

CÉSAR DE BARROS LOBATO

**MISTURAS E COMBINAÇÕES QUÍMICAS DOS GASES: ESTUDOS E
EXPLICAÇÕES ATÔMICAS DE JOHN DALTON (1766-1844)**

Dissertação de Mestrado: História da Ciência

PUC-SP

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CÉSAR DE BARROS LOBATO

**MISTURAS E COMBINAÇÕES QUÍMICAS DOS GASES: ESTUDOS E
EXPLICAÇÕES ATÔMICAS DE JOHN DALTON (1766-1844)**

Dissertação de mestrado apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para a obtenção do título de MESTRE em História da Ciência, sob a orientação da Professora Doutora Maria Helena Roxo Beltran.

PUC-SP

2007

BANCA EXAMINADORA

DEDICADO À Emília Martins de Barros, que apesar de não estar mais entre nós, suas virtudes e exemplos de garra e perseverança, para sempre morarão em nossos corações.

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação / tese por processos de fotocopiadoras ou eletrônicos.

Ass: _____ **Data:** ____/____/____

AGRADECIMENTOS

À Professora Maria Helena Roxo Beltran pela orientação e paciência com um estudante em História da Ciência.

À minha namorada Alessandra pela compreensão em relação às ausências e pelo apoio nos momentos de dificuldade.

À família e amigos pelos momentos de lazer que tornaram a caminhada mais interessante.

À CAPES pela ajuda financeira o que facilitou a realização de um sonho.

À Clarice e Luciana pela revisão cuidadosa do texto.

Aos professores e professoras do CESIMA pelo apoio e dedicação, importantes para minha formação em História da Ciência.

RESUMO

O propósito desta dissertação é analisar alguns aspectos da elaboração da teoria atômica de Dalton, focalizando especialmente a sua principal e mais extensa obra, *A new system of chemical philosophy*. Esse trabalho foi publicado em 1808, 1810 e 1827 principalmente com o intuito de divulgar a teoria atômica de Dalton e reafirmar seus fundamentos, bem como de apresentar respostas às objeções que alguns de seus contemporâneos levantaram a suas idéias.

Assim a primeira parte deste trabalho apresenta o *A new system of chemical philosophy* além de abordar quais as principais opiniões dos historiadores da ciência que trataram do surgimento da teoria atômica. A segunda parte, analisa razões que motivaram Dalton a propor a teoria atômica. E a terceira parte mostra como, ou a partir de quais pressupostos, Dalton propôs determinações de pesos, diâmetros e volumes atômicos.

ABSTRACT

The purpose of this essay is to analyze some aspects of the development of the atomic theory by Dalton, focusing his main and longest work. *A new system of chemical philosophy* was published in 1808, 1810 and 1827, with the aim of disclosing Dalton's atomic theory and reaffirming its basis as well as presenting some answers to the objections which some of his contemporaneous historians made about his ideas.

Thus, the first part of this work presents the *A new system of chemical philosophy*. Besides it discusses some opinions hold by historians of science concerning the uprising of Dalton's atomic theory. The second part, analyses some reasons which would leads Dalton to propose his atomic theory. Finally the third part shows how, or starting from which presupposed, Dalton proposed atomic weights, diameter and volume definitions.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO I – John Dalton e o “ <i>A new system of chemical philosophy</i> ”.....	13
CAPÍTULO II – A atmosfera, uma mistura ou uma combinação química?.....	32
CAPÍTULO III – Combinações químicas, alguns compostos de oxigênio, de nitrogênio e as determinações dos pesos e tamanhos dos átomos.....	71
CONCLUSÃO	100
BIBLIOGRAFIA	103

INTRODUÇÃO

Quando nos deparamos com a teoria atômica proposta nos trabalhos de John Dalton (1766-1844), no início do século XIX, surgem duas inevitáveis questões. A primeira delas faz referência às razões que motivaram Dalton a propor uma teoria atômica, determinando o peso e o tamanho dos átomos. O segundo questionamento faz alusão sobre o modo de determinação e aplicação do peso e do tamanho dos átomos, bem como, sua relação com alguns pressupostos teórico-filosóficos, que serviram de alicerce para referida teoria.

Na tentativa de responder tais questões, o presente trabalho pretende, no primeiro capítulo, apresentar a obra de John Dalton, principalmente *A new system of chemical philosophy*.

Com o intuito de entender o porquê Dalton propôs uma teoria atômica, ou então, o que o levou a atribuir pesos e tamanhos aos átomos, o segundo capítulo apresenta uma análise do debate entre Dalton e seus contemporâneos, a respeito

da constituição e interação dos corpos. Referido debate foi descrito no capítulo 2 do livro *A new system of chemical philosophy* .

O terceiro capítulo, faz referência à determinação e aplicabilidade do peso e do tamanho dos átomos, propostos por Dalton. Ao mesmo tempo, busca esclarecer quais os pressupostos teóricos e filosóficos que embasaram a teoria. Dessa forma, analisamos, parcialmente, os capítulos 2, 4 e 5 e, na íntegra, o capítulo 3 da obra *A new system of chemical philosophy* . Além disso, consideramos as idéias newtonianas de repulsão, a regra de máxima simplicidade e a natureza do contato entre os átomos, como pressupostos que embasaram sua teoria. Também, apresentamos como Dalton chegou à determinação de pesos e tamanhos atômicos, através da demonstração de alguns casos particulares de compostos de oxigênio e nitrogênio.

Capítulo 1 – John Dalton e o “*A new system of chemical philosophy*”

Muitas explicações têm sido atribuídas a respeito de como Dalton chegou a teoria atômica. Essa diversidade de explicações, inicialmente, deve-se à escassez de material, pois muita coisa foi queimada no período da Segunda Guerra Mundial. Por essa razão, os registros são freqüentemente fragmentados. Além disso, muitos desses registros não são datados. Há uma grande dificuldade em se atribuir uma data específica, uma vez que sua ordem não segue um parâmetro cronológico. Também, os relatos contraditórios de Dalton, sobre o emergir de sua teoria, junto ao lento processo de seu surgimento, corroboram com a diversidade de explicações.¹

Muitos historiadores da ciência, bem como, cientistas, em diversos momentos, tentaram explicar como Dalton chegou à teoria atômica. Como

exemplo, podemos citar T. Thomson em 1830, W. H. Henry em 1854, H. E. Roscoe e A. Harden em 1896, A. N. Meldrum em 1910 e 1911, Leonard K. Nash, em 1956, Henry Guerlac, A. W. Thackray, entre outros. Segundo Nash, o próprio Dalton desenvolveu diferentes teorias acerca de sua proposta, na qual apontava, pelo menos, três versões diferentes e contraditórias sobre o surgimento da teoria atômica.²

Entre tantas versões, algumas nos chamam a atenção. A versão defendida por Henry e, mais tarde, explorada por Guerlac, baseou-se na idéia de Dalton ter sido influenciado pelos trabalhos de J. B. Richter (1762-1807), publicados no período de 1791 a 1802. Referidos trabalhos originaram o termo 'estequiometria' e lideraram a doutrina dos equivalentes químicos. Segundo Guerlac, há a possibilidade de Dalton ter conhecido o trabalho de Richter através do *Essai de statistique chimique*, de Claude Louis Berthollet (1748-1822), publicado em 1803. Há muita divergência sobre a possível data em que Dalton teve contato com esse trabalho de Berthollet. A dúvida reside na questão de ter lido o original, publicado em 1803, em francês, ou a tradução para o inglês, ocorrida em 1804. Segundo alguns historiadores, a leitura do original pode tê-lo influenciado a propor os pesos atômicos. Se o contato com o trabalho foi através da tradução³, possivelmente há pouca, ou quase nenhuma, influência do trabalho de Richter no desenvolvimento de sua teoria atômica.⁴

¹ A. W. Thackray, "The emergence of Dalton's chemical atomic theory:1801-1808", p.1. Ver também L. K. Nash, "The origin of Dalton's chemical atomic theory", p.101.

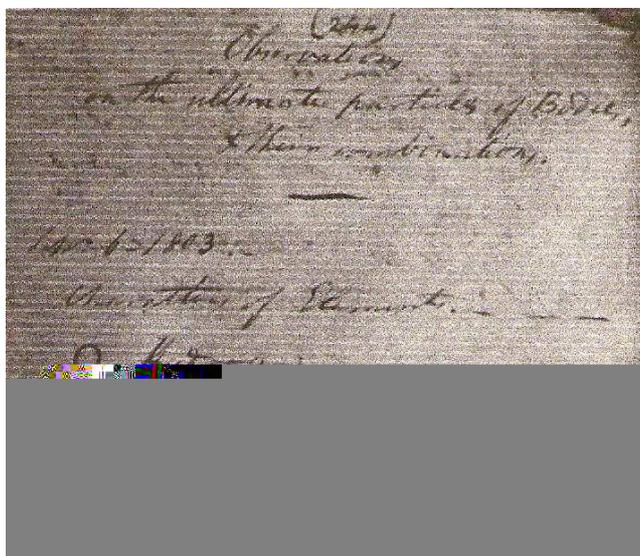
² L. K. Nash, *op.cit.*, p. 101.

³ Dalton em *A new system of chemical philosophy* se refere ao trabalho traduzido de Berthollet, ou seja, publicado em 1804, o que sugere que ele tenha lido a tradução e não o original em francês, Cf. J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 157.

⁴ H. Guerlac, "Some Daltonian Doubts", pp. 544-8.

Por outro lado, Thomson, afirmava que o surgimento da teoria atômica havia ocorrido graças aos trabalhos com as análises do eteno e do metano. Segundo Thomson, essas análises conduziram Dalton às leis das múltiplas proporções e, também, ao entendimento da existência de proporções de combinação entre os elementos, tendo o hidrogênio como unidade. No entanto, ainda conforme Nash, essa versão é inaceitável, pois os trabalhos de Dalton com metano e eteno não foram realizados antes de 1804 e sua primeira tabela de pesos atômicos foi esboçada em seu caderno de anotações no dia 6 de setembro de 1803:⁵

Figura 1 – Primeira representação dos átomos e seus pesos (Páginas 244, 248 e 249 do caderno de laboratório de Dalton)⁶



⁵ L. K. Nash, *op.cit.*, pp.101-2. Para ver a data da primeira tabela de pesos atômicos, esboçada em caderno de laboratório, ver: A. W. Thackray, "The origin of Dalton's chemical atomic theory: daltonian doubts resolved", p.55, e também H. E. Roscoe & A. Harden, *A new view of the origin of Dalton's atomic theory*, pp. 28-31.

⁶ H. E. Roscoe & A. Harden, *op. cit.*, pp. 26-31.

Handwritten notes on lined paper, possibly a ledger or account book. The text is written in cursive and includes the following entries:

Item	Amount
Receipt (200)	
Money	
Spent	
Expenses (Personal)	
Balance	
Amount	

On the right side of the page, there are circled numbers: (200), (500), and (600). Below these, there are some numbers: 4, 6, 6, 6.



Roscoe e Harden, em 1896, também publicaram uma versão interessante sobre o surgimento da teoria atômica. Segundo eles, Dalton, ao repensar a primeira teoria da difusão dos gases, considerou o efeito do tamanho das partículas, o que desencadeou a teoria atômica.⁷

Mas, essa tese pode ser considerada inconsistente, pois, também de acordo com Nash, Dalton não teria trabalhado questões referentes ao tamanho dos átomos antes de 14 de setembro de 1804, ou seja, um ano depois da primeira proposição dos pesos atômicos. Segundo Nash, Roscoe e Harden reconheceram a falha nessa tese.⁸

Meldrum, no começo do século XX, defendia que os trabalhos de Dalton, com os óxidos de nitrogênio, despertaram sua atenção e levaram-no a aplicar sua teoria física das partículas aos propósitos químicos. Meldrum afirmava que foi através da reflexão sobre as múltiplas proporções que Dalton chegou a teoria atômica.⁹

Uma outra versão, que nos chama a atenção, é a de Nash. Segundo ele, a determinação dos pesos atômicos surgiu da necessidade de se justificar, mecanicamente, as diferentes solubilidades dos gases na água e, então, defender seu ponto de vista mecânico da matéria.¹⁰

Entretanto, o que se pode perceber, a partir das versões sobre o surgimento da teoria atômica, é que ela poderia ser atribuída a fatos, como por

⁷ *Ibid.*, pp. 13-7.

⁸ L. K. Nash, *op. cit.*, pp.102-3. Em nossa análise do caderno de laboratório de Dalton, através do livro de Roscoe e Harden, identificamos que o tamanho dos átomos, apareceu pela primeira vez, esboçado em 14 de setembro de 1804, o que confirma a falha na teoria, Cf. H. E. Roscoe & A. Harden, *op. cit.*, pp. 64-5.

⁹ L. K. Nash, *op. cit.*, pp.103-8.

¹⁰ *Ibid.*, pp. 101-16.

exemplo, Dalton ter estudado os óxidos de nitrogênio. Ainda, há versões que justificam o aparecimento da teoria atômica, a partir de influências anteriores, acerca do método ou das bases teóricas que orientaram seu trabalho. É o caso de se atribuir sua origem a partir da química dos equivalentes de Richter. Além disso, há versões que justificam o surgimento da teoria atômica relacionada à necessidade de se defender um ponto de vista teórico, filosófico e mecanicista da matéria.

Pode-se considerar, entretanto, que a questão do surgimento da teoria atômica não possa ser justificada apenas, e, tão somente, por um simples fato, uma influência no método de trabalhar e pensar a química, ou, até mesmo, por causa da necessidade de se defender um ponto de vista mecânico da matéria. O aparecimento da teoria atômica, por ter sido um processo lento, que percorreu a primeira década do século XIX, é uma questão complexa.

Além disso, antes de se apontar prováveis motivos que levaram ao seu surgimento, faz-se necessária a definição dos limites do que seja essa teoria. Isso porque, por exemplo, o trabalho de Nash aponta, muito bem, os motivos que levaram Dalton a propor os pesos atômicos relativos, em 6 de setembro de 1803. No entanto, a teoria atômica não se restringe apenas a determinar os pesos relativos, mas também, entre outras coisas, a determinar os diâmetros relativos e os volumes dos átomos.

Acredita-se que haja uma divergência de opiniões, quanto ao surgimento da teoria atômica, devido à existência de teorias atômicas diferentes. A teoria atômica surgida em 1803, a que Nash se refere, é diferente da teoria atômica de 1804, mencionada por Roscoe e Harden . Assim sendo, nesta dissertação, para

tratarmos da questão do surgimento da teoria atômica, partimos do pressuposto de que a teoria atômica é aquela já amplamente divulgada e consolidada em 1810.

Na intenção de encontrar as possíveis respostas sobre como Dalton chegou a sua teoria atômica e, por considerarmos esse questionamento complexo, dividimos nossa análise em duas partes. Em primeiro lugar, procuramos considerar o que levou Dalton a pensar nos átomos e, num segundo momento, buscamos investigar como ou a partir de quais pressupostos Dalton se baseou na elaboração de teoria. Dessa forma, na tentativa de responder tais indagações, nosso trabalho tem como guia a obra original do próprio autor sobre a teoria atômica. Além disso, baseamo-nos em fontes secundárias de historiadores da ciência que comentam sobre o nascimento dessa teoria.

Figura 2 – Retrato e assinatura de John Dalton (1766-1844)¹¹



John Dalton

¹¹ Foto retirada da capa do livro de A. L. Smyth, *John Dalton 1766-1844 – A bibliography of works by and about him with an annotated list of his surviving apparatus and personal effects* ; assinatura

Nada melhor do que um retrato como esse para representar os mais de cinquenta anos de trabalho de John Dalton dedicados à ciência, pois, nesta figura, constam dois símbolos do seu trabalho. O primeiro, ao fundo, sobre a mesa, é um equipamento semelhante a um eudiômetro, aparelho utilizado para fazer a combinação e decomposição dos gases que, na época, era muito utilizado por Dalton em seus estudos sobre interações entre os gases. O segundo, mais à frente desse aparelho e, também, sobre a mesa, é o papel com a representação dos átomos, símbolo de todo um trabalho dedicado à teoria atômica.

Essa representação dos átomos, explorada nas duas próximas figuras, é o resultado de seu trabalho do início do século XIX, descrito na sua principal obra o *A new system of chemical philosophy*.

Figura 3 – Representação dos átomos simples e seus pesos atômicos¹²

retirada de carta de John Dalton endereçada ao Maj. Emmet e escrita no dia 13 de Fevereiro de 1836.

¹² J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 546 (anexo).

Simple

Plate 2



Fig.	Simple.	Wt.	Fig.	Wt.
1.	Oxygen	7	12.	Iron



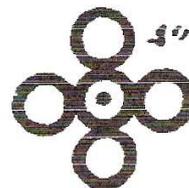
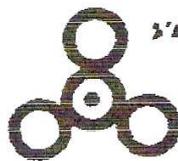
Fig.		Wt.
23.	Tungsten	56 ?
24.	Titanium	40 ?
25.	Cerium	45 ?
26.	Potash	42
27.	Soda	28



Figura 4 – Representação dos átomos compostos e seus pesos atômicos¹³

¹³ *Ibid.*, pp. 546-7 (anexo). Essa figura representa apenas parte do trabalho de Dalton com os átomos compostos, publicado em 1810.

Compound
Oxygen with Hydrogen



Oxygen with Hydrogen

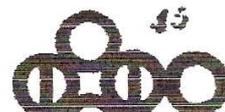


Fig.		Wt.
41.	Nitrous gas	12
42.	Nitrous oxide	17
43.	Nitric acid	19
44.	Oxynitric acid	21



Pode-se notar, a partir das duas figuras anteriores, que Dalton criou representações diferentes para cada tipo de átomo e, também, inferiu seus pesos relativos para diferenciá-los.¹⁴ Mas, o que o teria levado a propor tais representações? Como obteve referidos resultados? São essas as perguntas que nos motivaram a escrita deste trabalho. Logo, a obra *A new system of chemical philosophy*, por ser um resumo do principal período (1801-1810) do percurso de investigações de John Dalton, serviu de base ao nosso estudo, uma vez que é considerada seu principal trabalho.

Foram publicadas, em maio de 1808, a parte I, num total de 220 páginas e, em novembro de 1810, a parte II com 340 páginas. Tais publicações compuseram o primeiro volume do *A new system of chemical philosophy* :

Figura 5 – Página de rosto do livro *A new system of chemical philosophy* Parte I (1808)

¹⁴ *Ibid.*, pp. 218-20; 546-7 (anexos).

