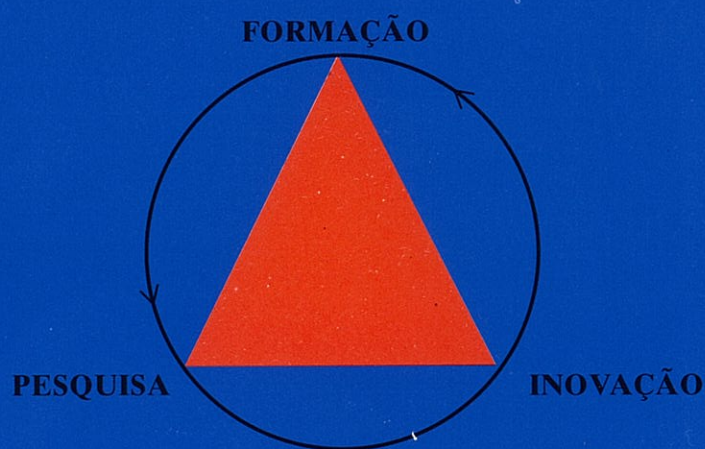


Formação de Professores

CIÊNCIAS



ENSINO DA QUÍMICA

**3.º Ciclo do Ensino Básico:
Uma Estratégia Centrada na História da Ciência**

Textos de Apoio

Nº 4

Org. António F. Cachapuz

Centro de Estudos de Educação em Ciência

(CEEC)

Ficha Técnica

Título

ENSINO DA QUÍMICA
3.º Ciclo do Ensino Básico:
Uma Estratégia Centrada na História da Ciência

Autora

Maria de Fátima Paixão

Colecção

FORMAÇÃO DE PROFESSORES / CIÊNCIAS
Org. António F. Cachapuz

Impressão

Martins & Irmão, Lda. — Artes Gráficas

Edição

Centro de Estudos de Educação em Ciência (CEEC) - Porto

1.ª Edição

Dezembro - 2002

Tiragem

500 Exemplares

ISBN

972-98725-2-X

Depósito Legal

189647/02

ENSINO DA QUÍMICA
3.º Ciclo do Ensino Básico:
Uma Estratégia Centrada na
História da Ciência

Maria de Fátima Paixão

PREÂMBULO

Este é o número quatro da colecção Formação de Professores/ Ciências que o Centro de Estudos de Educação em Ciências (CEEC) iniciou. Neste ciclo de quatro publicações convém recordar aqui o primeiro número Perspectivas de Ensino em que a designada perspectiva de Ensino Por Pesquisa ocupa o maior número de páginas, pretendendo assim realçar a importância da nova perspectiva que se afasta em espiral ascendente das antecedentes perspectivas, mais centradas na instrução do que na educação.

Apresenta-se, neste número, uma proposta destinada ao 3º Ciclo do ensino básico. Sendo este, em Portugal, parte do ensino obrigatório e considerado básico no sentido de que deveria conferir aos estudantes as competências e atitudes que lhes não-de permitir compreender o mundo e nele viver com uma outra harmonia. A Ciência, indubitavelmente, constitui um domínio de eleição para capacitar os cidadãos com ferramentas intelectuais que lhes permitem viver num mundo em que as certezas há muito se escaparam por entre os dedos da complexidade do progresso. Se não é desejável nem possível arrepiar o caminho do desenvolvimento alcançado, é urgente que o cidadão compreenda o seu papel regulador na preservação dos equilíbrios entre o natural, o científico, o social e o tecnológico. Este entendimento compromete o cidadão com um melhor entendimento da natureza da ciência e das interrelações entre a Ciência a Tecnologia e a Sociedade. À Escola, se ela não perder a capacidade de o fazer, é pedido que prepare os alunos para este desafio dos tempos.

