

Sobre a composição do ar e a teoria do flogisto.

CATEGORIA

Artigo

João Gomes

DEQ/ISEL

CITAÇÃO

Gomes, J. (2024)

Sobre a composição do ar e a teoria do flogisto,

Rev. Ciência Elem., V12(04):041.

doi.org/10.24927/rce2024.041

EDITOR

João Nuno Tavares

Universidade do Porto

EDITOR CONVIDADO

J. M. B. Lopes dos Santos

Universidade do Porto

RECEBIDO EM

29 de outubro de 2024

ACEITE EM

12 de novembro de 2024

PUBLICADO EM

15 de dezembro de 2024

COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2024.

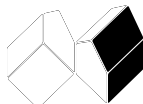
Este artigo é de acesso livre, distribuído sob licença Creative Commons com a designação [CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite a utilização e a partilha para fins não comerciais, desde que citado o autor e a fonte original do artigo.

Neste artigo faz-se uma breve resenha histórica do caminho percorrido ao longo dos anos sobre a composição dos gases do ar, desde a Antiguidade clássica até à “revolução” química, operada por Antoine Lavoisier, no século XVIII.

Maioritariamente o ar (da atmosfera terrestre) é composto por 78,084% de nitrogénio, 20,946% de oxigénio e 0,934% de argon, contendo ainda os restantes gases raros (hélio, néon, cripton e xénon), além de vapor de água, dióxido de carbono, metano, dióxido de nitrogénio e ozono; com uma massa molecular média de 28,97¹. Estima-se que a atmosfera da Terra tem uma massa de 5,1x10¹⁸ kg², estendendo-se desde a superfície terrestre até uma altitude de cerca de 800 km, no limite da termosfera. Esta é a última camada a partir da qual ainda se equaciona a presença da exosfera, embora se aceite que a linha Kármán, a 100 km de altitude constitui o limite entre a atmosfera terrestre e o espaço exterior. Assim, cerca de três quartos da massa da atmosfera se encontram entre a superfície terrestre e a altitude de 11 km, em que a atmosfera se torna mais rarefeita à medida que a altitude aumenta. Naturalmente que esta informação, minimamente rigorosa, de que hoje dispomos pode ser considerada “recente”, tendo em conta que o oxigénio e o nitrogénio só foram descobertos e identificados inequivocamente em finais do século XVIII, na sequência dos trabalhos de Antoine Lavoisier, considerado o verdadeiro “pai” da Química moderna, que operou nela uma verdadeira revolução, pelo que se pode admitir que a Química, como ciência precisa digna desse nome, só aparece nesta altura, sendo que anteriormente existia pouco mais do que a alquimia. Note-se, a este respeito, que o termo “Química” aparece referido por Robert Boyle, em 1661, como “o assunto dos princípios materiais dos corpos mistos”³, o que Christopher Glaser, em 1663, descreveu como “arte científica”, antes de vir a adquirir, posteriormente, o estatuto de Ciência. Particularmente, os trabalhos de Boyle⁴, que se considerava um “filósofo natural”, sobre gases têm muito a ver com a identificação dos gases e suas propriedades físicas, que vieram a ser explicitadas depois. E, na verdade, é a identificação dos gases do ar, em particular, do oxigénio e o seu papel na respiração humana, que possibilitou a dita revolução da química, a que nos referimos anteriormente.

Na realidade, esta história relativa aos gases do ar vem de muito longe, tão longe como os tempos de Empédocles de Agrigento (495 a.C.–430 a.C.) autor, pelo que se conhece, da teoria cosmogénica que considerou a existência de quatro elementos clássicos, conceção que perdurou até ao século XVIII: terra (Aidoneu), água (Nestos), ar (Hera) e fogo (Zeus). Estes são os quatro elementos fundamentais (que se representam na FIGURA 1⁵).

[rce.casadasciencias.org](https://www.rce.casadasciencias.org)



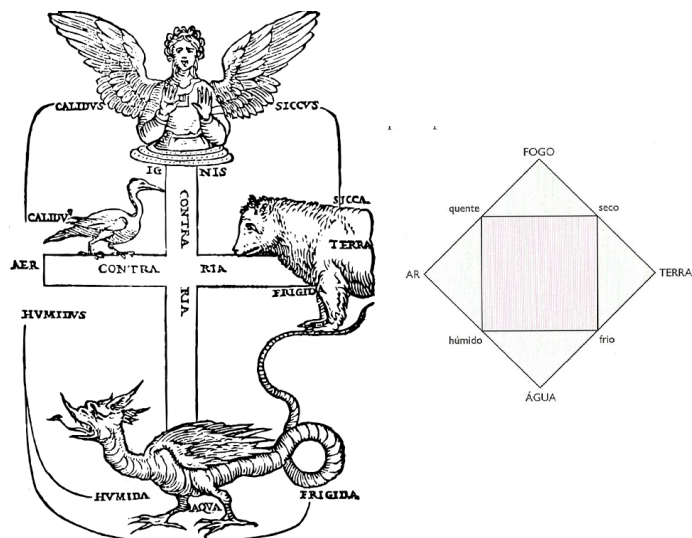


FIGURA 1. Representação alquímica dos quatro elementos e "humores" associados⁵.