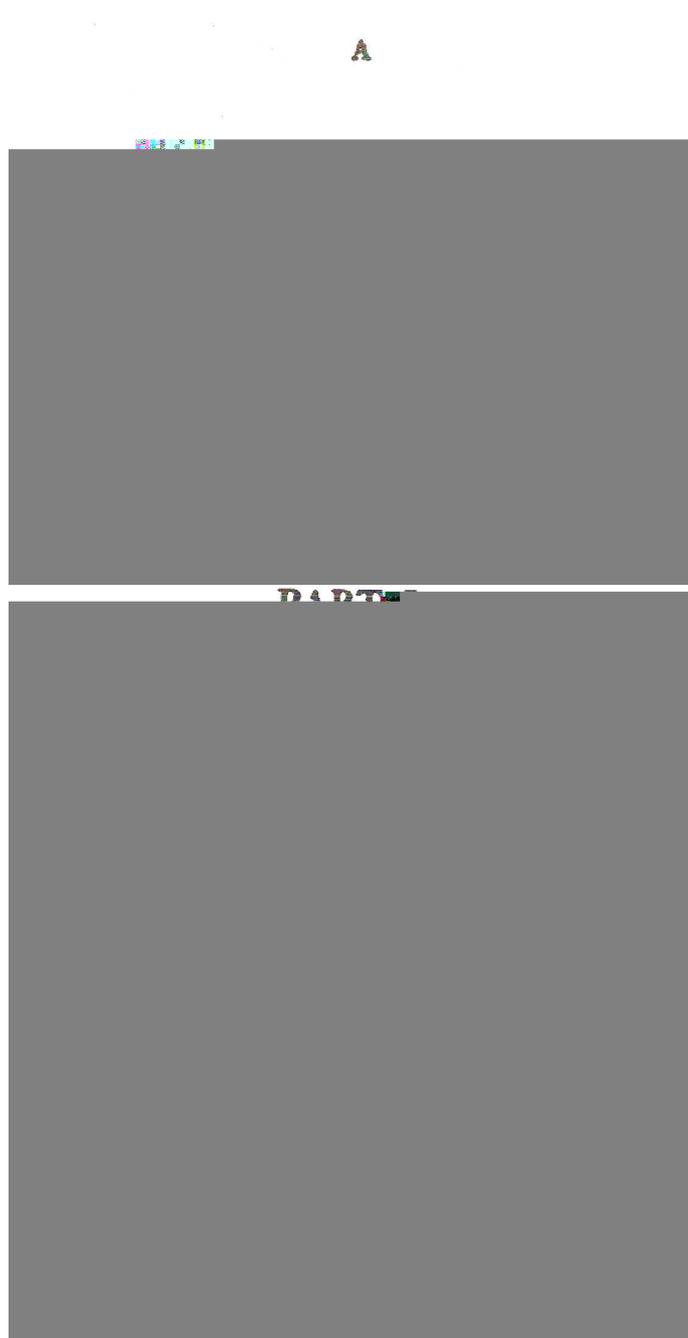
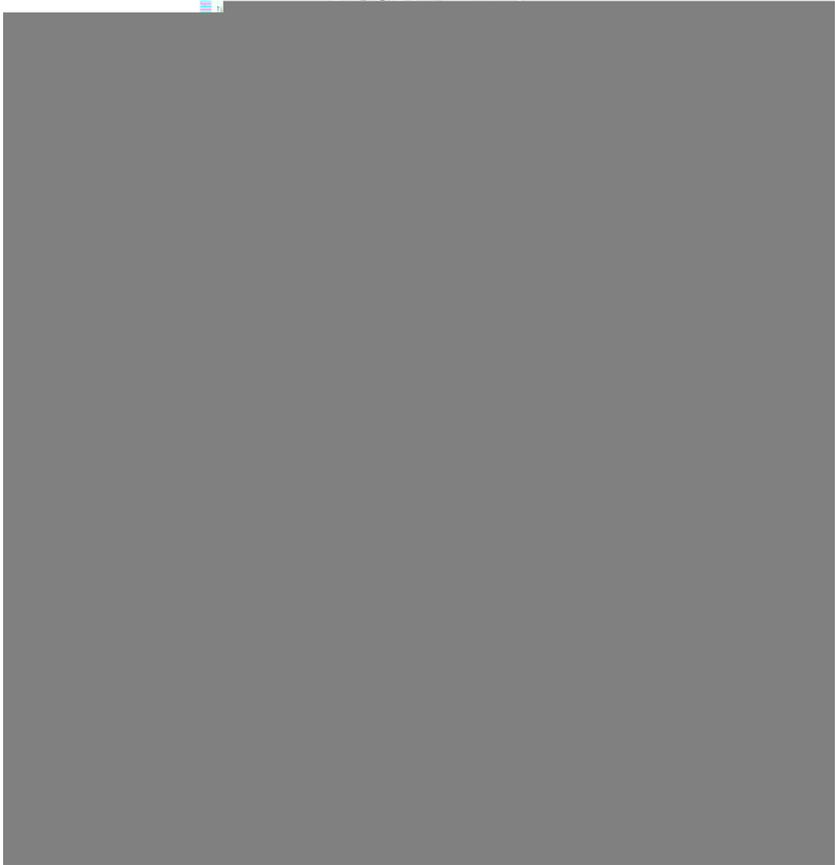


Figura 6 – Página de rosto do livro *A new system of chemical philosophy* Parte II (1810)

A
NEW SYSTEM
OF
CHEMICAL PHILOSOPHY.

PART II.



O primeiro capítulo do *A new system of chemical philosophy* trata de questões relacionadas ao calor, tais como: métodos e instrumentos para medir o

calor, a expansão dos corpos pela ação do calor, o calor específico dos corpos e dos fluídos elásticos, a quantidade de calor envolvida na combustão, o zero absoluto ou a total ausência do calor, o movimento do calor que surge da diferença de temperatura, a temperatura da atmosfera e o congelamento da água. Por não ser o foco do nosso trabalho, não pretendemos explorar tais questões do primeiro capítulo, apesar do calor ser abordado durante a dissertação.

Nos capítulos dois e três, Dalton refere-se, principalmente, à constituição atômica dos corpos e das sínteses químicas. Trata da constituição dos gases puros, dos gases misturados, dos líquidos e das relações mecânicas entre líquidos e gases, da constituição dos sólidos e de como os elementos se combinam entre si, sintetizando as substâncias. Nesse sentido, para discorrer sobre a constituição atômica dos corpos e das sínteses químicas, Dalton fez alusões às principais idéias discutidas no começo do século XIX. Idéias como as de afinidade química, tipos de interações entre as substâncias (interação física orientada por leis mecânicas e interação química orientada pelas afinidades químicas), a forma de interação entre os gases, a solubilidade dos gases em água, a absorção do vapor de água pelos gases, o átomo, o peso dos átomos, o contato entre os átomos, a forma de combinação entre os átomos, e sobre as proporções de combinação dos átomos (proporções indefinidas e múltiplas proporções).

Nos dois primeiros capítulos desse trabalho, Dalton retomou questões já apontadas em seus trabalhos anteriores, tais como a solubilidade dos gases em água, que se relaciona a seu trabalho de 1803, e a

seus contemporâneos, contrapondo-as e argumentando ora em seu favor, ora não. Ao contrapor suas idéias com as de outros , de acordo com as novas descobertas, às vezes mudava de opinião e escolhia o discurso mais conveniente. Podemos perceber isso com muita clareza em seu texto, pois em diversos momentos, abre mão de seu ponto de vista em função da opinião e resultados de outros.

Dalton escreveu de maneira hierarquizada e muito organizada. Um exemplo disso é a própria ordem dos capítulos que, inicialmente, trata dos pressupostos teóricos e filosóficos, a base para a formulação da teoria atômica.

No capítulo 4, descreveu os elementos químicos, aplicando sua teoria previamente discutida, inferindo o peso e tamanho dos átomos elementares, a saber: oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, carbono, enxofre, fósforo e metais, respectivamente. No capítulo 5, tratou dos compostos formados por dois elementos, determinando o tamanho e o peso das partículas desses compostos, permutando as possíveis combinações entre eles.

Por ter apresentado um texto que resume idéias, resultados e discussões, esse primeiro volume é um importante documento para o estudo da teoria atômica de Dalton, o principal original estudado para a produção desta dissertação.

Nesse sentido, abordamos, inicialmente, o capítulo 2 do *A new system of chemical philosophy*, que se refere à constituição atômica dos sólidos, líquidos, gases e de como acontecem as interações (o contato) entre eles. Na tentativa de explicar tais interações, Dalton distinguiu os principais pontos de vista (mecânico e químico) sobre como elas ocorrem. Para isso, utilizou como estratégia o relato das críticas que contemporâneos, em especial, homens como Dr. Thomson, Dr.

Henry, Mr. Gough, Mr. Berthollet e Mr. Murray¹⁵, fizeram a sua teoria da mistura dos gases proposta em 1801. Nesse capítulo, ao pontuar e rebater as críticas e também baseado em novos dados experimentais, Dalton construiu uma teoria atômica que justificava o comportamento da matéria. Priorizamos esse segundo capítulo porque nos forneceu todo um relato teórico de Dalton e seus contemporâneos. Através dele, pudemos identificar as bases de defesa de seu ponto de vista mecânico, acerca do comportamento da matéria.

As discussões teóricas giram em torno de uma questão que é a forma de contato entre as substâncias (misturas e combinações químicas). Aqui, é importante salientar que esta dissertação utiliza como fonte de informação, sobre o debate de Dalton e seus contemporâneos, apenas as fontes primárias produzidas por Dalton.

Além do segundo capítulo, voltamos nossa atenção ao capítulo 3 do *A new system of chemical philosophy*. Referido capítulo aborda as sínteses químicas, onde Dalton descreveu o pressuposto teórico que servia de orientação ao raciocínio, cuja finalidade era entender as combinações químicas. Esse pressuposto chama-se regra de máxima simplicidade, a qual analisaremos mais adiante.

Depois de fornecer as bases para a proposição de sua teoria, Dalton a aplicou, no capítulo 4, para os principais elementos e, no capítulo 5, para os principais compostos de dois elementos, através do cálculo do peso e tamanho dos átomos. Esta dissertação aborda apenas alguns compostos de nitrogênio e

¹⁵ Dr. Thomson, Dr. Henry, Mr. Gough, Mr. Berthollet e Mr. Murray era a forma como Dalton se referia em seus textos, aos distintos Thomas Thomson (1773-1852), William Henry (1774-1836),

oxigênio, a fim de demonstrar a aplicação de tal teoria segundo a perspectiva presente na obra *A new system of chemical philosophy*.

Dessa forma, tendo como base, as argumentações de Dalton em sua obra *A new system of chemical philosophy*, detalharemos a seguir, algumas idéias de Dalton sobre misturas de gases e, depois, sobre suas combinações, procurando identificar alguns de seus pressupostos, e reflexões que o levaram a elaborar sua teoria atômica, apresentada nesta publicação.

**CAPÍTULO 2 – A ATMOSFERA, UMA MISTURA OU UMA COMBINAÇÃO
QUÍMICA?**

Como já destacado no capítulo 1, o presente capítulo pretende a partir do capítulo 2 do *A new system of chemical philosophy*, demonstrar os motivos que levaram Dalton a pensar em propor uma teoria atômica. Para tanto, pretende-se no decorrer desse capítulo, evidenciar alguns aspectos dessa trajetória. Os principais aspectos destacados por nós nesse capítulo são: o interesse de Dalton pela meteorologia; a leitura que Dalton fez da obra de Newton; o diálogo das teorias mecânicas e químicas; a proposição de Dalton sobre como acontece o contato entre os gases; as críticas dos contemporâneos a essa teoria do contato dos gases; a interação ou o diálogo de Dalton e Henry contribuindo de certa forma para a proposição dos pesos atômicos; e por fim, o diálogo de Dalton com Berthollet sobre a teoria das afinidades e das combinações em proporções indefinidas, evidenciando as diferenças entre combinação química e mistura e de certa forma, levando Dalton a intuir o tamanho dos átomos.

Em seus estudos meteorológicos, John Dalton procurou investigar as muitas variáveis envolvidas, tais como calor, umidade, temperatura, ventos, a difusão dos gases na atmosfera e sua composição, etc. Assim, os estudos dos gases oxigênio, nitrogênio – principais constituintes da atmosfera – e seus compostos ocuparam um lugar privilegiado dentro dos assuntos de interesse de Dalton.

Olhando para os textos de Dalton, percebemos que, na busca de esclarecer o comportamento, a composição da atmosfera e a maneira pela qual se dava o contato entre seus constituintes, algumas questões centrais eram alvo de seu interesse; como por exemplo: oxigênio e nitrogênio formariam uma mistura ou se combinariam quimicamente? Aliás, qual seria a diferença entre combinação química e mistura? E, se os gases da atmosfera formavam uma mistura, então por que não se combinavam quimicamente? Ou melhor, por que certos gases quando colocados juntos, a combinação química ocorria de maneira evidente e em outros casos não? O que evidenciaria a ocorrência ou não de uma combinação química entre gases?

Na busca de explicações para tais questões, Dalton em 1801, apresentou para a Sociedade Filosófica de Manchester o seu *Experimental essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat*, no qual propôs uma teoria sobre a mistura dos gases.¹⁶

¹⁶ Esse ensaio foi lido em 1801, mas publicado em 1802 no volume 5 do Manchester Memoirs da página 535 à 603.

De acordo com o registro de Dalton nesse artigo, dois tipos de explicações foram utilizadas para justificar o contato entre os gases, as quais eram predominantemente mecânicas ou então químicas. O debate entre essas duas correntes foi um dos principais assuntos relatados no capítulo 2 do *A new system of chemical philosophy*.¹⁷

Em seu *Experimental essays On the constitution of mixed gases...*, Dalton afirmou que conforme as explicações mecânicas, não ocorreria uma combinação química e os gases seriam apenas misturados fisicamente. Já as explicações químicas admitiam que, no contato entre dois ou mais gases, a combinação química sempre acontecia pela afinidade química entre eles.¹⁸

Essa segunda explicação, de acordo com Dalton, podia muito bem ser evidenciada ao se misturar o gás do ácido clorídrico com o gás da amônia. O resultado seria uma substância sólida, fruto da combinação entre os gases e com características completamente diferentes dos reagentes iniciais. O mesmo acontecia quando eram misturados o gás da amônia com o vapor de água, o que formava um líquido com características completamente distintas ou até mesmo

¹⁷ Vale lembrar que o *A new system of chemical philosophy* é o principal documento, mas não é o único original abordado por nós na dissertação. Pois, pelo fato dele ser um resumo de um período de produção acadêmica, em alguns momentos, sentimos a necessidade de buscar em outras fontes, detalhes referentes a determinados assuntos. Um exemplo disso é quando abordamos as reflexões de Dalton acerca das explicações mecânicas e químicas para o contato entre os gases. Tivemos que lançar mão do original *Experimental essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat*, devido ao seu melhor detalhamento acerca dessa discussão.

¹⁸ J. Dalton, “*Experimental essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat*”, pp. 538-9.

quando misturados, gás nitroso com oxigênio formando [gás do] ácido nítrico que é um gás com características diferentes.¹⁹

No entanto, esse tipo de explicação, por afinidade química, conforme Dalton, não conseguia dar conta de explicar todos os fenômenos de mistura dos gases. Tais observações em que acontecia reação espontânea, eram restritas a poucos casos. Em muitas misturas de gases – nitrogênio e oxigênio por exemplo²⁰ – não eram detectadas quaisquer modificações das características dos gases misturados. Dessa maneira, não havia qualquer sinal de combinação por afinidade química.²¹

De acordo com Dalton, em seu original de 1801, quando ocorria uma reação química, esta era evidenciada através de alguns sinais. Estes sinais eram a mudança de estado físico, de volume, de densidade, de temperatura, de características sensíveis (cheiro, cor...), reatividade do produto formado (o produto formado reage de maneira diferente com outras substâncias ou compostos do que os gases iniciais antes da combinação), etc.²²

Então, fica-nos uma pergunta: nos casos onde a combinação química entre os gases não acontecia, como era o contato entre eles ou como se misturavam e se arranjavam? Imagina-se que, nesses casos, seria natural que os gases se

¹⁹ *Ibid.*, pp. 542-3.

²⁰ O oxigênio e o nitrogênio quando misturados em qualquer proporção, são inertes um ao outro não se convertendo em coisa alguma. No entanto, se colocados dentro de um recipiente e uma centelha elétrica entrar em contato com os gases, a reação ocorre formando outra substância, ou seja, a reação não é espontânea.

²¹ J. Dalton, “ Experimental essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat”, pp. 542-3.

²² *Ibid.*, pp. 542-3.

arranjassem de acordo com a sua densidade específica, assim como os líquidos , água e óleo.

De acordo com Dalton, Dr. Priestley com surpresa, foi um dos primeiros a notar que dois fluídos elásticos, não tendo afinidade química um pelo outro, quando misturados, mesmo com diferentes densidades, não se arranjavam em camadas de acordo com as suas densidades específicas.²³

Nesse sentido, o fato dos gases, quando não combinados quimicamente, não se arranjam, conforme as suas densidades específicas, era um problema para as possibilidades de explicações físicas e mecânicas da mistura dos gases. Isso favorecia as explicações químicas, que justificavam a mistura dos gases pelas afinidades entre eles. Segundo Dalton, para os adeptos das afinidades, quando dois gases entravam em contato, mas a combinação não era evidenciada, mesmo assim a combinação química ocorria. O comportamento uniforme da mistura era uma forte justificativa a favor das hipóteses químicas.

No entanto, Dalton levando em conta idéias de Newton, criticava a teoria das afinidades – adotada por muitos na época. Afirmava que o sistema de afinidades não explicava a mistura de gases e vapor de água²⁴:

Em relação à solução da água no ar, era natural supor, até mesmo sem a ajuda do experimento, que diferentes gases teriam diferentes afinidades pelo vapor de água, e que as quantidades de água dissolvidas, em iguais circunstâncias, teriam variado de acordo com a natureza do gás. Entretanto, Saussure constatou que não havia diferença a esse respeito na força dos solventes ácido carbônico [nosso gás carbônico], gás hidrogênio e ar comum. [...] Esses fatos são suficientes para

²³ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 150-1

²⁴ *Ibid.*, pp. 143,168 e também R. S. Fleming, “Newton, gases, and Daltonian chemistry”, pp. 567-70.

criar extrema dificuldade na concepção de como qualquer princípio de afinidade e coesão entre ar e vapor de água pode estar agindo.²⁵

A mistura dos gases sem a combinação por afinidade química, segundo Dalton, correspondia a boa parte dos fenômenos de mistura dos gases. Essa idéia repercutiu na obra de 1801. Dalton, influenciado pela proposição 23 do livro 2 dos *Principia* de Newton, explorou, inicialmente, quatro possíveis hipóteses que podiam justificar a difusão dos gases quando do contato entre eles.²⁶

Na primeira hipótese de interação dos gases, baseado no sistema newtoniano de repulsão de partículas, Dalton afirmava que, na mistura de gases, as partículas de um deles repeliam aquelas do outro, com a mesma força como as partículas do seu próprio tipo. Essa hipótese, segundo Dalton, não podia corresponder à realidade porque, caso isso acontecesse entre gases de densidades muito diferentes, a densidade influenciaria o posicionamento dos gases dentro de um recipiente, os mais leves permaneceriam na parte superior e os mais pesados embaixo.²⁷ Dalton acreditava que, nesses casos onde as forças de repulsão entre as partículas dos gases diferentes se anulavam, não influenciava o posicionamento das partículas no recipiente. A densidade era o fator que prevalecia para o posicionamento dos gases no recipiente, como água e óleo. Dalton apontava a falha dessa hipótese pois, conforme a experiência ocorrida na época, mesmo para gases de densidades muito diferentes, como

²⁵ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 152-3

²⁶ J. Dalton, “ Experimental essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat”, pp. 538-44.