Um dos pontos de partida foi que sem adequados materiais de apoio torna-se mais difícil alterar aquilo que os professores fazem habitualmente no seu ensino, e que, no essencial, é transmitir conhecimento já elaborado sem o questionar devidamente. Ou seja, sem transformar as suas concepções acerca da natureza da ciência e da construção e utilização do conhecimento científico. O percurso de ensino que se apresenta foi por nós utilizada na formação de professores. Serviu, portanto, a temática concreta seleccionada e a sua

planificação didáctica para apoiar a formação em História e Filosofia da Ciência. Foi inicialmente testada por duas professoras e posteriormente por um grupo de estagiários, com alunos de 8º ano. Os excertos das opiniões manifestadas por professores e alunos, na sequência da sua aplicação, são testemunhos reais de quem ensinou e aprendeu o Princípio da Conservação da Massa nas Reacções Químicas de modo bem diferente do habitual.

O paralelo com a História da Ciência permitiu relevar aspectos como a centralidade do assunto no domínio da construção da Química e a controvérsia científica ao tempo de Lavoisier, em que uma nova teoria química destronou a bem instalada teoria do flogisto.

Descrevem-se as estratégias e apresentam-se materiais didácticos que foram preparados e testados na sala de aula, num diálogo saudável entre a teoria e a prática, ajudando a legitimar o quadro teórico que o primeiro número desta colecção clarifica.

Na descrição da estratégia vão-se esclarecendo as opções tomadas e epistemologicamente fundamentadas no Ensino Por Pesquisa. O conjunto de materiais apresentados constitui um modo possível de concretizar a estratégia definida. Nem a estratégia, nem os materiais são o modo único de ensinar a temática escolhida, mas são um contributo que consideramos válido, uma vez que colheu uma boa avaliação por parte dos participantes e se mostrou coerente quando confrontado com o quadro conceptual que o fundamentou.

É por isso nosso voto que um tal exemplo de estratégia possa constituir um desafio à inovação, em particular para os professores de Física e Química e formadores de professores, não só para o analisarem criticamente com outros colegas mas também para o testarem com os seus alunos. Pode ainda servir como ponto de apoio para a planificação de outras temáticas igualmente relevantes e em que a História da Ciência pode constituir uma referência de valor acrescido, ou pode também ser tomado como material para uma reflexão crítica sobre novos desafios que os tempos colocam ao ensino das Ciências.

Centro de Estudos de Educação em Ciência

Novembro de 2002.

ÍNDICE

RAZÕES DA SELECÇÃO DO TEMA "CONSERVAÇÃO DA MASSA NAS REACÇÕES QUÍMICAS"	1
O TEMA NO PROGRAMA DO ENSINO BÁSICO	1
FORMA TRADICIONAL DE ENSINO DO TEMA "CONSERVAÇÃO DA MASSA NAS REACÇÕES QUÍMICAS"	2
ORIENTAÇÕES E INDICAÇÕES METODOLÓGICAS DO PROGRAMA	3
SUGESTÃO DE UM PERCURSO DE DESENVOLVIMENTO NA SALA DE AULA	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
BIBLIOGRAFIA	23
DOCUMENTOS	27

Apresentar aos alunos as influências históricas da ciência na sociedade e da sociedade na ciência pode ajudar a alcançar o objectivo da cidadania.

Bybee et al. 1991

O conhecimento dos alunos pode ser mais seguramente construído se o processo da construção do conhecimento científico for, ele próprio, uma parte explícita do currículo de ciência.

Monk & Osborne, 1997

RAZÕES DA SELECÇÃO DO TEMA “CONSERVAÇÃO DA MASSA NAS REACÇÕES QUÍMICAS

Algumas das razões que nos encaminharam para a selecção do tema “conservação da massa nas reacções químicas” (Paixão & Cachapuz 1998) prendem-se com a ideia de que se trata de um assunto central para a compreensão da Química como Ciência, com passado e com futuro. É um tema pré-requisito para a compreensão subsequente de toda a Química; tem igualmente importância no contexto social e tecnológico actual e previsivelmente futuro, em particular porque tem uma ligação implícita com as reacções de combustão. Sobressai ainda o valor histórico e cultural da temática pela correspondência a um período da História da Humanidade e da História da Ciência forte de implicações políticas, económicas, sociais, científicas, com uma abundância de ingredientes epistemológicos que podem ajudar a criar imagens mais consistentes sobre a ciência e a construção do conhecimento científico. Após a comemoração dos 200 anos da morte de Lavoisier (1743-1794) a literatura disponível sobre este tema aumentou substancialmente tornando-o um assunto bem documentado.