Mais tarde adicionou-se ainda o éter⁶, a quinta essência, para explicar o que existia acima da atmosfera terrestre, ou seja, o fluido no qual permaneciam os astros, como o Sol, a Lua e outros planetas, como se indica na FIGURA 2⁵.



FIGURA 2. Representação da Terra e do éter onde existiriam os corpos celestes⁵.

Às quatro substâncias base, também identificadas na Índia antiga, Egito helenístico e Grécia antiga, correspondiam os quatro humores humanos, a saber, sanguíneo (ar), fleumático (água), colérico (fogo) e bilioso (terra), sendo que, na visão alquímica, a saúde do ser humano se concentrava em obter o equilíbrio entre esses humores, conforme Hipócrates, o que explica que os alquimistas sejam também considerados, desde a idade média, como físicos, ou, mais precisamente, os médicos de outrora.

Foi um médico alemão, Georg Stahl (1659-1734) que conceptualizou uma teoria algo enigmática, a *Teoria do Flogisto*, que veio a ser aceite e subsistiu bastante tempo, apesar das evidentes incoerências, pois conseguia explicar, com algum sucesso diversos fenómenos relacionados com a combustão de diversas substâncias no ar, como sejam a matéria orgânica e os metais, e ainda alguns fenómenos relacionados com a respiração.

Atualmente, aceitamos que a respiração consiste num processo que envolve duas reações químicas principais:

i) oxidação do carbono, ou reação de combustão completa: $C + O_2 \rightarrow CO_2$

ii) formação do vapor de água, formalmente também uma reação de oxidação do hidrogênio: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$ que são duas reações exotérmicas, ou seja, que se processam com libertação de energia, sob a forma de calor. Isto permite manter os corpos em que ocorrem, quentes, e consistem na oxidação dos hidratos de carbono que ingerimos a dióxido de carbono e vapor de água, que se libertam e, entretanto, servem para transferir o oxigênio do ar para a corrente sanguínea. Por sua vez, este vai oxigenar os principais órgãos internos, e que é permutado (também na corrente sanguínea) com dióxido de carbono que é expelido pelo aparelho respiratório. Contudo, estes processos não eram conhecidos por Stahl, nem o era o oxigênio. Stahl conceptualizou a *Teoria do Flogisto* a partir dos trabalhos de Johan Becher (1635–1682) que definiu a existência de três tipos de terras, como substâncias base, a *Terra Fluida* ou *Terra Mercurialis* (mercúrio), a *Terra Lapidea* (vitrificável) e a *Terra Pinguis* (combustível como o enxofre)⁷, que não diferem muito dos elementos base enunciados por Empédocles, e têm alguma semelhança com uma noção dos alquimistas que defendiam a existência de três elementos sólidos, a *Terra Prima*, ou seja, mercúrio, sal e enxofre. A *Terra Pinguis* estava associada ao fogo, ou mais precisamente, aos combustíveis, e era libertada quando esses materiais ardiam. Este conceito foi explanado por Stahl⁸, postulando a existência de uma substância, ou um fluido, denominado *Flogisto*, do grego *phlogistón* ($\phi\lambda\omicron\gamma\iota\sigma\tau\acute{o}\nu$ = inflamável de $\phi\lambda\acute{o}\xi$ = chama), e que se libertaria na combustão de matéria orgânica e, igualmente, de metais, em que a “queima” de metais (calcinação) na presença de ar, é, na realidade, uma oxidação. Segundo Stahl, as substâncias que ardem no ar são ricas em *flogisto*, ou *flogisticadas*, substância esta que se liberta na combustão, sendo absorvida pelo ar, convertendo-se os combustíveis e os metais a *deflogisticados*, tendo o *flogisto* mesmo honras de símbolo alquímico, como se indica na FIGURA 3⁹.



FIGURA 3. Símbolo alquímico do flogisto⁹.

