiley Online Library, v. 7, n. 2, p. 75–83, 1991.

JOHNSTONE, Alex H. You can't get there from here. **Journal of chemical education**, ACS Publications, v. 87, n. 1, p. 22–29, 2010.

LEITE, Miriam; CANDAU, Vera. Yves Chevallard e o conceito de transposição didática. **Contribuições de Basil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar**. Rio de Janeiro: PUC, p. 45–73, 2004.

LEIVAS, José Carlos Pinto; CURY, Helena Noronha. Transposição didática: exemplos em educação matemática. **Educação Matemática em Revista-RS**, v. 1, n. 10, 2009.

LEME, Marcos Alberto Autuori. **Investigação das concepções de licenciandos em química sobre história da ciência**. 2008. Tese (Doutorado) – Dissertação de Mestrado-Universidade de São Paulo-USP. São Paulo.

LIMA, Rafaela Santos; BORTOLAI, Michele Marcelo; DUTRA-PEREIRA, Franklin Kaic. A Teoria da Transposição Didática em Publicações da Revista QNEsc. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 8, n. 1, p. 167–182, 2022.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Conhecimento escolar em química: processo de mediação didática da ciência. **Química nova**, SciELO Brasil, v. 20, p. 563–568, 1997.

MELLO, Luiz Adolfo de. A teoria da Transposição Didática de Chevallard, Izquierdo e de Mello (CHIM). **Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe**, 2019.

MILARÉ, Tathiane; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro; REZENDE, Daisy de Brito. Discutindo a química do ensino fundamental através da análise de um caderno escolar de ciências do nono ano. **Química Nova na Escola**, v. 36, n. 3, p. 231–240, 2014.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta; ROMANELLI, Lilavate Izapovitz. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química nova**, SciELO Brasil, v. 23, p. 273–283, 2000.

MOURA, Breno Arsioli. **Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência**. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA).

MOURA, Breno Arsioli; SILVA, Cibelle Celestino. Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Sociedade Brasileira de Historia da Ciencia, v. 7, n. 2, p. 336–348, abr. 2014. ISSN 2176-3275.

NERSESSIAN, Nancy. Constructing and Instructing The Role of Abstraction Teaching'in Creating and Learning Physics. **Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice**, p. 48–67, 1992.

NEWTON, Isaac. **The mathematical principles of natural philosophy**. [S.l.]: Phoemixx Classics Ebooks, 2021.

PIAGET, J. The Epistemology of Jean Piaget.[Film documentaire]. **Yale University Media Design Studio**. Disponível em: <https://youtu.be/UEoqByYS9XY>, 1977.

POZO, Juan I; CRESPO, Miguel Ángel Gómes. **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: Do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico**. [S.l.: s.n.], maio 2009.

ROCKE, Alan J. In Search of El Dorado: John Dalton and the Origins of the Atomic Theory. **Social Research**, The New School, v. 72, n. 1, p. 125–158, 2005. ISSN 0037783X.

ROSA, Marcelo Prado Amaral; CATELLI, Francisco; FENNER, Roniere dos Santos; PAULETTI, Fabiana. Penso, e todo o enigma do universo repassa-me...: Yves Chevallard e o ensino de química. **Prometeica. Revista de Filosofia y Ciencias [recurso eletrônico]**. Mar del Plata, Argentina. Ano 4, n. 10 (2015), p. 15-32, 2015.

ROSCOE, H.E.; HARDEN, A. **A New View of the Origin of Dalton's Atomic Theory: A Contribution to Chemical History, Together with Letters and Documents Concerning the Life and Labours of John Dalton, Now for the First Time Published from Manuscript in the Possession of the Literary and Philosophical Society of Manchester**. [S.l.]: Macmillan e Company, 1896. ISBN 9780598774491.

SANTOS, Kessia Leilícia Almeida. **Uma análise de livros didáticos sobre o modelo atômico de Dalton em relação à argumentação e ao uso da história da ciência**. 2023. Diss. (Mestrado) – UFBA - Universidade Federal da Bahia.

VIANA, Hélio Elael Bonini; PORTO, Paulo Alves. O processo de elaboração da teoria atômica de John Dalton. **Química nova na escola**, n. 21, p. 4–12, 2007.