O TEMA NO PROGRAMA DO ENSINO BÁSICO

O tema em análise insere-se no Programa de Física e Química em vigor para o 3º Ciclo do Ensino Básico, Unidade temática 2 da Química de 8º ano: "Substâncias químicas: o que são e o que se faz com elas". Entendemos que se trata de um assunto central para a compreensão da Química como Ciência, com passado e com futuro. Imbuído de forte componente histórica, é o início do estudo das reacções químicas, da nomenclatura da Química, da constituição da matéria e do estudo das teorias que permitem a interpretação das reacções químicas. No Programa, as indicações vão para um início pelo conceito de reacção química (formas e agentes que provocam reacções químicas), passa-se à teoria corpuscular da matéria e, em seguida, à lei da conservação da massa interpretada em termos de conservação do número de átomos, justificando assim, como aí se refere, o acertar das equações químicas.

A proposta de ensino, implícita no Programa, sobrevaloriza o ensino da Química em termos de "exposição académica dos assuntos científicos" que o Programa pretende, teoricamente, refutar (Programa 1995, 5). Para o ponto programático no qual se pode incluir a temática que seleccionámos "2.3. Transformações de substâncias em relação com a sua constituição 2.3.1. Investigando acerca da massa nas reacções químicas. a) Conservação da massa. b) Reacções químicas como rearranjos de átomos. c) Fundamento da escrita de equações químicas", é notória a apresentação numa estrutura e sequência puramente académicas, em que não se relacionam aspectos que estão profundamente entrosados cientificamente e nas suas raízes históricas, sociais e tecnológicas como a questão da investigação acerca da massa nas reacções químicas. Aliás, tal afirmação que fazemos pode ser sustentada pelo objectivo aí definido: "Investigar acerca da massa nas reacções químicas na perspectiva da escrita de equações químicas", que se apresenta numa forma muito redutora. Os objectivos específicos apontados, ao nível das Sugestões Metodológicas, num trilho instrumentalista que parece caracterizá-las, são: "verificar através de experiências que nas reacções químicas não há variação de massa; Interpretar a conservação de massa em termos de conservação de átomos, associados de maneira diferente; Representar reacções por equações químicas, em exemplos simples" (Programa 1995, 56). Não se refere, aliás, o nome de Lavoisier (ou de qualquer outro químico), apresentando uma ciência sem rostos e que traduziria de forma fiel, a realidade.

FORMA TRADICIONAL DE ENSINO DO TEMA "CONSERVAÇÃO DA MASSA NAS REACÇÕES QUÍMICAS"

Uma proposta muito comum para o ensino do tema "conservação da massa nas reacções químicas" é a "verificação da lei de Lavoisier" por recurso à reacção entre as soluções aquosas de nitrato de chumbo e de iodeto de potássio, para se obter iodeto de chumbo, que precipita, e solução aquosa de nitrato de potássio. As estratégias tradicionais no ensino deste tema bem como as "fichas" que servem de suporte, numa forma só aparentemente neutra, encerram quase sempre posicionamentos muito conotados com epistemologias de raiz positivista e que não incluem vertentes

potenciadoras de aprendizagens significativas (Paixão 1997). Tais abordagens propõem objectivos muito limitados e tratam a questão da conservação da massa como um falso problema, ignorando-se a conservação da massa em reacções em que alguma das substâncias envolvidas se apresenta em fase gasosa. A proposta habitual representa uma sequência linear em que a concretização dos vários passos propostos conduziria à conclusão, a retirar pelos alunos, numa ilusão de descoberta e numa ideia de facilitismo (no sentido de que uma única experiência se mostra suficiente para tirar uma conclusão ou para confirmar uma lei, que, neste caso particular, foi tão polémica no seu contexto de descoberta). É, pois, o contexto de justificação que sobressai. São evitados os erros pela indicação de todos os passos a seguir ou pela demonstração directa pelo professor, não existem questões problematizadoras antecedendo a experiência e não se têm em conta as ideias dos alunos. Trata-se principalmente de estratégias centradas na observação e na valorização do carácter meramente instrumental da experiência, em que estão ausentes outros aspectos do trabalho experimental que a perspectiva de Ensino Por Pesquisa valoriza. Em particular, está ausente a referência histórica, ou então esta tem um papel meramente ilustrativo, no remate da aula. No essencial, todo o percurso experimental está direccionado para a ilustração dos produtos da Ciência e da imagem desta como uma retórica de conclusões.