²⁷ *Ibid.*, pp. 541-2.

hidrogênio e gás carbônico, havia uma difusão dos gases um no outro. Não ocorria uma separação em fases devido a densidades diferenciadas.

Na segunda hipótese de interação dos gases, baseado no sistema newtoniano de repulsão de partículas, Dalton dizia que, na mistura de gases, as partículas de um gás repeliam aquelas do outro com forças maior ou menor do que as do seu próprio tipo. Referida hipótese, não correspondia à realidade porque, caso isso acontecesse entre gases de densidades muito diferentes, a densidade influenciava o posicionamento dos gases dentro de um recipiente. Os mais leves ficavam em cima e os mais pesados embaixo. Segundo Dalton, apresentava-se inconsistente assim como a hipótese anterior.²⁸

Na terceira hipótese, as partículas de um gás podiam ter uma afinidade química ou atração por aquelas de outro tipo, formando uma substância diferente das anteriores. Segundo Dalton, vários fatos na química corroboravam com essa hipótese. É o caso da mistura entre oxigênio e gás nitroso, na formação do ácido nítrico (nosso NO_2). Mas, há outros casos de mistura entre gases em que nada acontecia, como exemplo, a mistura oxigênio e nitrogênio. Nesse caso, segundo Dalton, a terceira hipótese falhava da mesma forma que as duas hipóteses anteriores.²⁹

Em relação a quarta hipótese, Dalton afirmava que, na mistura de gases, as partículas de um gás repeliam apenas as do seu próprio tipo e não possuíam forças de atração ou de repulsão em relação ao outro gás. Em outras palavras, um gás era inelástico com relação às partículas do outro. Além disso, garantia que,

²⁸ *Ibid.*, p. 542.

²⁹ *Ibid.*, pp. 542-3.

como conseqüência de um gás ser inelástico em relação ao outro, eles agiam como se fossem vácuo um para o outro. E que as partículas do tipo “A”, suportavam o peso apenas das partículas do seu próprio tipo e não o peso das partículas do tipo “B”.³⁰ Essa hipótese, segundo Dalton, dava conta de explicar os fenômenos do contato entre os gases, pois justificava a mistura e a uniformidade da interação entre eles.³¹ No entanto, contemplava apenas os casos onde a combinação química não ocorria. Já nos casos em que a combinação química acontecia, a melhor hipótese que explicava o fenômeno era a terceira, que se referia à afinidade química.³²

Após a análise das quatro possibilidades de interação das partículas no contato entre gases, Dalton concluiu que a primeira e a segunda hipóteses não correspondiam à realidade. Se houvesse forças de repulsão entre gases com diferentes densidades, eles se arranjariam conforme as suas respectivas densidades. Já a terceira hipótese correspondia apenas a uma parcela dos fenômenos de combinação química. Não podia ser estendida, por exemplo, ao contato de nitrogênio e oxigênio na formação da atmosfera. Dessa maneira, concluiu que para justificar as misturas entre gases onde não ocorria a combinação química, o único caminho, seria conforme a quarta hipótese³³:

Essas e outras considerações que me ocorreram alguns anos atrás, foram suficientes para me fazer abandonar totalmente a hipótese do ar dissolvendo água, e explicar o

³⁰ Nossa lei das pressões parciais

³¹ Mais adiante essa teoria da mistura dos gases conforme a quarta hipótese será melhor explorada

³² J. Dalton, “ Experimental essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat”, pp. 542-4.

³³ *Ibid.*, pp. 541-4.

fenômeno de outra forma, ou reconhecer que eles eram inexplicáveis. No outono de 1801, eu insisti numa idéia que parecia ser exatamente calculada para explicar o fenômeno do vapor; [...] A distinção característica da nova teoria [1^o teoria da mistura dos gases]³⁴ era que as partículas de um gás não são elásticas ou repulsivas em relação às partículas de um outro gás, mas, somente, em relação às partículas do seu próprio tipo. Conseqüentemente, quando um vaso contém uma mistura de dois fluídos elásticos, cada um age independentemente sobre o vaso, com a sua própria elasticidade, como se o outro estivesse ausente, enquanto nenhuma ação mútua entre eles é observada.³⁵

Aqui é importante deixar claro que, posteriormente no seu *A new system of chemical philosophy*, Dalton não discutiu as quatro hipóteses para explicar a interação entre os gases. Ele tomou essa discussão como encerrada e enfocou, principalmente, a questão das hipóteses químicas versus hipóteses mecânicas para justificar o comportamento dos gases. Na sua obra máxima, descreveu seu diálogo com seus contemporâneos que não aceitavam sua interpretação mecânica da mistura dos gases. Dalton, demonstrou que pensava ter sido mal interpretado, que não tinha sido suficientemente claro e muito conciso nas suas afirmações. Então, retomou as críticas de seus contemporâneos a fim de convencê-los de suas idéias. Referido diálogo, exposto a partir do ponto de vista de Dalton, foi sumariamente registrado em sua obra. Os principais protagonistas desse diálogo relatado no *A new system of chemical philosophy* foram Dr. Thomson, Dr. Henry, Mr. Gough, Mr. Berthollet e Mr. Murray.³⁶

³⁴ Os historiadores da ciência chamam a teoria de 1801 de a primeira teoria da mistura dos gases. Essa denominação não era reconhecida por Dalton na época. Assim a chamam, por ser a primeira das duas teorias da mistura dos gases de Dalton. Cf. A. Thackray, "The emergence of Dalton's chemical atomic theory: 1801-08", pp. 06-19

³⁵ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 153-4.

³⁶ *Ibid.*, pp. 155-7.

De acordo com Dalton, o primeiro que criticou publicamente sua teoria da mistura dos gases foi Dr. Thomson³⁷, que argumentava, em primeiro lugar, que o gás não possuía forças de repulsão nem atração pelo outro gás, não mudava a sua distribuição em camadas conforme as densidades específicas. Além disso, que a teoria de Dalton não esclarecia a distribuição homogênea dos gases e, também, que sua explicação foi uma dedução, um artifício não baseado na experiência, ou seja, uma adaptação para obter a uniformidade e a difusão permanente dos gases.³⁸

Conforme consta no *A new system of chemical philosophy*, Thomson também criticou o fato de Dalton ter dito que os gases eram como vácuo um para o outro. Afirmou que, se assim fosse, quando colocadas 1 medida do gás “A” com 1 medida do gás “B”, o resultado deveria ser 1 medida do gás “AB” e não 2 medidas de “AB” como demonstrava a experiência.³⁹

Isso se torna mais claro quando pensamos que uma medida do gás “A” ocupa justamente a sua medida quando colocada no vácuo. Então, se misturarmos essa sua medida 1 “A” em 1 “B”, que é um vácuo para 1 “A”, o resultado deveria ser justamente a sua medida, ou seja, 1 medida de “AB” e não 2 medidas de “AB”.

³⁷ Apesar de Thomson ter sido um grande crítico, posteriormente ele foi um grande divulgador do trabalho de Dalton.

³⁸ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 156.

³⁹ *Ibid.*, p. 156. De acordo com Dalton, essa explicação de que um gás era como se fosse um vácuo para o outro gás, criava um outro problema: o fato da experiência revelar um considerável esforço e tempo por parte do hidrogênio, para descer e se misturar ao gás carbônico. Isso comprova justamente o contrário, ou seja, que um gás não é um vácuo para outro gás, pois, no vácuo a distribuição do gás no recipiente acontece de forma rápida e sem nenhum esforço, o que reforça a crítica de Thomson à teoria de Dalton, Cf. *Ibid.*, pp. 163, 172-6.

Ao perceber que sua teoria tinha sido mal interpretada, Dalton procurou elucidá-la em seu *New theory of the constitution of mixed gases elucidated*, publicado em 1802 no 3ºd. Vol. do *Nicholson's Journal* e também no volume 14 do *Philosophical Magazine*. Nesse artigo, Dalton se esforçou para evidenciar as condições da mistura dos gases e tocou sobre a questão das partículas do gás "A" repelirem apenas as de seu próprio tipo e serem indiferentes às de outro tipo "B". Para justificar, baseou-se em forças parecidas com as magnéticas que agiam entre partículas do mesmo gás e causavam a repulsão e não se manifestavam entre partículas de gases diferentes, o que ocasionava a indiferença entre elas.⁴⁰ Aqui fica claro que, para Dalton, um gás não era vácuo para outro, mas, se comportava de maneira indiferente ao outro gás.

No *A new system of chemical philosophy* há o relato da crítica de William Henry em relação à primeira teoria da mistura dos gases de Dalton. No entanto, segundo Dalton, com o desenvolvimento dos seus trabalhos em solubilidade dos gases na água, Henry percebeu que a solubilidade variava de acordo com a pressão, ou seja, ao duplicar a pressão, a solubilidade do gás duplicava. Essa regra, que valia para um gás sozinho, valia também para a mistura dos gases.⁴¹ Ou seja, por exemplo, ao tomar uma certa quantidade de ar atmosférico, colocá-lo em contato com a água dentro de um recipiente, onde o espaço para o ar fosse de 2 unidades de volume. Nesse caso, a solubilidade do nitrogênio na água seria X e a do oxigênio seria Y. Ao diminuir o espaço útil para 1 unidade de volume, ou seja, duplicando a pressão, as solubilidades tanto do oxigênio quanto do nitrogênio

⁴⁰ *Ibid.*, pp. 156-7 e também J. Dalton, "New theory of the constitution of mixed gases elucidated", pp. 170-1

também duplicariam. Henry percebeu que o contrário também acontecia e ao aumentar o espaço útil de 2 unidades de volume para 4 unidades de volume , diminuindo pela metade a pressão, as solubilidades dos dois gases também eram reduzidas à metade.

Essa experiência corrobora a teoria de Dalton, pois os gases na mistura gasosa ocupavam todo o recipiente e permaneciam indiferentes uns aos outros. Ao variar os volumes, para mais ou para menos, ainda assim, os gases ocupavam todo o recipiente. Isso prova que, tanto numa situação de maior volume quanto em outra de menor volume, os dois gases estavam ocupando todo o espaço do recipiente, pois a variação do volume estava refletida, proporcionalmente, nas solubilidades dos gases.

Diante disso, Dalton descreveu que Henry se convenceu de que não havia uma teoria melhor do que a dele para explicar a mistura de gases. Ainda segundo Dalton, Henry publica no 8th Vol. do *Nicholson's Journal*, uma carta endereçada a ele, onde claramente muda de opinião e apóia sua teoria.⁴²

De acordo com o *A new system of chemical philosophy*, em resposta a essa carta, Mr. Gough, no 9th Vol. do *Nicholson's Journal*, criticava o apoio de Henry a Dalton. Essa crítica estava relacionada à visão de que os experimentos de Henry forneciam uma explicação mecânica⁴³ para o fenômeno da solubilidade dos gases no vapor de água. Dalton afirmava que Gough não acreditava nas explicações de ordem mecânica para as relações entre ar e vapor, mas, sim, nas químicas (por

⁴¹ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 182; 200-2.

⁴² *Ibid.*, p. 183.

afinidades). Então, baseado em observações de fenômenos higroscópicos, tal como ar absorvendo umidade de corpos em certos casos e em outros restaurando a umidade, Gough demonstrava que o ar tinha uma afinidade química pela água e que a relação entre água e ar se dava não de maneira mecânica mas, de maneira química.⁴⁴

De acordo com Dalton, Gough tinha esse pensamento, porque percebeu que essa afinidade do ar pela água competia com a afinidade que outros corpos tinham pela mesma. Assim sendo, observava experimentalmente que ao colocar num recipiente fechado ar seco com um corpo X que estivesse úmido, esse corpo X, perdia a sua umidade para o ar que, por sua vez ficava úmido, evidenciando uma maior afinidade química do ar pela água, do que do corpo X pela água. Gough também observava o contrário, ou seja, ao colocar ar úmido com um corpo Y, esse corpo Y – tendo maior afinidade química pela água do que o ar – absorvia toda a umidade desse ar, deixando-o seco.⁴⁵

Podemos perceber, a partir do *A new system of chemical philosophy* que Dalton sugeria que as idéias de Gough seriam parciais, pois, ele não enfocava a relação vapor de água-gases, mas se remetia a uma outra relação (corpo úmido cheio de vapor de água – gases). Nessa relação, Gough assinalava para uma afinidade química competindo entre o corpo úmido e o ar, ou seja, uma situação diferente da questionada por Dalton. Aliás, o diálogo entre os químicos protagonistas é evidentemente direcionado para as questões consideradas

⁴³ Explicação mecânica porque Henry justifica as variações de solubilidade dos gases na água, por fatores físico-mecânicos, ou seja, pela temperatura e pressão que aumentam ou diminuem o contato mecânico entre eles.

⁴⁴ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 184.

interessantes de acordo com a perspectiva defendida por cada um deles. Podemos verificar isso no decorrer de toda a trajetória do diálogo Dalton e sua teoria mecânica versus outros químicos e, também, nas teorias das afinidades, a serem relatadas mais adiante.

De acordo com Dalton, Gough no 8th, 9th e 10th Vol. do *Nicholson's Journal* e no primeiro volume do *Manchester Memoirs (new series)*, fez outra crítica à teoria da mistura dos gases. Tal crítica foi direcionada, principalmente, à forma de propagação do som na atmosfera.⁴⁶ Se a atmosfera era uma mistura de gases, sendo cada gás um meio peculiar de propagação do som, ao emitir um som a longa distância, deveria ser percebido várias vezes. Cada uma dessas vezes, correspondia ao som propagado por um dos gases porque, segundo o próprio Dalton, o som se propagava no nitrogênio, no oxigênio, no gás carbônico e no vapor de água nas velocidades de 1000, 930, 804 e 1175 pés por segundo, respectivamente.⁴⁷

Portanto, de acordo com esses dados, um forte som produzido a treze milhas de distância teria que ser ouvido em 59 segundos, fraco referente à propagação do som no vapor de água da atmosfera. Como a quantidade de vapor na atmosfera é pequena, o barulho percebido, nesse primeiro estímulo, é proporcional à quantidade do gás. O segundo som seria ouvido em aproximadamente 68 segundos e deveria ser o mais barulhento deles, pois, é referente à propagação do som no nitrogênio. Como esse gás é o responsável

⁴⁵ *Ibid.*, p. 184.

⁴⁶ Vale lembrar que Isaac Newton nos *Principia*, concebia o som como sendo o resultado de “pulsos de pressão” transmitidos através das partículas de ar vizinhas.

⁴⁷ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 184-6.

pela maior parte da atmosfera, o barulho também deveria ser o maior. O terceiro barulho, aos 74 segundos, seria o correspondente à propagação do som através do oxigênio que, por conta de ser o segundo elemento mais abundante da atmosfera, deveria ocupar o segundo lugar em termos de barulho. E por último, aos 85 segundos, o barulho correspondente à propagação do som através do gás carbônico.⁴⁸

Acontece que referidos valores teóricos não correspondiam, perfeitamente, ao verificado no experimento. Dessa forma, isso denota que talvez a atmosfera não fosse uma mistura tão perfeita e complexa, como na teoria da mistura dos gases de Dalton. Além disso, talvez ela tivesse uma constituição mais simples, como defendia Mr. Gough, através de sua teoria das afinidades químicas entre os gases.⁴⁹

Gough, entretanto, ao invés de responder quimicamente o porquê os gases absorvem de maneira igual ao vapor, criticava a teoria mecânica através de outros meios. Afirmava que, mecanicamente, não se explicava a uniformidade do som. Isso, segundo Gough, evidenciava a combinação química entre os diversos gases da atmosfera que agiam de maneira uniforme, ou seja, como se fossem um único gás, fruto da combinação de nitrogênio, oxigênio, gás carbônico e vapor de água. Nesse momento, novamente podemos perceber que cada um direcionava a argumentação pelo caminho mais conveniente.

⁴⁸ *Ibid.*, p. 186.

⁴⁹ *Ibid.*, p. 186.

Dalton, que defendia com unhas e dentes a sua teoria da mistura dos gases, ao se referir a essa questão da propagação do som na atmosfera, afirmava que:

A única objeção que Mr. Gough apresentou e que pareceu-me criar alguma dificuldade foi em relação à propagação do som [...]⁵⁰

Assim, mediante o “duelo” entre as explicações químicas versus mecânicas, de acordo com Dalton, em meados de 1803, o que se tinha a respeito dos esclarecimentos de como acontecia o contato entre os elementos químicos gasosos, líquidos e sólidos, podia ser representado por dois tipos de explicações. A primeira era representada essencialmente pelas do tipo “químicas”, baseadas no conceito de afinidade para justificar a união dos elementos. Um bom exemplo do uso do conceito de afinidade, para explicar as reações e as combinações, seria em pegar um elemento A e colocar para reagir com uma determinada substância BC, formando AB mais C. Aqui, o elemento A se ligaria preferivelmente em B, deslocando C, pois A possui maior afinidade por B do que por C. Além disso, também A possui mais afinidade por B do que C tem por B, o que justificava o deslocamento de C na substância. E é por essa razão que o conceito de afinidade é considerado um conceito tipicamente químico.

A segunda explicação, de acordo com Dalton, era representada pelas do tipo “mecânicas” ou simplesmente físicas. As explicações mecânicas são assim chamadas, porque utilizam os conceitos tipicamente da física para explicar fenômenos químicos. São utilizadas as variáveis tais como massa, peso,

velocidade, forma, pressão e tamanho, como motivo de união entre elementos diferentes.

Sabe-se que existem muitos tipos de explicações mecânicas, ou melhor, muitos tipos de teorias mecanicistas e diferentes conceitos do que seja afinidade e como ela influencia a combinação. Não vamos nos estender nesse assunto, pois isso demandaria um outro trabalho. Mas, o fato é que, no começo do século XIX, as teorias mecânicas e químicas, entre outras coisas, competiam para explicar os fenômenos de interação entre os corpos da natureza. Nesse sentido havia, principalmente, duas perguntas que competiam entre elas, sendo cada uma por um lado, ou por uma teoria, porém ambas exprimiam a relação dos gases com a água.⁵¹

De acordo com Dalton, a pergunta que favorecia as explicações mecânicas era a que questionava a respeito da existência da tal chamada afinidade química entre os gases e a água. Supunha-se que cada gás, por ter uma diferente afinidade pela água, a absorvia de maneira peculiar. No entanto, a experiência de Dalton, mostrou que ocorre justamente o contrário, e que todos os gases absorvem a mesma quantidade de vapor de água. Nesse instante nos deparamos com a pergunta que atormentou Dalton: Se existe mesmo, a afinidade peculiar entre os gases e o vapor de água, então, por que todos os gases a absorvem igualmente?⁵² Aqui, nota-se que as explicações pelas afinidades químicas não davam conta de explicar a absorção do vapor de água pelos gases. E essa é uma poderosa crítica da teoria mecânica para refutar a teoria das afinidades químicas.