O *flogisto* absorvido pelo ar era, por sua vez, absorvido pelas plantas, o que explicaria que o ar não entrasse espontaneamente em combustão. O facto de a combustão cessar, em determinado momento num espaço fechado, era uma evidência de que o ar tinha capacidade para absorver uma quantidade finita de *flogisto* e, quando o ar estivesse completamente *flogisticado*, ele não poderia constituir suporte à combustão de qualquer substância e ainda o ar *flogisticado* não poderia ser suporte de vida. Por último, a respiração consistia em retirar *flogisto* dos organismos em que ocorresse. Esta teoria decorreu das muitas e precisas observações experimentais que Stahl fez dos processos de combustão e de cal-

cinação dos metais^{10,11}, em que a principal diferença entre estes é que a combustão consiste num processo rápido e irreversível, enquanto a calcinação de metais é um processo lento e reversível, em que o metal, perdendo *flogisto*, converte-se a uma “cal” do mesmo metal, que poderá ser convertida, novamente, ao metal original com reabsorção de *flogisto*. Johann Pott (1692–1777), um dos discípulos de Stahl, expandiu a *Teoria do Flogisto*, e enunciou uma série de princípios e propriedades¹², considerando que o *flogisto* não é uma partícula, mas sim uma essência, permeável entre substâncias. O sucesso desta teoria consiste em que ela permite explicar o facto de os combustíveis perderem massa durante a combustão, por perda de *flogisto*, embora não o consiga fazer relativamente à calcinação de metais, processo em que ocorre muitas vezes um ganho de massa, o que se deve ao facto de os óxidos serem moléculas mais pesadas do que o metal de partida. Esta discrepância veio a ser explicada admitindo que o *flogisto* não tem massa, por ser uma essência, o que não resolve totalmente o problema, a menos que se considere que o *flogisto* tem uma massa negativa, o que chegou a ser alvitrado por Guyton de Morveau (1737–1816). Um dos mais ardentes defensores desta teoria foi Johann Juncker (1679–1759), que enunciou que o *flogisto* tinha a propriedade da levitação, assim como Guillaume-François Rouelle (1703–1770), que divulgou esta teoria em França, e a transmitiu a muitos dos seus alunos, entre os quais Antoine Lavoisier (1743–1794). Curiosamente é Joseph Priestley (1733–1804) que, ao participar na descoberta do oxigénio, a que chamou *ar deflogisticado*¹⁴, abre caminho para a queda da *Teoria do Flogisto*, sem nunca a ter abandonado definitivamente, o que lhe valeu o cognome de *Doutor Flogisto* (FIGURA 4), e tendo sido considerado por Georges Cuvier (1769–1832) como o “pai” da química moderna que nunca reconheceu a sua filha. Priestley terá isolado o oxigénio em 1774, ao estudar a decomposição térmica do óxido de mercúrio ($2\text{Hg}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Hg} + \text{O}_2$) e terá efetuado esta experiência em Paris, ao proferir uma conferência, a que assistiu Lavoisier e que terá recebido o pedido de Priestley para continuar esta experimentação.



FIGURA 4. Priestley caricaturado como *Doutor Flogisto*¹⁵.

Simultaneamente, o oxigênio foi também descoberto por Carl Scheele (1742–1786) ao estudar as propriedades do óxido de manganês IV¹⁴. Com esta informação de base, Lavoisier realizou as determinações experimentais quantitativas e foi o primeiro a explicar a existência do oxigênio sem a *Teoria do Flogisto*¹⁷, num longo caminho em que descobriu o princípio da conservação da massa que refere num tratado publicado em 1789, embora o conceito tenha sido anteriormente referido por Lomonosov, em 1760, ao replicar determinadas experiências de Boyle. Lavoisier identificou, além do oxigênio, o hidrogênio, a água, e o nitrogênio, entre outros elementos e propôs uma nova forma de classificação dos mesmos¹⁸. Em particular, descreveu como o oxigênio participa nas combustões como elemento, oxidando substâncias e dando origem a óxidos, com base nos estudos sobre a combustão de enxofre e do fósforo, com equipamentos que nos parecem hoje tão rudimentares como os que se apresentam na FIGURA 5¹⁵.