ORIENTAÇÕES E INDICAÇÕES METODOLÓGICAS DO PROGRAMA

Mas se, no Programa, as Sugestões Metodológicas (SM) para a organização do ensino/aprendizagem parecem afastadas das orientações recentes da Didáctica das Ciências e se mostram indutoras de um ensino muito tradicional, os Princípios Orientadores (PO) permitem flexibilidade e autorizam abordagens mais diversificadas, reconstruídas pelo próprio professor. O Programa Oficial em vigor deve, efectivamente, ser tomado como um documento orientador do trabalho docente pelo que, uma análise mais detalhada, crítica e fundamentada dos PO (finalidades, objectivos gerais da disciplina...) e das SM e a suposta congruência entre tais aspectos, é indispensável. Efectivamente, de entre as **finalidades** apresentadas no Programa,

figura: "Contribuir para a reflexão sobre a inter-relação Ciência, Tecnologia e Sociedade e para o reconhecimento da Física e da Química como ramos do conhecimento em desenvolvimento permanente e inacabado", em que se aflora um posicionamento epistemológico valorizador de uma perspectiva CTS e do entendimento da forma dinâmica evolutiva da Ciência, podendo pensar-se que não se entende esta apenas como um conjunto de conhecimentos definidos e definitivos e que não é a Ciência exclusivamente como corpo de conhecimentos (como conteúdos académicos) que interessa "passar" para os nossos alunos. O Programa realça **objectivos gerais** relacionados com a Ciência enquanto processo: "Adquirir procedimentos e métodos inerentes à forma como a Física e a Química analisam e estudam os fenómenos e situações"; "Adquirir saberes e práticas..."; "Adquirir competências e práticas de recolha, selecção, interpretação, organização e apresentação da informação...". Ao nível de tais **objectivos**, é ainda valorizado o "conhecer e analisar criticamente implicações da Ciência e da Tecnologia na Sociedade actual". De acordo com as finalidades e os **objectivos gerais** podemos entender que se considera a compreensão da natureza da Ciência e do conhecimento científico, a compreensão da natureza do trabalho científico e, muito em particular, subentender, embora implicitamente, aspectos da História da Ciência que realcem a importância da construção de imagens sobre a ciência e a natureza do conhecimento científico.

Significa isto que, no que respeita aos **Princípios Orientadores**, apesar da ausência de uma linha epistemológica definida e globalmente coerente, o Programa prevê uma abordagem que se pode orientar em consonância com as tendências actuais sobre o ensino e a aprendizagem das Ciências. Podemos igualmente salientar que, do ponto de vista pedagógico, o Documento é igualmente bastante diversificado em indicações respeitantes a aspectos como gestão do tempo, participação dos alunos, trabalho experimental, formas de comunicação, escolha e utilização de materiais de ensino, fornecendo algumas pistas metodológicas interessantes. Nestes pontos, algumas vezes são referidos aspectos actuais da compreensão da aprendizagem dos alunos.

No que diz respeito a **Sugestões Metodológicas**, o Programa afasta-se, notoriamente, de perspectivas acima referidas e remete agora, em nossa opinião, para uma perspectiva de ensino muito tradicional e linear. A forma assumida conduz, inevitavelmente, a parcelamentos e detalhes, sem fazer sobressair o central do acessório

e dando ao conhecimento científico um carácter instrumental. Nos objectivos específicos enunciados perdem-se de vista as grandes finalidades, as linhas mestras que eventualmente conduziram à selecção da sequência que propõe, centrando-se no domínio cognitivo e esquecendo a Ciência como percurso de uma actividade humana em que atitudes, valores, capacidades de expressão e criatividade deveriam sair reforçados na escolaridade básica.