⁵⁰ *Ibid.*, p. 185.

⁵¹ *Ibid.*, pp. 194-208; e também L. K. Nash, *op. cit.*, pp. 108-11.

Dalton, que era um adepto da teoria mecanicista, explicava o fenômeno da igual distribuição dos gases por meios físico-mecânicos, utilizando-se do conceito de força de vapor⁵³ para explicar a igual distribuição do vapor em qualquer meio. Esse conceito justificava a igual distribuição do vapor de água em qualquer meio, pois, remetia ao motivo da distribuição do vapor, não às afinidades que ele tinha pelo meio, mas sim à força que esse vapor tinha, independentemente do meio.⁵⁴

Segundo Dalton, a pergunta que favorecia as explicações químicas dizia que, por outro lado, as hipóteses mecânicas não davam conta de explicar, suficientemente, o fenômeno contrário, ou seja, o fenômeno de absorção dos gases pela água. Os gases tinham diferentes solubilidades na água, o que caracterizava uma peculiar afinidade da água pelos mesmos.⁵⁵ Inclusive, essa diferença de solubilidade é detectada nos trabalhos de Dalton e Henry. A tabela a seguir mostra essas diferenças:⁵⁶

Figura 07 – Tabela de solubilidade dos gases em água⁵⁷

Gás	Volume do gás absorvido
Ácido carbônico (atualmente conhecido como gás Carbônico)	1
Hidrogênio sulfureto (atualmente conhecido como sulfeto de hidrogênio)	1
Óxido nitroso (atualmente conhecido como monóxido de dinitrogênio)	1
Gás olefiante (atualmente conhecido como etileno ou eteno)	0,125
Gás oxigênio	0,037

⁵² J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 170, 204-6.

⁵³ O que Dalton chama de força de vapor é conhecido atualmente como pressão de vapor.

⁵⁴ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 158-60.

⁵⁵ *Ibid.*, pp. 204-6

⁵⁶ *Ibid.*, p. 201.

⁵⁷ *Ibid.*, p. 201. Para saber como foi realizado o experimento da solubilidade dos gases em água, ver W. V. Farrar & K. R. Farrar, “The Henrys of Manchester – Part 3. William Henry and John Dalton”. pp. 211-5.

Gás nitroso (atualmente conhecido como óxido nítrico)	0,037
Hidrogênio carburetado (atualmente conhecido como gás metano)	0,037
Óxido carbônico? ⁵⁸	0,037
Gás Azoto ou nitrogênio	0,0156
Gás hidrogênio	0,0156
Óxido carbônico?	0,0156

Então, em meados de 1803, Dalton deu uma resposta mecânica para as diferentes solubilidades dos gases em água.⁵⁹ Pensava que as hipóteses químicas não explicavam as misturas, e acreditava que uma mistura era um efeito apenas físico e não químico. Para ele, as afinidades explicavam apenas as efetivas combinações químicas. Como a absorção dos gases pela água, resultava de uma mistura e não de uma combinação química, então, o motivo dessa mistura deveria ser físico e não químico.

Segundo Dalton, em 1802, Henry estudava o fenômeno da solubilidade dos gases em água e publicou que o aumento da pressão aumentava proporcionalmente a solubilidade dos gases na água. Isso, com certeza, favorecia e já acenava para as explicações do tipo mecânicas, pois, a pressão que era uma variável física e não química, segundo Henry, correspondia ao motivo para o gás ter maior ou menor solubilidade na água.⁶⁰

Seguindo os caminhos de Henry, nos seus experimentos de solubilidade dos gases em água, Dalton estudou a tabela resultante de seus experimentos e percebeu que substâncias mais densas, e, “aparentemente mais complexas”,

⁵⁸ Nos dois óxidos carbônicos da tabela de solubilidade, não traduzimos e colocamos a interrogação para respeitar o original, pois, o mesmo, igualmente, tem as interrogações, demonstrando a possível dúvida de Dalton quanto a natureza do composto.

⁵⁹ L. K. Nash, *op. cit.*, p. 110.

possuíam maior solubilidade em água. O óxido nitroso, por exemplo, por ser uma substância que ao ser decomposta gera nitrogênio e oxigênio, portanto o mais complexo e denso, é o mais solúvel em água, seguido pelo gás nitroso, depois pelo oxigênio e nitrogênio.⁶¹

Figura 08 – Tabela de solubilidade de alguns gases em água

Gás	Volume do gás absorvido
Óxido nitroso (atualmente conhecido como monóxido de dinitrogênio)	1
Gás nitroso (atualmente conhecido como óxido nítrico)	0,037
Gás oxigênio	0,037
Gás Azoto ou nitrogênio	0,0156

Olhando para essa tabela e também para a tabela anterior, percebemos que entre os óxidos de nitrogênio mais comuns, Dalton e Henry não relacionaram a solubilidade do [gás do] ácido nítrico⁶² em água. Isso aconteceu porque a relação do [gás do] ácido nítrico com a água, não é uma relação que possa ser explicada pelas misturas, mas sim, pela combinação química formando ácido nítrico. Nesse sentido, Dalton também faz uma distinção entre misturas líquido-gás e combinações químicas que ocorrem entre líquidos e gases:

Antes que nós possamos proceder, será necessário formular uma regra, se possível, para distinguir a ação química da ação mecânica de um líquido sobre um gás. [...]: Quando um gás é mantido em contato com um líquido, se qualquer mudança é percebida, tanto na sua elasticidade ou qualquer outra propriedade do gás, então isso pode ser caracterizado como uma ação química. Mas se nenhuma mudança é

⁶⁰ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 182.

⁶¹ *Ibid.*, pp. 200-6, 342

⁶² Aqui, quando nos referimos ao [gás do] ácido nítrico, estamos falando do que hoje é chamado de NO₂. Já quando nos referimos ao ácido nítrico estamos falando do próprio HNO₃.

percebida, nem na elasticidade, nem em qualquer outra propriedade do gás, então, a ação mútua dos dois deve ser considerada mecânica.⁶³

Foi então que, em resposta às hipóteses químicas e a favor das explicações mecânicas no que diz respeito às misturas entre água e gases, Dalton propôs que o motivo pelo qual os gases são diferentemente absorvidos ou misturados na água, não é por sua diferente afinidade pela água, mas, sim, devido a fatores físicos tais como densidade, pressão, etc. Sendo assim, a massa e a complexidade das últimas partículas dos gases também são fatores físicos que influenciavam as diferentes solubilidades e densidades. Nesse sentido, de acordo com Dalton, quanto mais pesado e complexo fosse um átomo de uma substância, maior seria a sua solubilidade na água:

A maior dificuldade no cumprimento das hipóteses mecânicas surge da observação de diferentes gases cumprindo diferentes leis. Por que água não admite em seu volume, todo o tipo de gás de maneira semelhante? – Essa questão eu tenho considerado adequadamente, e embora eu não esteja ainda capaz de me satisfazer completamente, estou persuadido que a circunstância depende do peso e número das últimas partículas dos vários gases: aqueles cujas partículas são mais leves e simples são menos absorvidos do que os outros, cujos átomos são mais pesados e complexos. Um questionar sobre o peso relativo das últimas partículas dos corpos é um assunto, até onde eu sei, inteiramente novo: tenho ultimamente perseguido essas questões com notável sucesso.⁶⁴

Assim, é importante mostrar que Dalton pensava em justificar as diferenças de solubilidade dos gases na água, pela diferença de peso e complexidade entre

⁶³ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 198.

⁶⁴ J. Dalton *apud* T. Cole Jr., "Dalton, mixed gases, and the origin of the chemical atomic theory", pp. 117-8.

átomos, de maneira teórica. Nesse sentido, ter um sistema que calculasse o peso dos átomos, a partir da experiência, seria um importante instrumento de validação ou confirmação de sua teoria.

Foi então que Dalton passou a procurar meios, a partir do experimento, de determinar o peso e a composição das últimas partículas dos gases. Nesse sentido, como seria o método mais conveniente para calcular o peso dos átomos? E como Dalton inferiu os pesos relativos dos átomos? Essas perguntas serão exploradas no próximo capítulo, referente às efetivas combinações químicas.

Outro químico que criticou o trabalho de Dalton, conforme descrito no seu *A new system of chemical philosophy*, foi o francês Claude Louis Berthollet que, no primeiro volume de seu *Essai de statistique chimique*, dedicou os capítulos I e II da seção VI à constituição da atmosfera. Berthollet, baseado nos seus experimentos e nos trabalhos de De Luc, Saussure, Volta, Lavoisier, Watt e Gay Lussac, concordava com Dalton e aceitava que a força de vapor da água no vácuo, era igual à força desse vapor quando misto e q

Figura 09 ⁶⁷

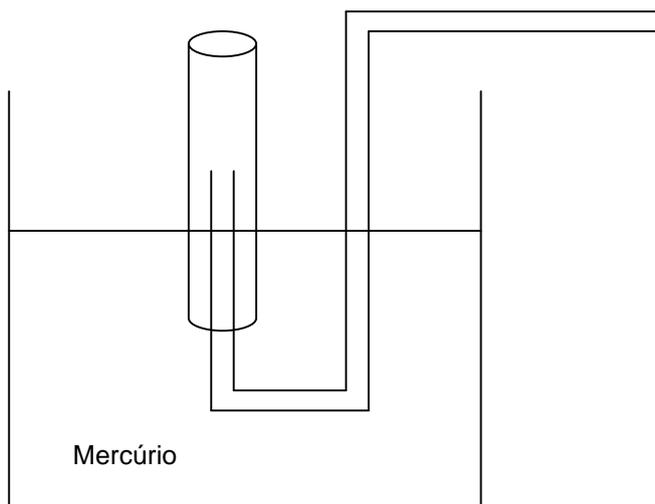
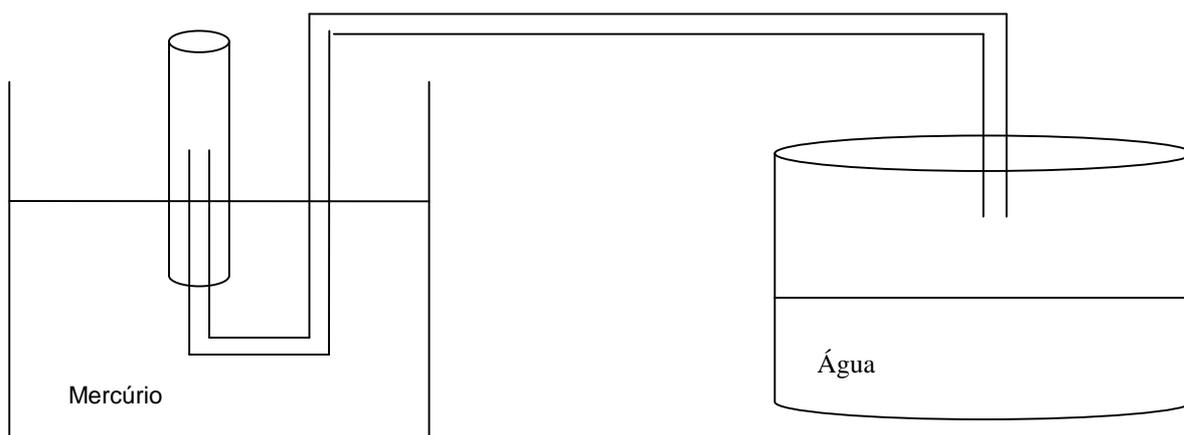


Figura 10 ⁶⁸



⁶⁷ O desenho da figura 09, foi idealizado por mim, a partir da leitura das páginas 159 e 160 do *A new system of chemical philosophy* Volume I Parte I de John Dalton.

⁶⁸ O desenho da figura 10, foi idealizado por mim, a partir da leitura das páginas 159 e 160 do *A new system of chemical philosophy* Volume I Parte I de John Dalton.

O experimento consiste, inicialmente, conforme a figura 9, colocar algo como “um tubo de ensaio”, cheio de ar, mergulhado num recipiente com mercúrio. Em seguida, afundá-lo alguns centímetros, aumentando assim a pressão dentro do tubo. Coloca-se algo como “um sifão” e, quando o nível de mercúrio dentro do tubo for o mesmo que o nível de fora, a pressão terá se igualado à da atmosfera. Posteriormente, já com a pressão dentro do tubo igualada a da atmosfera, conforme a figura 10, liga-se esse sifão a um recipiente com água. A água do recipiente evapora devido a sua força de vapor naquela temperatura, ocupando o tubo de ensaio que está no recipiente com mercúrio. Novamente, a pressão dentro do tubo de ensaio aumenta, obrigando o tubo a se deslocar para cima e atingir o equilíbrio com a força da atmosfera.⁶⁹

Realizando o experimento da mesma forma, e, utilizando-se o vácuo no tubo de ensaio, a quantidade de vapor de água desprendida é rigorosamente a mesma. Observa-se, também, que a pressão final dentro do tubo de ensaio, após a evaporação da água, é igual à pressão parcial que o vapor exercia quando misturado ao ar. Ou seja, ao deslocar o tubo de ensaio na mesma profundidade sobre o mercúrio, na mesma temperatura, e fazendo vácuo dentro do tubo, a quantidade do vapor de água desprendida para dentro do tubo é sempre a mesma.⁷⁰

Entretanto, apesar de Berthollet e Dalton concordarem a respeito dos fatos experimentais, e que a força de vapor no vácuo e na atmosfera eram iguais,

⁶⁹ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 159-60.

⁷⁰ *Ibid.*, pp. 159-60.

segundo Dalton, cada um interpretou de uma maneira os experimentos.⁷¹ Enquanto Dalton afirmava que o experimento demonstrava que um gás é como se fosse vácuo para outro⁷², aludindo para a lei das pressões parciais, Berthollet concordava com Thomson, e dizia que se assim fosse, quando colocados um gás qualquer com um outro, não deveria haver qualquer aumento de volume como já apontado anteriormente.⁷³

Lembremos que um dos pressupostos da quarta hipótese, que justificava a mistura dos gases, é que um gás é indiferente ao outro (como vácuo para outro ou não sofrem nem atração nem repulsão). Portanto, esse experimento, que segundo Dalton, demonstrava o comportamento de um gás como vácuo para outro, corroborava para sua teoria da interação dos gases.

Berthollet, por outro lado, que defendia as hipóteses químicas, questionava a afirmação de que um gás é como se fosse vácuo para outro:

Pode-se conceber a existência de uma substância elástica a qual adiciona o seu volume em outra e, que, contudo, não age nela pela sua força expansiva?⁷⁴

E Dalton responde:

Certamente; [...] [pois], dois ímãs se repelem, ou agem um sobre o outro com uma força expansiva, e não agem sobre outros corpos do mesmo jeito, mas meramente como um corpo inelástico; e não há dúvida que o mesmo aconteceria se eles fossem reduzidos a átomos: então, duas partículas do mesmo

⁷¹ *Ibid.*, p. 181.

⁷² Aqui, Dalton chegou inclusive a dizer que esse experimento nos leva a supor que caso a atmosfera fosse aniquilada, nós teríamos pouco mais vapor de água do que existe nela no presente, o que foi classificado como uma teoria extravagante pelo seu contemporâneo Mr. Murray, outro, dos mais importantes críticos da teoria de Dalton, Cf. *Ibid.*, pp. 181-2.

⁷³ *Ibid.*, pp. 158-9

⁷⁴ *Ibid.*, p. 161.

preferivelmente inclinado a atribuir à repulsão como uma força parecida com o magnetismo, que age em um determinado tipo de matéria, e não tem nenhum efeito sobre a outra. Pois, se calor fosse a causa da repulsão, não existe razão para uma partícula de oxigênio não repelir uma de hidrogênio com a mesma força com que repele uma do seu próprio tipo, especialmente se elas fossem ambas de um tamanho. Fazendo uma consideração mais madura sobre esse assunto, eu não vi suficiente razão para discordar da comum opinião, que atribui ao calor a causa da repulsão; [...] ⁷⁸

A partir das críticas dos químicos, Dalton procurou explicar a mesma teoria, utilizando não mais as forças magnéticas, mas sim o calor como causa da repulsão.

Novamente, é levantada a questão que incomodou Dalton: se calor é o motivo das repulsões entre as partículas, e, tanto as partículas de “A” quanto as partículas de “B” são rodeadas por calor, então por que as partículas de “A” vão repelir apenas as do seu próprio tipo e não as de “B”, que possuem o mesmo tipo de fluido causador das repulsões? Para responder a tal pergunta, Dalton passou a considerar o efeito da diferença do tamanho dos átomos:

Prosseguindo em meus questionamentos sobre a natureza dos fluídos elásticos, eu logo percebi que era necessário, se possível, verificar se os átomos ou últimas partículas dos diferentes gases são do mesmo tamanho ou volume em iguais circunstâncias de temperatura e pressão. Pelo tamanho ou volume de um átomo, eu penso que é o espaço ocupado [...] pelo seu núcleo impenetrável rodeado pela sua atmosfera repulsiva de calor. Naquela época que eu formulei a teoria da mistura dos gases, eu tinha a idéia confusa, como muitos, de que as partículas dos fluídos elásticos eram todas do mesmo tamanho; que um dado volume de oxigênio contém justamente o mesmo número de partículas que o gás hidrogênio; [...] Mas de uma tentativa de raciocínio similar a

exibida na página 71,⁷⁹ eu me convenci que diferentes gases não têm suas partículas do mesmo tamanho...⁸⁰

Concebendo a possibilidade das partículas iguais terem tamanhos iguais, e, partículas diferentes terem diferentes tamanhos, Dalton justificava a repulsão e a indiferença entre as partículas, através da representação dos seus invólucros de calórico. Na figura abaixo, podemos notar que entre os átomos de igual tamanho, as linhas de calórico se tocam perfeitamente, havendo repulsão entre eles. Já entre os átomos de diferentes tamanhos, as linhas de calórico não se tocam, o que garantia a mistura.⁸¹

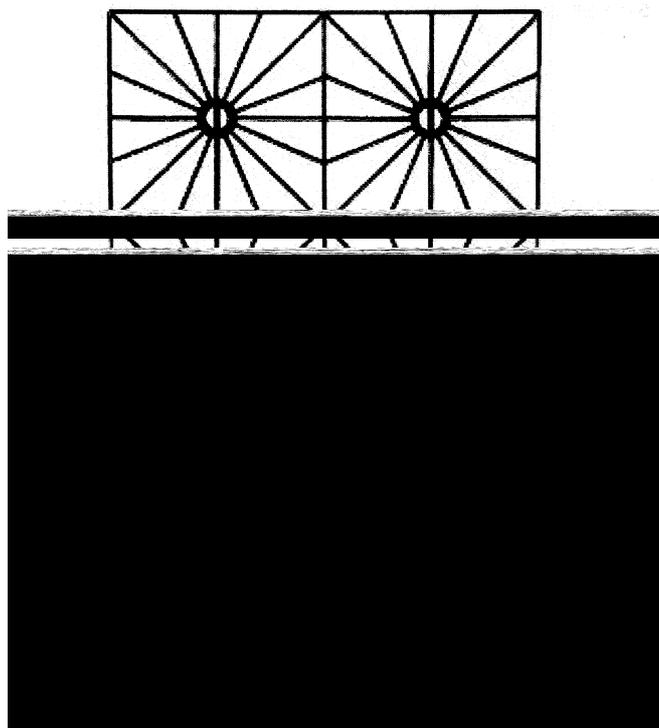
Figura 11 – Representação da mistura entre átomos de nitrogênio e Hidrogênio⁸²

⁷⁹ Para Dalton, um átomo tem o mesmo tamanho que outro átomo, quando a razão do número de partículas por volume ocupado é a mesma nos dois casos. E isso não é encontrado quando se coloca para reagir 1 medida de oxigênio com 1 medida de nitrogênio formando 2 medidas de NO. Pois, para que os gases tenham o mesmo número de partículas, por um determinado volume, a razão entre N^o de partículas por volume deve ser a mesma nos reagentes e no produto formado, o que não acontece experimentalmente (nitrogênio X/1, oxigênio X/1, monóxido de nitrogênio X/2). Portanto, para que a experiência comprovasse que todo o gás teria o mesmo número de partículas em um determinado volume, seria necessário que o produto formado, no caso o NO, ocupasse apenas 1 volume, mantendo assim a relação n^o de partículas por volume ocupado, Cf. *Ibid.*, pp. 70-1.