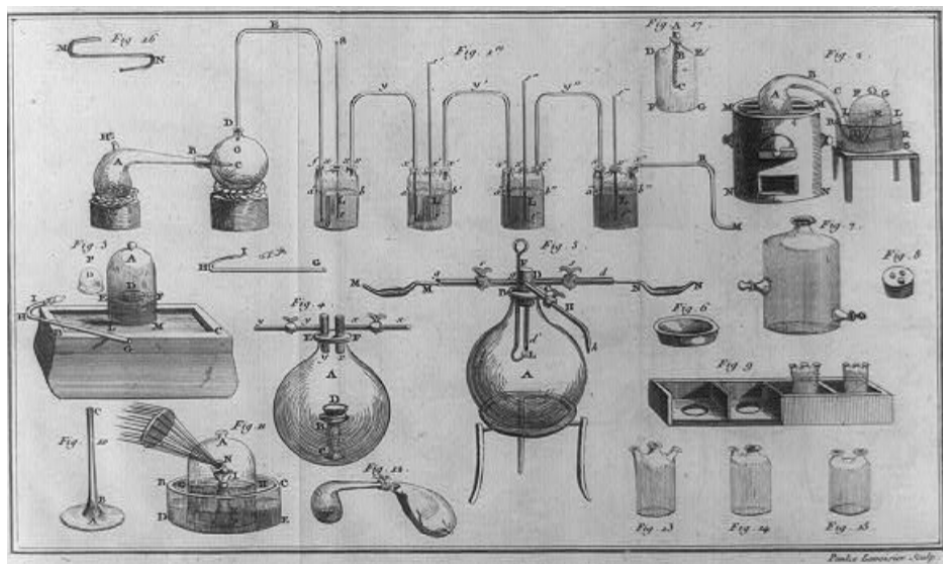


FIGURA 5. Equipamentos utilizados por Lavoisier no estudo dos gases do ar¹⁵.

Percebeu ainda que, na combustão do carbono, este processo de oxidação conduzia à formação de uma nova espécie, que hoje sabemos ser o dióxido de carbono, e que tinha sido denominado como “ar fixo” por Joseph Black (1728–1799), ao estudar a decomposição do carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Apesar da solidez da experimentação e da teoria de Lavoisier, vários químicos que defendiam a *Teoria do Flogisto* tentaram refutar as ideias de Lavoisier e vários tentaram até reformular a teoria original por forma a poder explicar as observações deste último, sendo que o mais famoso foi Pierre Macquer (1718–1784), apesar de ter percebido que a *Teoria do Flogisto* estava condenada, a defendeu sempre e procurou que esta explicasse as observações de Lavoisier¹⁹. Mais original foi Elizabeth Fulhame (1794) que discordou tanto dos adeptos do *flogisto* como dos *anti-flogisto*²⁰. Assim, esta polémica durou longos anos, e envolveu debates e ridicularizações (FIGURA 6) após o que as teorias de Lavoisier vieram a ser universalmente aceites, o que constituiu um avanço definitivo da Química²¹ ao descrever com precisão os gases que constituem o ar e os processos em que eles intervêm.



FIGURA 6. Pesquisas científicas! Novas descobertas na Pneumática, ou uma Lição Experimental da Potência do Ar¹⁵.

Esta resenha histórica é ilustrativa dum aspeto fundamental em que o progresso da ciência, com base na investigação científica, depende em larga medida de questionamentos sucessivos e correção dos conceitos anteriormente estabelecidos. É este processo “dialético” que tem vindo fazer avançar o conhecimento dos fenómenos ditos naturais.

REFERÊNCIAS

- ¹GOMES, J., *Poliuição Atmosférica: Um manual universitário*, 2ª edição, Publindústria, Porto. 2010.
- ²NASA, [Earth Fact Sheet](#).
- ³BOYLE, R., *The Sceptical Chemist*. 1661.
- ⁴BOYLE, R., *A Continuation of New Experiments Physico-mechanical, Touching the Spring and Weight of the Air, and Their Effects*. 1669.
- ⁵READ, J., *From alchemy to chemistry*. 1995.
- ⁶PLATÃO, *Timaeus*. 360 a.C.
- ⁷BECHER, J., *Physica Subterranea*. 1667.
- ⁸STAHL, G., *Zymoyechnia fundamentalis*. 1697.
- ⁹Chemistry, *Encyclopedia Britannica*. 1911.
- ¹⁰STAHL, G., *Experimenta et observationes chymicae*. 1723.
- ¹¹STAHL, G., *Anwendung zur Metallurgie*. 1703.
- ¹²POTT, J., *Exercitationes chymicae*. 1738.
- ¹³JUNCKER, J., *Conspectus chemiae theoretico-practicae*. 1730.
- ¹⁴PRIESTLEY, J., *Experiments and observations on different kinds of air*. 1774-1786.
- ¹⁵CALADO, J., *Haja Luz: Uma história da química através de tudo*. 2011.
- ¹⁶SCHEELE, C., *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer*. 1777.
- ¹⁷LAVOISIER, A., *Reflexions sur le phlogistique pour servir de suite à la theorie de la combustion et de la calcination*. 1777.
- ¹⁸LAVOISIER, A., *Traité Elementaire de Chimie*. 1789.
- ¹⁹MACQUER, P., *Elements de Chymie Theorique*. 1749.
- ²⁰FULHAME, E., *An Essay On Combustion with a View to a New Art of Dying and Painting, wherein the Phlogistic and Antiphlogistic Hypotheses are Proved Erroneous*. 1794.
- ²¹MAGALHÃES, B. & COSTA, A., *O Flogisto na génese das teorias de Lavoisier*, *Química*, 53, 9-14. 1994.