Assim, apesar de os PO permitirem uma leitura, eventualmente, numa perspectiva mais actual, as SM não parecem articuladas com tais PO e, num balanço global, podemos dizer que, no Programa, nessas SM não se atribui valor ao contexto da descoberta que aporta sentido à versão científica actual. Bem pelo contrário, o que se valoriza é o contexto de justificação e, muito particularmente, os "produtos" da Ciência, isto é, a Ciência como retórica de conclusões. Situam-se numa perspectiva de que a Ciência cria conhecimentos à imagem do Mundo e válidos eternamente em si mesmos, que a Ciência tem uma estrutura invariante, rígida na forma e no percurso, de que a Física e Química seriam o espelho fiel. Não se consideram os avanços e recuos, aceitação e rejeição, obstáculos e incentivos, ou a problemática social da Ciência e valoriza-se, afinal, a acumulação de conhecimentos não controversos, de termos, factos, leis, aplicados em cálculos algorítmicos... No essencial, estas são imagens inadequadas de Ciência passadas para os cidadãos que, com ela convivendo, não valorizam essa convivência de forma esclarecida.

O que acontece é que, muitas vezes, o professor cinge-se ao Programa, no sentido meramente prescritivo das cerradas Sugestões Metodológicas, desconhecendo que pode enveredar por outras perspectivas de planificação para o seu ensino conducentes a melhores e mais significativas e interessantes aprendizagens nos alunos, de acordo com orientações da investigação em Didáctica das Ciências e que, afinal, os PO permitem. Deste modo, apresenta-se uma proposta de planificação para o tema "conservação da massa nas reacções químicas", que pode ser integrada no Programa em vigor mas afastando-se consideravelmente das sugestões aí apontadas. Dado tratar-se de uma temática central da química, terá sempre lugar em qualquer programa que possa vir a ser proposto. Trata-se, mais, de uma abordagem com recurso à História da Ciência ressaltando aspectos de controvérsia histórica que ajudam a compreender um período intenso da actividade da ciência química, como o foi a questão da conservação da

massa, no tempo de Lavoisier, em que o confronto teórico foi fundamental. Tal planificação foi desenvolvida, na prática de ensino, por vários professores.¹

Embora possa parecer que se trata de uma planificação que gasta maior número de aulas que a forma tradicionalmente seguida, tal não corresponde a uma criteriosa avaliação. Geralmente os professores gastam quatro ou cinco aulas apenas com a demonstração experimental já referida e com o acerto de equações das reacções químicas. Precisam, além disso, de algumas aulas de resolução de fichas de exercícios e acabam por dar conta que os alunos continuam com dificuldades na sua resolução, mesmo que algorítmica e, em particular, na compreensão do assunto. A sugestão apresentada despende sete aulas, mas considera-se significativamente mais adequada para um entendimento da Ciência numa perspectiva actual, o que justifica tal acréscimo de tempo.

SUGESTÃO DE UM PERCURSO DE DESENVOLVIMENTO NA SALA DE AULA

A proposta de ensino do tema que se apresenta², ainda que sumariamente, inicia-se pela contextualização social, ambiental e política do assunto que se vai tratar, apelando para a importância actual do tema, dando maior significado à aprendizagem do assunto pelos alunos. Neste sentido, o professor pode apresentar, textos da imprensa, "slides" ou imagens com situações em que as reacções químicas de combustão são centrais, tal como: Reciclagens, motores de combustão, fogos florestais, Centrais térmicas, etc. Identificam-se as combustões como reacções químicas referindo-se indicadores de que o são.

A **questão-problema** que se vai tornar o fio condutor das aulas vai girar em torno da alteração, ou não, da massa das substâncias finais relativamente à das substâncias iniciais, numa combustão, ou seja, quando uma substância arde (a massa é entendida como uma propriedade da matéria relacionada com a quantidade daquela e

¹ Daremos conta de alguns comentários desses professores, bem como de algumas opiniões dos respectivos alunos.