⁸⁰ *Ibid.*, pp. 187-8.

⁸¹ *Ibid.*, pp. 190; 548 e anexo da página 548. O fenômeno de mistura dos gases proporcionado pelas diferentes linhas de calórico é chamado “intestine motion” .

⁸² *Ibid.*, p. 548 (anexo).



Como mostra a figura, os quatro átomos de Azote (nitrogênio), que são do mesmo tamanho e que estão na parte de cima, repelem-se porque os raios ou as linhas de calórico se encontram, proporcionando a repulsão. O mesmo ocorre entre os dois átomos de hidrogênio, que se repelem por terem o mesmo tamanho e as linhas de calórico também coincidirem. Porém, quando misturados entre si, as linhas de calórico do hidrogênio não coincidem com as do nitrogênio, justamente pela diferença de tamanho justificando, assim, a não repulsão e indiferença entre eles.

Aqui, é importante mostrar que quando Dalton justificava a mistura e a indiferença entre os gases nitrogênio e hidrogênio, pela diferença de tamanho entre os átomos, estava justificando de maneira teórica. Assim, um sistema que calculasse o tamanho dos átomos a partir da experiência, seria um importante instrumento de validação ou confirmação de sua teoria da mistura dos gases.

Então, Dalton passou a pensar a mistura dos gases não mais partindo do pressuposto da existência de forças magnéticas. Começou a explicá-la utilizando o calórico como o tipo de força de repulsão. Considerava que a mistura de gases podia ser explicada como fruto da interação entre as forças de atração e repulsão entre as partículas e que o efeito, produzido na mistura, era devido à diferença entre as duas forças.

[...] Deve-se admitir, que todos os corpos [diferentes], em todo o tempo, e em toda situação, atrai um ao outro; ainda que em certas circunstâncias, agem sobre eles forças repulsivas de igual poder; a única força eficiente que os move é então a diferença dessas duas forças.⁸³

O resultado disso, segundo Dalton, seria que na mistura entre partículas do mesmo tipo, haveria repulsão, e, entre partículas de tipos diferentes forças atrativas e forças repulsivas agiriam.⁸⁴ Desse modo, sua teoria poderia contemplar todos os casos de mistura entre gases. Por exemplo, ao se misturar uma medida de nitrogênio com uma outra medida de nitrogênio, o resultado corresponderia a duas medidas de nitrogênio. Isso porque partículas iguais apenas se repelem e não existe qualquer força de atração entre elas.

Se misturarmos dois gases diferentes haverá uma interação entre as forças de atração e repulsão. O resultado da mistura dependerá da sobreposição de uma força pela outra. Por exemplo, se misturarmos uma medida de oxigênio com uma medida de nitrogênio, o resultado corresponderá a duas medidas da mistura dos gases nitrogênio com oxigênio. Aqui, acontece uma insignificante sobreposição da

⁸³ *Ibid.*, p. 179.

⁸⁴ *Ibid.*, pp. 161-2

força de repulsão sobre a força de atração entre as partículas dos gases. Por essa razão, não pode ser detectada nenhuma alteração de volume, temperatura, ou característica dos gases na mistura. Para Dalton, nesses casos, onde a força de repulsão é insignificamente maior que a de atração, acontecia a mistura, sem haver a combinação química, ou seja, um gás indiferente ao outro.

O mesmo não acontece quando se mistura duas medidas de monóxido de nitrogênio com uma medida de oxigênio, que gera duas medidas de dióxido de nitrogênio. Neste caso há uma sobreposição das forças de atração pelas de repulsão, que resulta na combinação química, bem evidenciada pela diminuição do volume, liberação de calor e mudança das características físicas e químicas do gás.

Aqui retomamos as questões iniciais: Oxigênio e o nitrogênio da atmosfera formariam uma mistura ou se combinariam quimicamente? Para Dalton, cujo sistema de explicação provinha da interação da força de repulsão-atração, o contato oxigênio-nitrogênio na atmosfera não se tratava de combinação química, mas sim de uma mistura mecânica, onde alterações de volume, pressão, densidade, temperatura e características dos gases não são percebidas. Mas então, qual seria a diferença entre combinação química e mistura? O que evidenciaria a ocorrência ou não de uma combinação química entre gases? O que evidenciaria a ocorrência ou não de uma mistura entre gases?

Para Dalton, o que caracterizava uma combinação química eram as evidências sensíveis (variação de volume, pressão, densidade, temperatura e características dos gases). Um exemplo disso, é o contato de dois volumes de gás nitroso (NO) com um volume de oxigênio, que resultava em dois volumes de

dióxido de nitrogênio. Aqui, a reação liberava calor e existe diminuição de volume. A pressão dentro do recipiente onde é feita a reação diminui e a densidade do gás formado é maior que a densidade dos dois gases iniciais.⁸⁵ O gás formado tinha uma cor castanha, enquanto os dois gases iniciais eram incolores. Também, o comportamento do gás formado em relação a outras substâncias era diferente do comportamento dos reagentes iniciais.

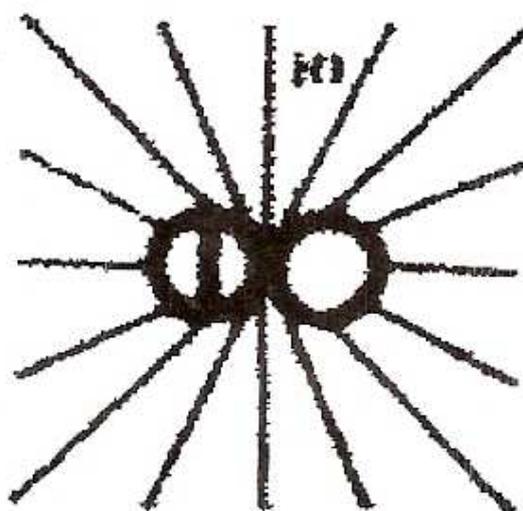
Para Dalton, a mistura era fruto do contato entre dois gases, cujas evidências não eram observadas. Um exemplo é a mistura dos gases oxigênio e nitrogênio que, conforme descrito anteriormente, o resultado dessa mistura dependia da sobreposição de uma força pela outra. E, como acontece uma insignificante sobreposição da força de repulsão sobre a força de atração, entre as partículas dos gases, nenhuma alteração podia ser observada.

E se os gases da atmosfera formavam uma mistura, então por que não se combinavam quimicamente? Ou melhor, por que certos gases, quando colocados juntos, a combinação química ocorria de maneira evidente e, em outros casos, não? Novamente a explicação é fornecida a partir da interação das forças de atração e repulsão, pois, de acordo com a crença de Dalton, dois corpos não se combinavam quimicamente porque as forças de repulsão eram insignificamente maiores que as de atração. Isso não permitia que os gases se combinassem intimamente, o que resultava na mistura física dos gases. Já para os casos onde as forças de atração eram muito maiores que as de repulsão, a íntima ligação era possível entre as substâncias.

⁸⁵ *Ibid.*, pp. 327-8.

Para Dalton, a diferença entre mistura e combinação está na natureza da ligação, ou melhor, na natureza da intimidade do contato entre os átomos⁸⁶ dos dois gases. As figuras que seguem, mostram as diferenças de combinação química e mistura na perspectiva de Dalton:

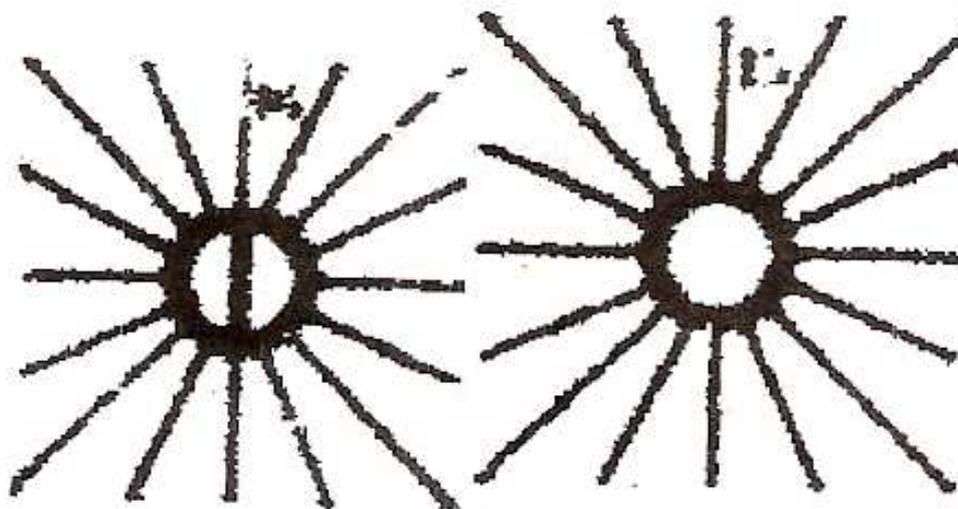
Figura 12 – Combinação química nitrogênio oxigênio na formação do gás nitroso (monóxido de nitrogênio)⁸⁷



⁸⁶ Para Dalton, átomo era o resultado do núcleo impenetrável mais o invólucro de calórico. Cf. *Ibid.*, p. 188. Mais adiante essa questão será melhor explorada.

⁸⁷ *Ibid.*, p. 548 (anexo).

Figura 13 – Mistura nitrogênio oxigênio⁸⁸



Nas figuras acima, os átomos nitrogênio e oxigênio foram representados pelo círculo cortado e pelo círculo vazio, respectivamente. As linhas representam a emanção do fluído calórico dos átomos. A figura 12 refere-se à combinação química entre os dois gases, pois, os átomos de nitrogênio e oxigênio intimamente ligados, compartilham o mesmo invólucro do fluído calórico, formando um átomo de gás nitroso. Já na figura 13 há a representação da mistura entre os átomos dos dois gases, pois, os átomos apresentam-se separados, cada qual com os seus respectivos invólucros de calórico.

Dalton afirmava que, em relação à mistura dos gases, Berthollet a explicava de outra forma. De acordo com Berthollet, no contato entre dois gases sempre havia a “união química”, cujo gás resultante do contato entre os dois gases, sempre reagia de maneira uniforme à mudança de temperatura e pressão, ou

⁸⁸ *Ibid.*, p. 548 (anexo). Essa figura 10 foi montada por mim a partir do emparelhamento dos desenhos dos átomos na página 548 (anexo). Ela serve para representar a idéia de mistura, muito presente no texto *A new system of chemical philosophy* de Dalton.

seja, a mistura de gases se comportava de maneira uniforme ou como se fosse apenas um gás.⁸⁹

De acordo com Dalton, Berthollet falava que existiam dois graus de afinidade química: a afinidade forte e a fraca. A primeira seria responsável pela combinação química evidente, onde a alteração de vo

indefinidas.⁹² O modo pelo qual os elementos se combinavam, uns com os outros, era concebido a partir do pressuposto de que para que houvesse essa combinação, tais elementos teriam que possuir afinidade química uns pelos outros. Portanto, o conceito de afinidade torna-se fundamental para configurar o modo pelo qual se acreditava que os elementos se combinavam. Nesse sentido, a lei das proporções indefinidas de Berthollet, maneira pela qual se acreditava que os elementos se combinavam, nasceu da sua crença de como a afinidade química atuava entre os corpos, e, gerava, dessa maneira, a combinação.⁹³

Dalton criticava veementemente a teoria das proporções indefinidas de Berthollet:

[...] A lei da afinidade química, que diz que o produto da reação química é proporcional à massa e, que em toda união química existe graus insensíveis de proporções dos princípios constituintes [...] [é inconsistente] [...]. [Pois], se as últimas partículas de um corpo, tal como a água, são semelhantes, portanto, de mesma figura, peso.... é uma questão de alguma importância. [...] Se algumas partículas de água fossem mais pesadas do que outras, [...] deve-se supor que afetaria a gravidade específica da massa [...]. Observações similares podem ser feitas em outras substâncias. Contudo, nós podemos concluir que as últimas partículas de todos os corpos homogêneos são perfeitamente semelhantes em massa e figura [tamanho e formato]. Em outras palavras, toda partícula de água é igual a toda a partícula de água; toda partícula de hidrogênio é igual a toda partícula de hidrogênio e assim por diante.⁹⁴

⁹² K. Fuji, "The Berthollet-Proust controversy and Dalton's chemical atomic theory 1800-1820", p. 178.

⁹³ Berthollet, a partir de seus trabalhos de extração de salitre, concluiu que as proporções de combinação química, entre os elementos na natureza, eram indefinidas, pois, variavam de acordo com o meio reacional (as condições de temperatura, concentração dos reagentes), Cf. R. C. Mocellin, "A química newtoniana", p. 394.

⁹⁴ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 142-3.

Nesse sentido, Dalton que pensava a matéria de forma atômica, não conseguia conceber as proporções indefinidas, visto que isso implicava em admitir a existência de partículas diferentes dentro de um mesmo tipo de material.

Além disso, segundo Fleming, a influência de Newton, nas crenças de Dalton sobre o comportamento dos gases, não admitia as indefinidas proporções nas combinações químicas, pois desestabilizava a partícula formada. Segundo a teoria da mistura dos gases de Dalton as partículas dos gases do mesmo tipo, possuíam forças repulsivas que agiam, predominantemente, entre elas, e não sobre as partículas de outro tipo. A partir dessa concepção, numa combinação imaginária entre cinco porções de átomos de nitrogênio com uma porção de átomos de oxigênio, o produto teórico formado de cinco nitrogênios mais um oxigênio seria instável. As forças de repulsão, entre as muitas partículas de nitrogênio, causariam a sua decomposição, e não possibilitariam a existência das proporções indefinidas.⁹⁵

Assim podemos concluir que John Dalton tinha como objetivo, no capítulo II do seu *A new system of chemical philosophy*, tratar a respeito da constituição das substâncias por átomos, verificada através da descrição do seu diálogo com seus contemporâneos, acerca de como acontece a interação entre os corpos.

Nesse sentido, percebemos que as diferenças de pesos dos átomos justificavam as diferentes solubilidades dos gases na água, o que dava fôlego ao ponto de vista mecânico da interação da água com os gases. Por outro lado, as diferenças de tamanhos dos átomos corroboravam para a sua teoria mecanicista da mistura dos gases, uma vez que as linhas do fluido calórico, que emanavam de

átomos de tamanhos diferentes, não coincidiam, o que garantia a mistura sem haver a repulsão entre eles.

Portanto, por tudo isso, poderíamos concluir, que quatro fatores contribuíram para levar Dalton a pensar em propor uma teoria atômica. O primeiro fator refere-se ao seu interesse pelas questões meteorológicas. Essas questões o levaram a estudar o comportamento dos gases na atmosfera e a propor uma teoria que explicasse a interação, bem como o comportamento dos gases que formam a atmosfera, levando-o a se ingressar no diálogo químico. O segundo fator foi a influência newtoniana. Dalton fez uma leitura muito peculiar da obra de Newton e ao pensar em construir uma teoria para explicar a matéria, ele já parte do pressuposto de que a matéria é formada por partículas que se repelem. O terceiro fator foi que, ao ingressar no diálogo com os químicos, na tentativa de defender seu ponto de vista mecânico sobre a interação da água com os gases, sentiu a necessidade de explicar as diferentes solubilidades dos gases na água através dos “possíveis” diferentes pesos entre os átomos. Ou seja, o peso dos átomos era um poderoso argumento mecânico que justificava as diferentes solubilidades dos gases na água. O quarto, e último fator, está relacionado à diferença do tamanho dos átomos, que também servia como um argumento na justificativa da mistura dos gases diferentes, sem que houvesse repulsão entre eles, levando-os a separarem-se em camadas.

Como já destacado, a questão do peso e do tamanho relativo dos átomos mostrava-se fundamental na teoria de Dalton. Assim, como veremos no próximo

⁹⁵ R. S. Fleming, *op. cit.*, p. 569.

capítulo, Dalton passou a propor formas de determinar tais características dos átomos.

**CAPÍTULO 3 – COMBINAÇÕES QUÍMICAS, ALGUNS COMPOSTOS DE
OXIGÊNIO, DE NITROGÊNIO E AS DETERMINAÇÕES DOS PESOS E
TAMANHOS DOS ÁTOMOS**

O trabalho até o momento apresentado, refere-se principalmente à questão da mistura nitrogênio – oxigênio, bem como às reflexões de Dalton a respeito do que seja essa mistura. No capítulo 2, abordamos também a questão sobre a necessidade de Dalton em determinar os pesos atômicos a fim de justificar, de maneira mecânica, a diferente solubilidade dos gases em água. Esses pesos, segundo Dalton, podiam ser determinados a partir da metodologia já existente de caracterização de uma substância, ou seja, a partir de sua decomposição (análise química) ou composição (síntese química):

Em toda a investigação química, ela pode ser considerada um importante objeto para verificar o peso relativo dos simples que constituem um composto. Mas infelizmente o questionamento terminou aqui; uma vez que do peso relativo em massa, o peso relativo das últimas partículas ou átomos dos corpos poderia ter sido inferido, do qual seus números e pesos em vários outros compostos apareceriam, em ordem para ajudar e para guiar futuras investigações, e corrigir seus resultados.⁹⁶

Nesse trecho, Dalton afirma que os químicos pararam seu questionamento a respeito dos resultados das decomposições. São exemplos disso os resultados de Davy e Cavendish a respeito dos óxidos de nitrogênio. Segundo Dalton, os

⁹⁶ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 212-3.

resultados experimentais indicavam as seguintes proporções em massa nos óxidos de nitrogênio⁹⁷:

Figura 14 – Constituição em massa dos óxidos de nitrogênio (original)⁹⁸

Sp. gr. constitution by weight.			
Nitrous gas 1.108	46.6	azote	+ 53.4 oxy.
	44.2	—	+ 55.8 —
	42.3	—	+ 57.7 —
Nitr. oxide 1.614	63.5	—	+ 36.5 —
	62	—	+ 38 —
	61	—	+ 39 —
Nitric acid 2.444	29.6	—	+ 70.5 —
	29.6	—	+ 70.4 —
	28	—	+ 72 —
	25.3	—	+ 74.6 —

Os resultados dessa tabela podem ser expressos da seguinte forma:

Figura 15 - Resultados experimentais da constituição em massa dos óxidos de nitrogênio

Substâncias	Resultados da decomposição em massa			
	Davy		Cavendish	
	Nitrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Oxigênio
Gás nitroso	46,6	53,4	-	-
	44,2	55,8	-	-
	42,3	57,7	-	-

⁹⁷ A forma de obtenção dessas massas será relatada de maneira apropriada mais adiante.

⁹⁸ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 318.

Óxido nitroso	63,5	36,5	-	-
	62	38	-	-
	61	39	-	-
Ácido nítrico	29,5	70,5	-	-
	-	-	29,6	70,4
	-	-	28	72
	-	-	25,3	74,6

Mas, como Dalton inferiu os pesos relativos dos átomos a partir das decomposições e sínteses químicas? Ou de que maneira, os resultados acima contribuíram para a proposição dos pesos atômicos? Ou melhor, como Dalton relacionou os dados obtidos pelas balanças aos átomos? O que embasou essa relação?

Acreditamos que alguns fatores foram fundamentais para essa reflexão sobre os dados obtidos pelas balanças. O primeiro deles foi o discernimento que Dalton tinha acerca do que era mistura e do que era combinação química. De acordo com o capítulo anterior, para Dalton, existia uma diferença entre mistura e combinação química:

Figura 16 – Mistura nitrogênio e oxigênio⁹⁹

⁹⁹ *Ibid.*, p. 548 (anexo).

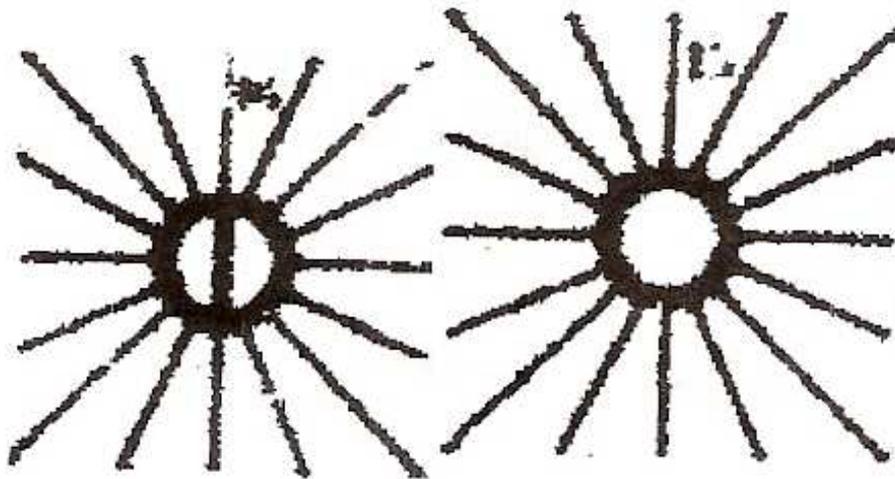
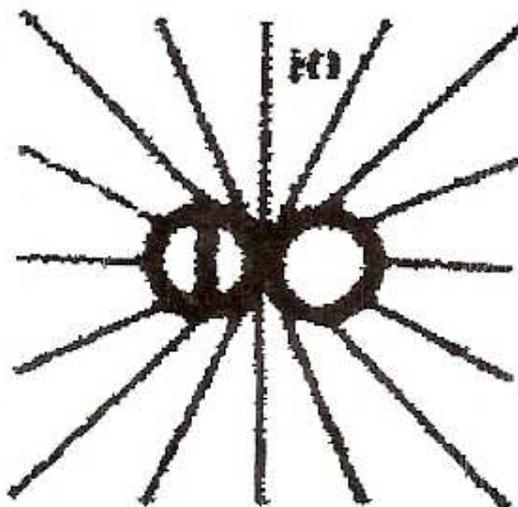


Figura 17 – Combinação química entre nitrogênio e oxigênio na formação do gás nitroso (monóxido de nitrogênio)¹⁰⁰



Para Dalton, a partir de uma simples mistura, como representado na figura 16, não se conseguia estabelecer uma relação fixa de peso entre os átomos de oxigênio e nitrogênio, uma vez que os gases podiam se misturar em indefinidas proporções. No entanto, a partir do gás nitroso, de acordo com a figura 17, devido

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 548 (anexo).

à íntima e fixa relação ou união entre o átomo de nitrogênio e o átomo de oxigênio¹⁰¹, na formação do gás nitroso, conseguiu-se estabelecer o peso dos átomos. Ao ser desfeita essa intimidade determinada entre átomos, pela análise, pode-se através de balanças, medir o peso de oxigênio e nitrogênio, fruto dessa decomposição. A partir desses pesos, foi possível generalizar ou expressar esses valores para os átomos de maneira genuína.

É importante evidenciar que a crença de Dalton, no que diz respeito à maneira pela qual se configura o contato entre os átomos dos gases na formação das substâncias, foi fundamental para generalizar as massas obtidas nas balanças para os átomos. Entretanto, para obter tal relação, Dalton precisava saber quantos átomos de nitrogênio e oxigênio, por exemplo, formavam um átomo de gás nitroso. Para saber o número de átomos que formavam um átomo de uma determinada substância, Dalton guiou-se por dois indícios. O primeiro foi uma regra do raciocínio, cuja finalidade é guiar o número de átomos formadores de um átomo de uma determinada substância. Referida regra denomina-se regra de máxima simplicidade, e, é orientada do seguinte modo:

Se existem dois corpos, A e B, os quais estão dispostos a se combinar, a ordem na qual as combinações acontecem, é a seguinte, começando com a mais simples:

1 átomo de A + 1 átomo de B = 1 átomo de C, binário;
1 átomo de A + 2 átomos de B = 1 átomo de D, ternário;
2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de E, ternário;
1 átomo de A + 3 átomos de B = 1 átomo de F,
quaternário;
3 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de G,
quaternário; e assim por diante....¹⁰²

¹⁰¹ Na figura 16 E 17, o nitrogênio é representado pelo círculo cortado e o oxigênio é representado pelo círculo vazio.

¹⁰² J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 213.

De acordo com Dalton, esse raciocínio de simplicidade na combinação tinha como consequência algumas regras. A primeira seria quando só uma combinação de dois corpos pudesse ser obtida, devia-se presumir que o composto formado era binário, pois não existia causa aparente para que ocorresse o contrário. Um exemplo disso, é a composição da água que, para Dalton, era HO, pois, ao colocar hidrogênio para reagir com oxigênio, apenas um composto podia ser obtido. Esse composto refere-se a água que é binária, ou seja, composta por apenas 1 átomo de hidrogênio e 1 de oxigênio.¹⁰³

Se dois compostos, ou duas combinações são observadas, deve-se presumir que um composto é binário (formado por 1 átomo de A e 1 átomo de B) e o outro é ternário (formado por 1 átomo de A e 2 átomos de B ou formado por 2 átomos de A e 1 átomo de B). Se três combinações são possíveis, pode-se esperar que um composto é binário, formado por 1 átomo de A e 1 átomo de B, e dois compostos são ternários, sendo que o primeiro é formado por 1 átomo de A e 2 átomos de B e o segundo é formado por 2 átomos de A e 1 átomo de B e assim por diante.¹⁰⁴

Apesar dessa regra parecer arbitrária, de certa forma é orientada pela experiência. Pois, conforme a tabela abaixo, observando a composição do gás nitroso (nosso monóxido de nitrogênio – NO), percebe-se que o mesmo é composto de um peso maior de oxigênio do que nitrogênio. Por ser o menos denso de todos os óxidos de nitrogênio e, supondo que ele seja formado da

¹⁰³ *Ibid.*, pp. 214-5.

¹⁰⁴ *Ibid.*, pp. 213-5.

maneira mais simples possível, ou seja, por um átomo de oxigênio e por um átomo de nitrogênio (NO), o átomo de oxigênio pesa mais que um átomo de nitrogênio.

Figura 18 – Resultado da composição em massa dos elementos na formação das substâncias¹⁰⁵

Substâncias	Resultado de proporção em massa dos elementos	
	Nitrogênio	Oxigênio
Gás nitroso	46,6	53,4
Óxido nitroso	63,5	36,5
[gás do] Ácido nítrico	29,6	70,4

Mas, se um átomo de oxigênio pesa mais que um átomo de nitrogênio, então, por que no óxido nitroso o peso de nitrogênio, que forma o gás, é maior do que o peso de oxigênio? Nesse caso, o que Dalton percebeu foi que a relação de peso de nitrogênio com o oxigênio $46,6 / 53,4 = 0,87$, no gás nitroso (nosso monóxido de nitrogênio – NO), é rigorosamente igual à relação de peso da metade do peso de nitrogênio ($63,5 / 2 = 31,75$) com o oxigênio $31,75 / 36,5 = 0,87$ no óxido nitroso. Ou seja, pensando em átomos, se o gás nitroso é composto por um nitrogênio e um oxigênio, então o gás óxido nitroso é composto por dois nitrogênios ($2 \times 31,75 = 63,5$) e um oxigênio (N₂O).¹⁰⁶

Analisando-se novamente a Figura 18, percebemos que, no caso do ácido nítrico (nosso dióxido de nitrogênio – NO₂), a diferença de peso aumentou do oxigênio para o nitrogênio. Nesse caso, o que Dalton verificou foi que a relação de peso de nitrogênio com oxigênio $46,6 / 53,4 = 0,87$, no gás nitroso, é muito

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 318.

¹⁰⁶ Essas relações numéricas foram construídas por mim a partir dos dados da página 318 do *A new system of chemical philosophy*. Nesse trabalho, Dalton não explicita tais relações.

próxima à relação de peso de nitrogênio 29,6 com a metade do peso do oxigênio ($70,4 / 2 = 35,2$), que corresponde a $29,6 / 35,2 = 0,84$ no gás do ácido nítrico. Ou seja, pensando em átomos, se o gás nitroso é composto por um nitrogênio e um oxigênio, então o gás do ácido nítrico, é composto por um nitrogênio e dois oxigênios ($2 \times 35,2 = 70,4$).

A partir disso, podemos assegurar que a regra de simplicidade pôde ter sido orientada pela experiência, pois é possível adaptar as possibilidades teóricas à prática. Então, se três combinações são plausíveis, pode-se esperar que um composto seja binário (gás nitroso – NO), formado por 1 átomo de N e 1 átomo de O. Os outros dois compostos possíveis são ternários, um formado por 1 átomo de N e 2 átomos de O (ácido nítrico – NO₂), e o outro por 2 átomos de N e 1 átomo de O (óxido nitroso – N₂O).

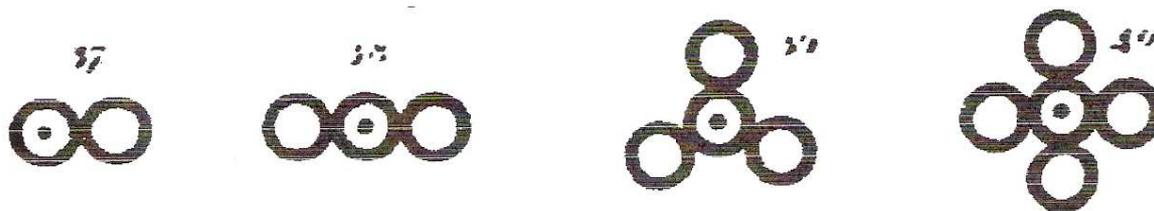
O segundo fator que influenciou Dalton, na determinação do número de átomos que formavam uma partícula de uma determinada substância, foi a sua apropriação das idéias newtonianas sobre o comportamento da matéria, como já comentado no capítulo anterior. Isso porque, segundo sua teoria da mistura dos gases, as partículas dos gases do mesmo tipo possuíam forças repulsivas que agiam predominantemente entre si, e não sobre as partículas de outro tipo (influência da proposição 23 de Newton).

As idéias de Dalton, sobre as forças repulsivas entre os átomos, também se manifestaram na sua regra de combinação um-a-um dos elementos em proporções definidas e com limites, impostos pela repulsão entre as partículas. Como exemplo, pode-se citar: Se partículas de um elemento qualquer fossem se combinar com partículas de um outro elemento qualquer e supondo que fosse

possível apenas uma combinação entre tais elementos, a combinação ocorreria da forma mais simples possível como já dito anteriormente.

Mas, se mais do que uma substância pudesse ser formada, seriam formadas de acordo com a regra de máxima simplicidade, sendo uma substância formada por 2 átomos de um elemento e 1 átomo do outro, ou vice e versa. Lembrando que essas partículas preferencialmente se combinariam de forma que os átomos iguais estejam sempre diametralmente opostos por causa das forças de repulsão. Já na ligação entre 3 átomos de um elemento e 1 átomo do outro, os átomos iguais ficariam a uma distância de 120° um do outro. Na ligação entre 4 átomos de um elemento e 1 átomo do outro, os átomos iguais ficariam a uma distância de 90° um do outro de acordo com a figura abaixo:

Figura 19 – Representação da disposição dos átomos quando combinados na proporção de 1 para 1, de 1 para 2, de 1 para 3 e de 1 para 4¹⁰⁷



Esse tipo de teoria, baseada na repulsão entre partículas do mesmo tipo, limita as possibilidades de combinação, pois, aumentando demais a quantidade de um elemento para reagir com o outro elemento, a repulsão entre os átomos mais abundantes fazem a partícula composta perder a estabilidade e se quebrar.¹⁰⁸

¹⁰⁷ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 546-7 (anexo).

¹⁰⁸ R. S. Fleming, *op. cit.*, pp. 567-70.

No entanto, para que se consiga a fixação das massas dos átomos, através das proporções em massa nas reações, é preciso que se tenha um método eficaz de obtenção dos reagentes. A partir de reagentes puros, é preciso que se reconheçam todas as características dos gases obtidos para que, com eles, haja possibilidade de produzir reações de decomposição e composição de substâncias, de maneira eficiente e precisa, e, por fim, determinar suas massas. Dalton reconhecia a importância de se ter certeza sobre o isolamento de um determinado elemento, visto que dedicou muito de seu trabalho a respeito do isolamento preciso dos elementos. Isso corresponde a uma etapa fundamental para se ter reagentes desprovidos de impurezas (outros gases).

Nesse sentido, o terceiro fator fundamental para a generalização dos dados obtidos pelas balanças foi a capacidade de distinção, purificação e caracterização

o nitrogênio e 14 vezes mais leve que o oxigênio. Os seus vapores pegavam fogo, mas, quando usados como único gás para alimentar a chama, extinguíam-na. Também não eram respiráveis por animais.¹¹⁰

Nenhuma mudança aparente acontecia quando o hidrogênio e oxigênio eram colocados em contato. Isso nos indica que formavam uma típica mistura, conforme apresentamos no capítulo anterior. No entanto, com a passagem de corrente elétrica pela mistura, no interior de um eudiômetro, ocorria uma violenta explosão, cujo resultado era a formação de água. O eudiômetro é um instrumento de grande importância nas pesquisas relacionadas aos gases. Feito de vidro, hermeticamente fechado, possui espessas paredes para agüentar altas pressões. Além disso, é composto por dois arames, um em cada extremidade do recipiente. Esses fios servem para a passagem de corrente elétrica de um para o outro, sendo que os gases contidos no eudiômetro, servem de meio condutor da eletricidade entre os fios.¹¹¹

Figura 20 – Representação de um eudiômetro¹¹²

¹⁰⁹ Esse experimento é feito no que hoje chamamos de cuba pneumática.

¹¹⁰ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 228-9.

¹¹¹ *Ibid.*, pp. 228-31; 273-4. O eudiômetro é um aparelho utilizado para analisar gases através da combustão, medindo-se os volumes das misturas gasosas antes e depois desta reação. O nome eudiômetro, criado por Marsilio Landriani (1756-1815) em 1775, significa "*aparelho para medir o grau de saúde do ar*". Volta tornou o eudiômetro um aparelho de elevada precisão. Na época, não existia a pilha para produzir a corrente elétrica dentro do eudiômetro. Então, era feito o contato dos fios com os pólos de uma garrafa de Leyden (um tipo de capacitor elétrico usado na época) que produzia uma faísca, dentro do tubo, explodindo a mistura gasosa. Cf. A. P. Chagas, "Os 200 anos da pilha elétrica", p. 427.

¹¹² Ver <http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Thermodynamics/Eudiometer/Eudiometer.html>



Muitos químicos do século XVIII e XIX utilizavam o eudiômetro para causar alterações nos gases. Normalmente, tais alterações representavam a síntese e a decomposição de substâncias a partir de gases eletrificados. Um exemplo típico disso seria a síntese da água, a partir da mistura de duas medidas, em volume, de hidrogênio com uma medida de oxigênio. A decomposição do vapor de água nos gases hidrogênio e oxigênio também pode ser feita no eudiômetro.¹¹³

A finalidade do eudiômetro seria causar alterações nos gases. Quando um gás não sofria nenhuma mudança aparente de suas características, tais como volume, pressão, densidade, cor, odor, entre outras, indicava que esse gás era elementar. Outra propriedade, referente ao gás hidrogênio, é o fato de não sofrer alteração, quando colocado sob eletrificação constante no eudiômetro.¹¹⁴

Segundo Dalton, o oxigênio, que é responsável por aproximadamente 1/5 da atmosfera, podia ser obtido por diversas maneiras. Dentre elas podemos citar a sua obtenção a partir do aquecimento de óxidos; da mistura de óxido de mercúrio

¹¹³ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 270-6.