² Sugere-se que se acompanhe esta leitura com a consulta da Fig 4.28 - Quadro-síntese da planificação diária. Os Documentos (Doc) referidos no texto e na Fig 4.28 apresentam-se em Apêndice, na sequência do texto.

que se determina com uma balança, numa definição de tipo operacional, que parece a mais adequada ao nível etário dos alunos a que se destina).

É conveniente, professor e alunos, fazerem **registo das ideias** surgidas, resultantes de discussão de grupo ou de forma individual, para poderem ser confrontadas em momentos posteriores, inclusivamente no quadro de uma avaliação formativa. Inicialmente o registo pode ser feito no quadro para em seguida se agruparem as ideias centrais que os alunos devem registar nos cadernos ou fichas de trabalho com indicação de que se trata das suas próprias ideias e das dos colegas àquela data.

O professor deve fazer referência ao texto de apoio (Doc 20) "**Uma teoria para interpretar as reacções químicas de combustão**", que distribuirá aos alunos para leitura e para resposta a algumas questões. Deve ser esclarecido sumariamente o que é uma teoria, embora tal já tenha surgido, provavelmente noutras ocasiões recentes (teoria cinético-corpúscular, por exemplo). É conveniente o professor esclarecer igualmente a diferença entre os conceitos de massa e de peso (o passeio de Neil Armstrong na superfície da Lua em 1969 é sempre um bom exemplo a explorar) e alertar para o uso do termo "peso", em alguns Documentos de Lavoisier, a distribuir, ou a que os alunos tenham acesso.

Após a leitura do texto que se refere à primeira grande teoria química, a teoria do flogisto, alguns alunos poderão reforçar as suas ideias sobre a alteração de massa nas reacções de combustão. O professor deve igualmente sublinhar a importância do contexto sócio-cultural da emergência dessa teoria e ainda que não se trata de "decorar" a teoria do flogisto mas tão só como referência de dinâmicas de construção do conhecimento científico. Confrontam-se as ideias do texto, que os alunos devem ser incentivados a sublinhar e organizar, com as ideias que registaram nos cadernos. Inicia-se, desta forma, um registo organizado de ideias que, o mais possível, vão sendo justificadas pelos seus adeptos. Na turma, os alunos podem ser redistribuídos em grupos de acordo com as posições defendidas.

O professor pode então questionar sobre o que pensam que acontece a respeito da massa nas reacções químicas que são propostas na ficha de Trabalho Experimental que, em seguida, distribui aos alunos (Doc 21). Tais situações, envolvendo a combustão (em sistema aberto) de algodão, ferro e álcool, têm a intenção de criar oportunidade de

os alunos poderem fazer as suas previsões com base nas teorias por eles aceites e defendidas. São propostos dois materiais sólidos que, em sistema aberto, oferecem situações opostas (enquanto que no caso do algodão se observa uma diminuição de massa (libertação de dióxido de carbono), no do ferro ocorre um aumento de massa (formação do óxido de ferro, sólido)) e um material líquido, o álcool, que tem um comportamento semelhante ao algodão (por se tratar de um hidrocarboneto em que há libertação de dióxido de carbono). Devem ser dadas indicações aos alunos sobre os registos a efectuar. O professor pode aproveitar a oportunidade para referir o modo de trabalhar dos cientistas que partem para situações experimentais com previsões e expectativas de resultados que condicionam a interpretação que é feita e as conclusões que se tiram (e não ao invés). A experiência aparece aqui como uma "observação planeada" e não como improvisação mais ou menos feliz (típica da perspectiva de Ensino Por Descoberta). As demonstrações experimentais pelo professor e o registo que os alunos efectuam (segundo a Ficha de TE – Doc 21) permite a exploração da concordância, ou não, dos resultados observados, com as previsões feitas.

Confrontando com as ideias do texto do Doc 20, o professor deve aproveitar a oportunidade para falar das situações, sempre problemáticas, que se geram nas comunidades científicas e/ou entre os cientistas, quando os seus resultados parecem discrepantes das interpretações permitidas pelas teorias por eles, de momento, aceites. São situações, em termos kuhnianos, de "rombos no paradigma", nem sempre fáceis de admitir e, muito menos, fáceis de superar, pelos cientistas. É assim importante referir a existência de fases de conflitualidade em determinados períodos da construção de conhecimento científico para ajudar a criar uma imagem de ciência em que o contexto de descoberta é muito importante, o contributo da comunidade de cientistas igualmente o é, e a dependência do aperfeiçoamento e desenvolvimento tecnológico, a alteração de técnicas e outros factores, funcionam como aspectos importantes a ter em conta.

Neste sentido, o professor pode fazer uma breve referência ao desenvolvimento da Química Pneumática e o contexto do seu desenvolvimento, nomeadamente os contributos de Black, Priestley, Cavendish... com as descobertas e identificações dos gases. A intenção não é, naturalmente, que os jovens alunos "encham a cabeça de nomes estranhos" mas sim criar a oportunidade para fazer referência à dificuldade de atribuir uma descoberta a uma única pessoa. A diferença entre isolar o gás oxigénio e

reconhecê-lo como tal, e a importância da teoria que orienta a investigação, são aspectos que o professor pode realçar.

Do ponto de vista kuhniano (e também lakatosiano) são importantes as suspeitas de que alguma coisa começa a criar desacordo com a teoria estabelecida e os esforços que são envidados no sentido de superar as anomalias criando hipóteses adicionais e cercando o Programa de Investigação Científica de hipóteses auxiliares. Lavoisier é um jovem iniciado na teoria de Stahl e as suspeitas a propósito da participação do ar nas combustões começam a ganhar relevância. A partir deste ponto já se torna possível, na sala de aula, estabelecer alguns paralelos, e tornar disso conscientes os alunos, entre a História da Ciência e o percurso que eles estão a seguir. Assim, tem sentido os alunos lerem e discutirem o Texto de apoio: **"A caminho de uma teoria para interpretar as reacções químicas de combustão"** (Doc 22), em que se pretende, a partir das descrições pormenorizadas sobre as condições experimentais é sobre as reflexões do próprio Lavoisier, que os alunos reconheçam a necessidade de uma teoria para orientar a experiência, bem como alguns aspectos referentes ao trabalho dos cientistas, e compreendam a dificuldade de substituição de uma teoria por outra.

O trabalho experimental proposto na Ficha (Doc 23) pode ser realizado em grupos de quatro/cinco alunos (tendo em conta que no 8º ano pode ocorrer desdobramento da turma em turnos aconselha-se, caso seja possível, a concretização desta ficha com a turma desdobrada). Embora tratando-se de uma situação experimental eventualmente já tratada pelos alunos em anos anteriores é importante que tomem consciência de que Lavoisier não dispunha das informações que temos hoje e que portanto as suas hipóteses eram ideias que o orientaram nas suas realizações experimentais que exigiam, depois, uma interpretação cuidadosa.

É distribuído o Texto de Apoio (Doc 24): **"Uma nova teoria para interpretar as reacções químicas de combustão"** que completa a Ficha Experimental anterior (Doc 23) e a que os alunos podem responder, em grupo, às questões que são propostas (pode ser trabalho de casa). Deve explorar-se a importância das ideias em Ciência e da sua relação com a experiência no estabelecimento da nova teoria. Com a referência que é feita a Priestley, a par de aspectos relativos à controvérsia entre cientistas que apoiam teorias diferentes, pode explorar-se a imagem do cientista que pretende reunir

argumentos a favor da sua teoria para interpretar as reacções de combustão, o que permite discutir a dificuldade da própria construção do conhecimento científico.

É distribuído o Texto (Doc 25): "Lavoisier realiza a síntese da água. A lei da Conservação da massa nas reacções químicas" respondendo os alunos às questões propostas. Na discussão das questões o professor pode ir acompanhando com a projecção de transparências contendo o enunciado do princípio da conservação da massa tal como Lavoisier o escreveu no seu *Traité Élémentaire de Chimie*, os registos de pesagens e cálculos, desenhos de aparelhos e montagens experimentais usados, etc...(exemplo Doc 26).