¹¹⁴ *Ibid.*, p. 231.

com ácido sulfúrico; do aquecimento da mistura do óxido de manganês com ácido sulfúrico, a partir do aquecimento e decomposição do nitro.¹¹⁵

Com o oxigênio “puro”, obtido a partir dos processos acima, Dalton passou a determinar algumas características desse gás. Verificou que a densidade correspondia a 1,127 vezes a do ar. Também, que 100 polegadas cúbicas a 55° e pressão de 30 polegadas de mercúrio tinha uma massa de aproximadamente 35 grãos¹¹⁶. Dalton classificava o oxigênio como elemento químico, porque não podia ser decomposto de nenhuma forma conhecida, nem mesmo pela passagem de corrente elétrica.¹¹⁷

Uma interessante distinção, de acordo com a rapidez da combinação, é feita acerca dos tipos das combinações de oxigênio com diversos materiais. Essas combinações, de acordo com Dalton, dividem-se em quatro tipos. A primeira delas é a de detonação, que acontece, por exemplo, quando se mistura hidrogênio com oxigênio, passando-se corrente elétrica através da mistura. Nesse caso, uma violenta explosão, somada a uma forte liberação de calor, evidencia a reação que acontece de maneira instantânea. A segunda é chamada de combustão. Embora seja caracterizada por uma reação mais lenta que a detonação, é acompanhada de forte liberação de calor. Um exemplo claro de combustão é a queima de carvão. A terceira é a de inflamação, caracterizada, por exemplo, pela queima de óleo. Por último, e não menos importante, fica a mais

¹¹⁵ *Ibid.*, pp. 223-5.

¹¹⁶ Grão é unidade de medida de massa e vale aproximadamente 64,8 miligramas.

¹¹⁷ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 225-8.

lenta de todas as reações que envolvem o oxigênio, denominada de oxidação, que acontece, geralmente, entre oxigênio e metais.¹¹⁸

No caso do nitrogênio, Dalton relatou a existência de pelo menos três métodos de obtenção a partir da atmosfera. No primeiro, colocou para reagir uma determinada quantidade de gás nitroso (nosso monóxido de nitrogênio - NO) com o ar. O resultado dessa reação foi o gás de ácido nítrico (nosso dióxido de nitrogênio – NO₂) que, em contato com água, forma o próprio ácido nítrico, o que retira todo o oxigênio atmosférico e isola o Nitrogênio. No segundo Dalton colocou uma quantidade de sulfeto de cálcio com o ar. Essa substância se liga ao oxigênio do ar e forma o sulfato de cálcio ao mesmo tempo que isola o nitrogênio. No terceiro método, colocou o hidrogênio com o ar atmosférico, passando uma descarga elétrica através da mistura. Através desse procedimento obteve vapor de água, que pode ser condensado pelo abaixamento da temperatura, além de conseguir, novamente, o nitrogênio na forma pura.¹¹⁹

Com o Nitrogênio “puro”, obtido a partir dos processos acima, Dalton passou a determinar algumas propriedades desse gás. Verificou que a densidade em 55° de temperatura e 30 polegadas de pressão correspondia a 0,967 vezes a densidade do ar atmosférico; que 100 polegadas cúbicas de nitrogênio tinha uma massa de aproximadamente 30 grãos e que o nitrogênio não alimentava a chama e não era respirável por animais. A mistura de nitrogênio e oxigênio formava a principal parte da atmosfera, sendo o nitrogênio, o responsável por aproximadamente 4/5 da composição do ar atmosférico. Na mistura nitrogênio –

¹¹⁸ *Ibid.*, pp. 225-7.

¹¹⁹ *Ibid.*, pp. 231-2.

oxigênio, acontecia a difusão dos gases, sem a ocorrência da combinação química entre eles.¹²⁰

Dalton também observou que o nitrogênio era o gás menos disposto a combinação, tanto que, em nenhum dos casos de reação com outros gases, ele se combinava de maneira espontânea. Para que houvesse a mistura era necessário sempre passar uma corrente elétrica durante um longo e continuado tempo. Dalton classificou o nitrogênio como elemento químico, uma vez que não podia ser decomposto de nenhuma forma, até então conhecida, nem mesmo pela passagem de corrente elétrica.¹²¹

Segundo Dalton, a partir de elementos teoricamente puros, colocados para reagir, podia-se obter as substâncias e as massas proporcionais da reação. Esse é o caso da síntese de 100 grãos da água, através da reação de, em média 15 grãos de hidrogênio com 85 grãos de oxigênio, no eudiômetro de Volta.¹²²

Contudo, para calcular a massa dos átomos e satisfazer as hipóteses mecânicas das misturas, entre os diversos gases solubilizados em água, faz-se necessário não mais estudar as misturas, mas, sim, as combinações químicas. Pois, foi nos estudos das reações químicas de síntese e de decomposição que, efetivamente, conseguiu-se estabelecer uma relação numérica da massa dos átomos que faziam parte da combinação das substâncias.

Nesse sentido, Dalton utilizou os valores das proporções (em peso), de combinação dos elementos na formação das substâncias, na determinação e

¹²⁰ *Ibid.*, pp. 232-4.

¹²¹ *Ibid.*, pp. 231-4 e 436.

¹²² *Ibid.*, pp. 273-4.

fixação das massas dos átomos. Um exemplo disso, foi a definição das massas atômicas do hidrogênio, do oxigênio e do nitrogênio.

A fixação da massa do hidrogênio foi a partir do resultado das combinações com diversos outros elementos. Através dessas combinações, Dalton passou a utilizar o hidrogênio como elemento padrão, pois, percebeu que o mesmo, em todas as combinações que fazia, era o que se encontrava sempre, na menor proporção, em massa na formação das substâncias. Isso o levou a adotar o hidrogênio como padrão de referência nas combinações e adotou sua massa como sendo 1:

O peso [massa] de um átomo de hidrogênio é definido por 1, e é tomado como o padrão de comparação com os outros átomos elementares.¹²³

Em todos esses casos, os pesos são expressos em átomos de hidrogênio que é definido pela unidade.¹²⁴

Antes de relatar como Dalton inferiu os pesos relativos dos átomos de oxigênio e nitrogênio, é importante salientar que tais valores sofreram muitas modificações no decorrer do tempo. Modificações que também foram feitas para as massas relativas d33117(r)2.80439(a)-4-4.33056(x)9.71093(i)1.87(g)5.67535(ê)-4.33056(n)7

Figura 21 – Tabela com histórico dos valores dos pesos atômicos¹²⁵

ÁTOMOS	VALORES E FONTES DOS PESOS ATÔMICOS											
	6 de Setembro de 1803: Notebook	19 de Setembro de 1803: Notebook	Outubro de 1803?: Notebook	Diário de T. Thomson em agosto de 1804	14 de setembro de 180?: Notebook	Novembro de 1805: Mem. Manch. Lit. Phil. Soc.	Agosto de 1806: Notebook	Setembro / Outubro de 1806: Notebook	Abril de 1807: Glasgow Lectures	T. Thomson: 1807 System	Mai de 1808: New System Volume I parte I	1810: New System Volume I parte II
Hidrogênio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oxigênio	5,66	5,66	5,5	6,5	5,5	5,5	7	7	7	6	7	7
Azoto ou Nitrogênio	4	4	4	5	4,2	4,2	5	5	5	4,5	5	5
Enxofre	17	14,4	[14,4]	-	[14,4]	14,4	22	12	13	-	13	13
Carbono	4,5	4,4	[4,4]	5	[4,3]	4,3	5	5	5,4	-	5	5,4
Fósforo	-	7,2	[7,2]	-	-	7,2	9+	9,3	9	-	9	9
Óxido nitroso (atualmente conhecido como monóxido de dinitrogênio)	13,66	13,66	13,5	16,5	13,9	13,7	-	-	-	16	17	17,2
Gás nitroso (atualmente conhecido como óxido nítrico)	9,66	9,66	9,5	11,5	9,7	9,3	-	-	-	11	12	12,1
Ácido nítrico (atualmente conhecido como dióxido de nitrogênio)	15,32	15,32	-	18	15,2	15,2	-	-	-	17	19	19,1
Hidrogênio fosforetado (atualmente conhecido como sulfeto de hidrogênio)	-	8,2	8,2	-	-	8,2	-	-	-	-	-	10
Óxido carbônico (atualmente conhecido como monóxido de carbono)	10,2	10,1	10,1	11,5	9,8	9,8	-	-	-	-	12	12,4
Ácido Carbônico (atualmente conhecido como gás carbônico)	15,8	15,7	15,4	18	15,3	15,3	-	-	-	-	19	19,4
Gás olefiante (atualmente conhecido como eteno)	-	5,4	5,4	6	5,3	5,3	-	-	-	-	6	6,4
Hidrogênio carburetado de água estagnada (atualmente conhecido como metano)	-	-	-	7	6,3	6,3	-	-	-	-	7	7,4
Amonia	5	5,00	-	6	5,2	5,2	-	-	-	6	6	6
Ácido sulfuroso (atualmente conhecido como dióxido de	22,66	20,00	-	-	-	19,9	-	-	-	-	-	27

¹²⁵ A. W. Thackray, "The origin of Dalton's chemical atomic theory: Daltonian doubts resolved", p. 55.

enxofre)												
Ácido sulfúrico (atualmente conhecido como trióxido de enxofre)	28,32	25,7	-	-	-	25,4	-	-	-	-	34	34
Hidrogênio sulfureado (atualmente conhecido como sulfeto de hidrogênio)	-	15,4	15,4	-	16,4?	15,4	-	-	-	-	16	14
Água	6,66	6,66	-	7,5	6,5	6,5	-	-	-	7	8	8
Ether (provavelmente o que atualmente se conhece por etóxi-etano) ¹²⁶	-	9,8	-	11	9,6	9,6	-	-	-	-	11	-
Alcohol (provavelmente o que atualmente se conhece por etano) ¹²⁷	-	16,46	-	23,5	15,1	15,1	-	-	-	-	16	-
Ácido oxinítrico (atualmente conhecido como trióxido de nitrogênio)	-	-	-	24,5	-	-	-	-	-	-	-	26,1
Ácido nítrico (atualmente conhecido como trióxido de dinitrogênio)	-	-	-	29,5	-	-	-	-	-	28	31	31,2

A massa do oxigênio, por sua vez, foi determinada a partir de sua combinação com o hidrogênio, na formação da água. De acordo com a tabela acima, a primeira massa relativa atribuída ao oxigênio, no dia 6 de setembro de 1803, no seu caderno de laboratório, foi 5,66. Nesse caso, o resultado adotado por Dalton foi devido à média obtida pelos experimentos de decomposição e composição da água, ou seja, 15 partes em massa de hidrogênio para 85 em massa de oxigênio na formação ou decomposição de 100 unidades de massa de água.¹²⁸

Nesse sentido, respeitando as massas proporcionais de hidrogênio e oxigênio, na composição e decomposição da água, fixou a massa do átomo de hidrogênio como sendo 1. Também levou em consideração que na formação de 1 átomo de água há 1 átomo de hidrogênio com 1 átomo de oxigênio, de acordo

¹²⁶ W. V. Farrar & K. R. Farrar, *op. cit.*, p. 218.

¹²⁷ *Ibid.*, p. 218.

¹²⁸ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 273-5.

com a regra de máxima simplicidade. O átomo de oxigênio pesava 5,66 porque a razão em massa de $15/85 = 0,176$, sendo 15 gramas de hidrogênio e 85 gramas de oxigênio na formação e decomposição da água, podia ser expressa como igual à $1/5,66 = 0,176$, sendo 1 a massa do átomo de hidrogênio e 5,66 a massa do átomo de oxigênio. Sendo assim, Dalton concluiu que a massa relativa do oxigênio, em relação a massa de hidrogênio, correspondia a 5,66, ou seja, 1 átomo de oxigênio é 5,66 vezes mais pesado que 1 átomo de hidrogênio.¹²⁹

No entanto, o último resultado da massa relativa de oxigênio adotado por Dalton foi 7. Isso porque, segundo Dalton, o resultado que melhor representava a combinação entre os dois elementos, era o resultado de Fourcroy, que encontrava 12,6 em massa de hidrogênio para 87,4 em massa de oxigênio, na formação ou decomposição de 100 unidades de massa de água. Dalton respeitou as massas proporcionais de hidrogênio e oxigênio, na composição e decomposição da água, fixou a massa do átomo de hidrogênio como sendo 1 e levou em consideração que, na formação de 1 átomo de água, havia 1 átomo de hidrogênio com 1 átomo de oxigênio. Logo, de acordo com a regra de máxima simplicidade, o átomo de oxigênio pesava 7, pois a razão em massa de $12,6/87,4 = 0,14$, que podia ser expressa como igual à $1/7 = 0,14$, sendo 1 a massa do átomo de hidrogênio e 7 a massa do átomo de oxigênio. É importante salientar que 7 corresponde à massa relativa do oxigênio em relação ao hidrogênio, ou seja, segundo Dalton, 1 átomo de oxigênio é 7 vezes mais pesado que 1 átomo de hidrogênio.

¹²⁹ *Ibid.*, pp. 273-5. Entretanto, gostaria de deixar claro que todas essas – e também as que estão por vir – relações numéricas usadas por Dalton na obtenção dos pesos atômicos, foram construídas por mim a partir dos dados do *A new system of chemical philosophy*. Nesse trabalho, Dalton não explicita tais relações.

A massa do nitrogênio podia ser determinada a partir da decomposição dos óxidos de nitrogênio e, também, a partir da decomposição da amônia.¹³⁰ No primeiro caso, a massa do nitrogênio, obtida através dos óxidos de nitrogênio, era evidenciada pelos resultados da seguinte tabela:

Figura 22 – Constituição em peso dos óxidos de nitrogênio (original)¹³¹

	Sp. gr.	constitution by weight		Ratios.	
Nitrous gas	1.102	46.6 azote	+ 53.4 oxy.	6.1:7	} Grav.
		44.2 ———	+ 55.8 ———	5.5:7	
		42.3 ———	+ 57.7 ———	5.1:7	
Nitr. oxide	1.614	63.5 ———	+ 36.5 ———	2x 6.1:7	
		62 ———	+ 38 ———	2x 5.7:7	
		61 ———	+ 39 ———	3x 5.7:7	

Os resultados dessa tabela podiam ser expressos da seguinte forma:

¹³⁰ *Ibid.*, p. 233.

¹³¹ *Ibid.*, p. 318. Para saber os detalhes experimentais em como essa tabela foi construída, ver *Ibid.*, pp. 318-68.

Figura 23 - Resultados experimentais da constituição em peso dos óxidos de nitrogênio e interpretação atômica de Dalton

Resultados experimentais da constituição em peso do nitrogênio e oxigênio na formação dos óxidos de nitrogênio					Trabalho de Dalton: razões em peso de combinação dos elementos na formação dos óxidos	
Substâncias	Davy		Cavendish		peso do Nitrogênio	Peso pré-fixada do Oxigênio
	Nitrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Oxigênio		
Gás nitroso	46,6	53,4	-	-	6,1	7
	44,2	55,8	-	-	5,5	7
	42,3	57,7	-	-	5,1	7
Óxido nitroso	63,5	36,5	-	-	2 X 6,1	7
	62	38	-	-	2 X 5,7	7
	61	39	-	-	2 X 5,4	7
Ácido nítrico	29,5	70,5	-	-	5,8	7 X 2
	-	-	29,6	70,4	5,9	7 X 2
	-	-	28	72	5,4	7 X 2
	-	-	25,3	74,6	4,7	7 X 2
Média experimental do peso do átomo de nitrogênio					5,6	

Como se nota, na tabela anterior, a “média experimental” que representava o peso do nitrogênio, a partir dos óxidos de nitrogênio, corresponde a 5,6. No entanto, por outro lado, o peso do nitrogênio também podia ser determinado a partir da decomposição da amônia. Segundo Dalton, 60,74 grãos de amônia eram compostos por 50,09 grãos de nitrogênio e 10,65 grãos de hidrogênio. Para tal afirmação, Dalton respeitou as massas proporcionais de hidrogênio e nitrogênio na amônia, o átomo de nitrogênio pesava 4,7.¹³² Partia do pressuposto de que o peso do átomo de hidrogênio era 1 e levava em consideração que, na formação de 1

átomo de amônia, existia 1 átomo de hidrogênio com 1 átomo de nitrogênio, de acordo com a regra de máxima simplicidade. Esse resultado de 4,7 era explicado devido a razão em massa de $10,65/50,09 = 0,212$, que podia ser expressada por $1/4,7 = 0,212$.

Com os valores de 5,6 e 4,7, como os possíveis pesos para os átomos de nitrogênio, sendo o primeiro obtido a partir dos óxidos de nitrogênio e o segundo a partir da amônia, Dalton escolheu o valor intermediário de 5,1 para o peso dos átomos de nitrogênio – $(5,6 + 4,7) / 2 = 5,1$.

O átomo de carbono, por sua vez, de acordo com Dalton, podia ser determinado a partir dos óxidos de carbono. Segundo ele, o ácido carbônico quando decomposto, consistia de 28 partes de carbono e 72 partes de oxigênio. Partindo do pressuposto de que um átomo de ácido carbônico é ternário¹³³, ou seja, de acordo com a regra de máxima simplicidade, era composto por um átomo de carbono e dois átomos de oxigênio, o átomo de carbono pesava 5,4.¹³⁴ Isso porque a razão em massa de $28 / (72 / 2) = 0,77$, podia ser expressada por $5,4 / 7 = 0,77$.

Assim como os pesos relativos dos átomos, relatados até então, foram obtidos por Dalton, a partir da análise de substâncias, da mesma forma, os pesos dos demais elementos e substâncias, foram sendo determinados por ele no decorrer dos seus anos de trabalho. Isso pode ser verificado por toda a extensão do seu *A new system of chemical philosophy*.

¹³² *Ibid.*, pp. 433-6.

¹³³ O ácido carbônico é considerado ternário porque é mais denso que o óxido carbônico que é considerado binário; e também porque, ao ser decomposto pela eletricidade, o ácido carbônico gera óxido carbônico e oxigênio, indicando ser mais complexo do que eles.

Outra característica importante do trabalho de Dalton, que também podemos perceber em referida obra, é a reflexão sobre o que influenciava a diminuição e aumento de volume das substâncias. Segundo ele, o que influenciava as variações de volume era muito mais o arranjo dos átomos do que o tamanho dos mesmos. De acordo com Dalton, os átomos das substâncias sólidas possuíam ainda 4/5 do envólucro de calórico deles, no estado gasoso. Portanto, os átomos em si, do estado gasoso para o estado sólido diminuíram apenas 4/5 do seu tamanho original.¹³⁵ A figura a seguir mostra como Dalton concebia a diminuição de volume ou a passagem de um estado físico para o outro, a partir do arranjo dos átomos:

Figura 24 – Representação do arranjo dos átomos no estado líquido e no estado sólido¹³⁶

¹³⁴ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, pp. 368-70.

¹³⁵ *Ibid.*, p. 144.

¹³⁶ *Ibid.*, p. 218 (anexo).

Plate 3.

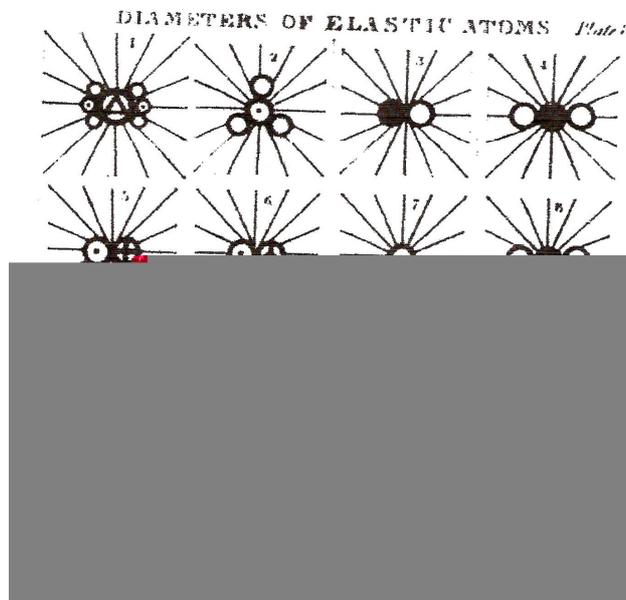
2



No quadro 1 e 3, da figura acima, está representado o arranjo dos átomos de uma substância no estado líquido e no quadro 2 e 4 consta a representação do arranjo dos átomos no estado sólido. Podemos notar que os espaços vazios entre os átomos do líquido são maiores que os espaços vazios entre os átomos do sólido. Isso justifica a grande diminuição do volume na passagem das substâncias do estado líquido para o sólido.

No entanto, apesar de Dalton pensar nas variações de volume, na passagem de um estado físico para outro, como decorrente do arranjo das últimas partículas, também refletiu sobre as diferenças de tamanhos dos átomos quando encontrados, por exemplo, no mesmo estado físico. Um exemplo disso é a figura a seguir, com a representação da diferença dos tamanhos dos átomos no estado gasoso:

Figura 25 – Representação dos diferentes tamanhos dos diversos átomos no estado gasoso¹³⁷



Nesse sentido, a teoria atômica de Dalton não inferiu apenas o peso relativo dos átomos, como também o volume e o diâmetro relativo dos átomos:

Suas últimas partículas [os átomos de gás nitroso] pesam aproximadamente 12,1 vezes o hidrogênio; o diâmetro dessas partículas, em um estado elástico, é 0,958 daquelas de hidrogênio que é 1; se uma medida de hidrogênio contém 1000 átomos, a mesma medida de gás nitroso deve conter 1136 átomos.¹³⁸

E essa determinação do tamanho dos átomos também pode ser verificada por toda a extensão da parte II do *A new system of chemical philosophy* :

Figura 26 – Tabela com os diâmetros e pesos atômicos de alguns dos principais átomos no estado gasoso¹³⁹

¹³⁷ *Ibid.*, p. 548 (anexo).

¹³⁸ *Ibid.*, p. 333.

¹³⁹ *Ibid.*, pp. 225, 226, 228, 229, 232, 233, 333, 340, 341, 377, 380, 382, 436, 560.

ÁTOMO	PESO ATÔMICO	DIÂMETRO ATÔMICO
Hidrogênio	1	1
Oxigênio	7	0,794
Nitrogênio	5,1	0,747
Gás nitroso	12,1	0,958
Óxido nitroso	17,2	0,947
Amônia	6,1	0,909
Óxido carbônico	12,4	1,02
Ácido carbônico	19,4	≅ 1

Nesse momento, uma importante questão cabe agora ser feita: além dos pesos atômicos, como Dalton inferiu o tamanho relativo dos átomos, a partir da experiência? Para tentar responder essa questão, gostaríamos de colocar em evidência o aspecto matemático da personalidade de Dalton. Ele calculou os diâmetros atômicos, a partir da raiz cúbica da razão entre o peso relativo do átomo e a densidade do gás¹⁴⁰ – $d = (m / p)^{1/3}$.¹⁴¹ Mas, como ele calculou o diâmetro dos átomos a partir do seus pesos, previamente determinados, e da densidade dos seus gases? Primeiramente, gostaríamos de esclarecer o provável¹⁴² raciocínio matemático, de como Dalton chegou a essa fórmula, para aplicá-la no cálculo dos diâmetros atômicos.

Sendo assim, especulando a respeito dessa fórmula, pode-se chegar à conclusão de que Dalton partiu de duas fórmulas matemáticas.¹⁴³ A primeira foi a da densidade $p = m / v$, que pode ser escrita assim $v = m / p$, ou seja, como sendo o volume igual a razão da massa pela densidade. A segunda, foi a fórmula do volume da esfera $v = (\pi \times d^3) / 6$. Substituindo o volume da primeira fórmula, que é

¹⁴⁰ É importante salientar que assim como o peso relativo do átomo é em relação ao hidrogênio, também a densidade do gás é em relação à densidade do gás hidrogênio.

¹⁴¹ J. Dalton, *A New System of Chemical Philosophy*, p. 226

¹⁴² Provável porque em nenhum momento encontramos qualquer documento que relatasse como Dalton propôs essa fórmula de calcular o diâmetro dos átomos.

(m / p), no volume da segunda fórmula, o resultado é $(m / p) = (\pi \times d^3) / 6$. Isolando o diâmetro, temos a fórmula $d = (m / p)^{1/3} \times (6 / \pi)^{1/3}$. No entanto, a fórmula proposta por Dalton, para calcular o diâmetro dos átomos, foi $d = (m / p)^{1/3}$.

Dessa forma, percebemos que Dalton, como bom matemático que era, desconsiderou a constante $(6 / \pi)^{1/3}$, pois não queria calcular o diâmetro absoluto dos átomos, mas o diâmetro relativo dos mesmos. Sendo assim, uma constante, utilizada para o cálculo de todos os diâmetros atômicos de todos os tipos de átomos gasosos, podia ser desconsiderada.

Vejamos a seguir, como Dalton calculou os diâmetros:

Figura 27 – Tabela com a representação dos cálculos dos diâmetros dos átomos de algumas substâncias no estado gasoso¹⁴⁴

Elemento	Peso relativo do átomo (em relação ao hidrogênio)	Densidade (dado experimental relativo à densidade do hidrogênio)	Esboço dos dados na fórmula	Cálculo	Diâmetro atômico
-----------------	--	---	------------------------------------	----------------	-------------------------

		hidrogênio			
Amônia	6,1	8,1 vezes a densidade do hidrogênio ¹⁴⁵	$d = (6,1 / 8,1)^{1/3}$	$(0,753)^{1/3}$	0,909
Óxido carbônico	12,4	11,7 vezes a densidade do hidrogênio	$d = (12,4 / 11,7)^{1/3}$	$(1,06)^{1/3}$	1,02
Ácido carbônico	19,4	19,5 vezes a densidade do hidrogênio	$d = (19,4 / 19,5)^{1/3}$	$(\cong 1)^{1/3}$	$\cong 1$

É importante salientar que, nessa tabela, os valores das densidades dos gases (coluna 3) foram expressos em relação à densidade do ar no *A new system of chemical philosophy*. Entretanto, na página 228 desse trabalho, também consta expresso a densidade do hidrogênio em relação à densidade do ar que é 0,0805. Portanto, para se conseguir as densidades dos ares, em relação ao hidrogênio, bastava dividir as suas densidades relativas ao ar por 0,0805 e, dessa maneira, obtê-las em relação ao hidrogênio.

Assim sendo, podemos concluir que Dalton inferiu os pesos atômicos a partir de alguns fatores que embasaram a generalização dos pesos das balanças para os átomos. Tais fatores correspondem ao o tipo de crença de Dalton acerca do que era mistura e do que era combinação química; ao raciocínio de máxima simplicidade, que orientava o número de átomos que formavam um átomo de uma determinada substância; à influência newtoniana nas crenças de Dalton sobre o comportamento das partículas, que limitava o número de átomos nos compostos, e, por último, a capacidade de distinção, purificação e caracterização dos elementos que Dalton e seus contemporâneos tinham.

Esses fatores levaram Dalton a pensar que na combinação química acontecia uma íntima união entre os átomos. Também que, quando a decomposição ou síntese ocorria, a relação macroscópica de massa podia ser generalizada ou expressada para os átomos de maneira genuína. Ou seja, a soma desses fatores, de certa forma, legitimou a generalização dos pesos obtidos nas balanças (macro) para os átomos (micro).

Além disso, podemos concluir que o fator que levou Dalton a propor o diâmetro e o tamanho dos átomos foi seu cuidadoso olhar matemático. Sou

CONCLUSÃO

o que nos leva a uma densidade de 7,45 pois $(0,6 / 0,0805 = 7,45)$

A partir da análise dos documentos originais, de fontes secundárias, podemos concluir que quatro fatores foram essenciais na composição da proposta da teoria atômica, apresentada por Dalton. O primeiro deles está relacionado ao seu interesse pelas questões meteorológicas; o segundo refere-se a influência newtoniana; o terceiro fator, à necessidade de explicar as diversas solubilidades dos gases na água, através dos “possíveis” pesos entre os átomos; e, por fim, a diferença do tamanho dos átomos, também utilizada como argumento para justificar a mistura dos gases diferentes.

Podemos assegurar que Dalton inferiu os pesos atômicos a partir de alguns dados, que embasaram a relação dos pesos das balanças para os átomos. Isso, inicialmente, deve-se ao fato da sua crença acerca do que era mistura e combinação química. Também, o raciocínio de máxima simplicidade que orientava o número de átomos que formavam um átomo de uma determinada substância. Além disso, a influência newtoniana no pensamento de Dalton, sobre o comportamento das partículas limitando o número de átomos nos compostos, e a capacidade de distinção, purificação e caracterização dos elementos, contribuíram nessa inferência. Referida capacidade era compartilhada por seus contemporâneos. Foi o seu cuidadoso olhar matemático que o levou a propor o diâmetro, bem como o tamanho dos átomos.

Assim sendo, podemos concluir que Dalton, ao inferir os pesos dos átomos a partir de dados experimentais, de certa forma legítima a sua teoria mecânica da matéria. E, por outro lado, ao inferir os tamanhos dos átomos a partir de dados

BIBLIOGRAFIA

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *O que é História da Ciência*. São Paulo, Brasiliense, 1994.

_____. *Da Alquimia à Química*. 3ª ed. São Paulo, Landy, 2001.

_____. “A História da química e a nova literatura de segredos”. GOLDFARB, J. L. & M. H. R. Beltran, orgs., *XIV Reunião da Rede de Intercâmbios para História e Epistemologia das Ciências Químicas e Biológicas. Anais*. São Paulo, Livraria da Física, Pontifícia Universidade Católica, 2004. pp. 1-16.

_____. & M. H. M. Ferraz & M. H. R. Beltran. “A Historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços”. ALFONSO-GOLDFARB, A. M. & M. H. R. Beltran, orgs., *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo, EDUC / Livraria Editora da Física / FAPESP, 2004. pp. 49-73.

_____. & M. H. M. Ferraz. “As Possíveis Origens da Química Moderna”. *Química Nova*. 16 (1, jan. - fev. 1993): 63-8.

Arquivos da Royal Society (Miscellaneous Manuscripts Volume 1)
[Correspondência entre John Dalton e Gay Lussac de 5 de agosto de 1833],
acervo do CESIMA.

Arquivos da Royal Society (Miscellaneous Manuscripts Volume 1)
[Correspondência entre John Dalton e J. B. Biot de 5 de agosto de 1833],
acervo do CESIMA.

Arquivos da Royal Society (Miscellaneous Manuscripts Volume 1)
[Correspondência de John Dalton de 14 de julho de 1835], acervo do CESIMA.

Arquivos da Royal Society (Miscellaneous Manuscripts Volume 1)
[Correspondência entre John Dalton e Maj. Emmet de 15 de dezembro de
1835], acervo do CESIMA.

Arquivos da Royal Society (Miscellaneous Manuscripts Volume 1)
[Correspondência entre John Dalton e Maj. Emmet de 13 de fevereiro de
1836], acervo do CESIMA.

BACHELARD, G. *A Epistemologia*. Trad. Portuguesa de F. L. Godinho & M. C. Oliveira. Lisboa, Edições 70, 2001.

_____. *A formação do espírito científico*. Trad. Brasileira de E. S. Abreu. Rio de Janeiro, Contraponto, 1996.

BELTRAN, M. H. R. *Imagens de Magia e de Ciência entre o Simbolismo e os Diagramas da Razão*. São Paulo, Educ / FAPESP, 2000.

_____. "Divulgação de conhecimentos sobre as artes e sobre as ciências: os manuais práticos". GOLDFARB, J. L. & M. H. R. Beltran, orgs., *XIV Reunião da Rede de Intercâmbios para História e Epistemologia das Ciências Químicas e Biológicas*. Anais. São Paulo, Livraria da Física, Pontifícia Universidade Católica, 2004. pp. 140-6.

CARDWELL, D. S. L. *John Dalton and the Progress of Science*. Manchester, Manchester University Press, 1968.

CHAGAS, A. P. "Os 200 anos da pilha elétrica". *Química Nova*. 23(3, 2000): 427-9.

CHALMERS, A. "Transforming atomic chemistry into an experimental science: The limitations of Dalton's theory". *The Rutherford Journal*. 01(Dezembro 2005); in <http://www.rutherfordjournal.org/current.html> , 22 de abril 2007.

CHAUÍ, M. *Convite à Filosofia*. 12^o ed. São Paulo, Ática, 2002.

_____. *Introdução à História da Filosofia: dos pré-socráticos a Aristóteles*. São Paulo, Brasiliense, 1994. (seção dos atomistas ver as páginas)

COLE, T. JR. "Dalton, mixed gases, and the origin of chemical atomic theory". *Ambix*, 25(2, jul. 1978):117-30.

DALTON, J. *New System of Chemical Philosophy*. Londres, pt. 1, 1808; Vol. 1

_____. *New System of Chemical Philosophy*. Londres, pt. 2, 1810. Vol. 1

_____. *New System of Chemical Philosophy*. Londres, pt. 1, 1827; Vol. 2.

_____. "On the Constitution of the Atmosphere". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 116 (1826): 174-188.

_____. "On the Absorption of Gases by Water and other Liquids". *Manchester Memoirs*, 1(1805): 271-87.

Af5rs2.278(m)122(n)57442(r)5611 Enquiry into the proportion of the several Gases in

_____. "Experimental Essays on the Constution of mixed Gases; on the Force of Steam or Vapour from Water and other Liquids in different temperatures both in a Toricellian Vacuum and in Air; on Evaporation; and on the Expansion of Gases by Heat". *Manchester Memoirs*, 5(1802): 535-603.

D' AMBROSIO, U. "Tendências historiográficas na história da ciência". ALFONSO-GOLDFARB, A. M. & M. H. R. Beltran, orgs. *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo, EDUC / Livraria Editora da Física / FAPESP, 2004. pp. 165-200.

DEBUS, A. G. "A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica". Trad. Brasileira de V. C. Machline. *Revista da Sociedade Brasileira*

HALL, A. R. & M. B. Hall. "Newton e a teoria da matéria". COHEN, B. & R. S. Westfall, orgs. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Trad. Brasileira de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro, Contraponto, 2002. pp. 100-18.

KOYRÉ, A. "O significado da síntese newtoniana". COHEN, B. & R. S. Westfall, orgs. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Trad. Brasileira de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro, Contraponto, 2002. pp. 84-100.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. Trad. Brasileira de B. V. Boeira & N. Boeira. 6º ed. São Paulo, Perspectiva, 2001. Cap. 1,2 e 3

_____. "Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência". ALFONSO-GOLDFARB, A. M. & M. H. R. Beltran, orgs., *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo, EDUC / Livraria Editora da Física / FAPESP, 2004. pp. 115-145.

MAUSKOPF, S. H. " Haüy's Model of Chemical Equivalence: Daltonian Doubts Exhumed". *Ambix*, 17(3, nov. 1970):182-191.

MCGUIRE, J. E. & P. M. Rattansi. "Newton e as Flaut

- RATTANZI, P. M. "Hermetismo e revolução científica". ALFONSO-GOLDFARB, A. M. & M. H. R. Beltran, orgs., *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo, EDUC / Livraria Editora da Física / FAPESP, 2004. pp. 41-8.
- ROCKE, A. J. "In search of El Dorado: John Dalton and the origins of the atomic theory". *Social research*, 72(1, primavera 2005): 125-158.
- _____. *Chemical atomism in the nineteenth century. From Dalton to Cannizzaro*. Columbus, Ohio State University Press, 1984.
- ROSCOE, H. E. & A. Harden. *A new view of the origin of Dalton's atomic theory*. Londres, R. & R. Clark, 1896.
- ROSS, S. "John Dalton's Lakeland Excursions". *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 53(1999): 79-94.
- _____. "The Dalton Entail". *Notes Rec. Roy. Soc. Lond.*, 51(1997): 219-233.
- ROUVRAY, D.H. "John Dalton: The World's first stereochemist". *Endeavour*, 19(1995): 52-57.
- SCHENBERG, M. *Pensando a Física*. 5ª ed. São Paulo, Landy, 2001.
- SIEGFRIED, R. "More Daltonian Doubts". *ISIS*, 54(1963):480-1.
- SMEATON, W. A. "A Supplementary Note on Berthollet's Essai". *Ambix*, 25(3, nov. 1978):211-2.
- _____. "Berthollet's Essai de Statique Chimique and It's Translations. A Bibliographical Note and a Daltonian Doubt". *Ambix*, 24(3, nov. 1977):149-158.
- SMYTH, A. L. *John Dalton 1766-1844. A bibliography of works by and about him with an annotated list of his surviving apparatus and personal effects*. Manchester, Manchester Literary and Philosophical Publications Ltd, 1966.
- THACKRAY, A. W. "The emergence of Dalton's chemical atomic theory: 1801-08". *Brit. J. Hist. Sci.*, 19(1986): 01-23.
- _____. "The origins of Dalton's Chemical Atomic Theory: Daltonian Doubts Resolved". *ISIS*, 57(1966):35-55.
- _____. "A matéria em uma casca de noz: a óptica de Newton e a química do século XVIII". COHEN, B. & R. S. Westfall, orgs. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Trad. Brasileira de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro, Contraponto, 2002. pp. 118-28.

_____. "DALTON, JOHN", in C. C. Gillispie, org., Dictionary of Scientific Biography, pp. 537-47

WHITT, L. A. "Atoms or affinities? The Ambivalent Reception of Daltonian Theory". *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 21(1990): 57-89.

ZATERKA, L. *A Filosofia Experimental na Inglaterra do século XVII: Francis Bacon e Robert Boyle*. São Paulo, Associação Editorial Humanitas/ FAPESP, 2004. (Apenas as páginas referentes à constituição da matéria).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)