Pode pôr-se então a questão de como podemos resolver o problema do controlo da massa que, nas situações experimentais iniciais, parecia alterar-se. A partir da interpretação da situação que fora proposta na Ficha de Trabalho Experimental (Doc 22), e das discussões sobre os textos do percurso histórico (orientadas pelas questões das Fichas), os alunos estão em condições de fazer um ponto da situação relativo às suas interpretações sobre a alteração, ou não, da massa nas reacções de combustão e de planear experiências que possam ajudar a compreender (dar resposta) as novas situações (Doc 27)¹. É necessário despertar os alunos para a necessidade de integrar as novas "suspeitas" criando novas hipóteses de trabalho que orientam a investigação, numa perspectiva de trabalho de pesquisa.

Ao realizar as experiências planeadas impõe-se um registo cuidadoso das observações e de aspectos problemáticos (eventualmente erros, dúvidas ou outras anomalias) que possam ocorrer. Em aspectos como, por exemplo, na leitura do valor da massa na balança, o professor deve certificar-se que os alunos compreendem bem, e registam com cuidado, os dados necessários para uma interpretação posterior.

Os alunos devem perceber a importância de controlar variáveis e daí que se devam aperceber da importância de realizar, em sistema fechado, as combustões de alguma das substâncias da Ficha de Trabalho Experimental (Doc 21). Tratando-se de situações planeadas pelos próprios alunos, ou com a sua participação activa, estes devem descrever inicialmente o procedimento e fazer esquemas da montagem e compreender muito bem para que vão realizar a experiência, para que possam analisar

os resultados obtidos e confrontá-los com as suas ideias iniciais. Nesta fase do percurso o papel do professor é principalmente o de um consultor. Em particular, o professor deve ajudar a esclarecer os alunos sobre o que pretendem na pesquisa que vão conduzir. Convém ressaltar que é algo de formalmente semelhante o que se passa actualmente nas equipas de investigação. As questões que se apresentam na Ficha de Trabalho Experimental (Doc 27) devem ser discutidas pelos grupos de alunos com o professor para que este se certifique de que os alunos partem para a actividade experimental conscientes do que procuram. Seria conveniente que esta actividade decorresse, igualmente, com a turma dividida em turnos.

No registo a efectuar pelos alunos (relatório) deve constar o problema, como foi colocado, a hipótese ou hipóteses emitidas, o desenho experimental, comentários, erros e dificuldades surgidas no processo... Tais aspectos devem colocar-se relativamente às situações práticas, para que os alunos tenham uma visão de conjunto e uma compreensão das distintas actividades que se têm que realizar numa investigação para não correr o risco de ser entendido como uma mera ilustração, e reter apenas o resultado acrítico. Há ainda que fazer sobressair a necessidade de obter um elevado grau de segurança nos resultados encontrados bem como ter consciência de possíveis fontes de erro. Os alunos, além disso, habituam-se, progressivamente, a efectuar registos por escrito e de forma ordenada, desenvolvendo simultaneamente o domínio da língua materna.

Para casa distribui-se aos alunos o Texto de Apoio (Doc 28)³: "Percurso da alteração de uma teoria científica. A interpretação das Reacções de Combustão e o Princípio da Conservação da Massa" que fornece aspectos adicionais sobre o contexto da descoberta de uma nova teoria científica. O professor deve dar indicações que motivem e orientem para a leitura do texto. É suposto os alunos estarem agora capazes de compreenderem alguns dos múltiplos aspectos que envolvem a substituição de uma teoria científica por outra que a suplante em interpretações e em previsões,

³ A Ficha de Trabalho Experimental (Doc 27) pode servir apenas ao professor para confronto com o planeamento dos alunos. Pode ser utilizada como Ficha proposta aos alunos numa diferente estratégia em que o planeamento experimental seja, por exemplo, um exercício colectivo da turma.

⁴ O texto de apoio (Doc 28) pode ser livremente construído com base na biografia de Lavoisier e no contexto científico, social, económico, político... do século XVIII ou, em alternativa, ser substituído por um conjunto de livros de história da ciência relativos à temática. Igual consideração pode ser feita para o texto (Doc 25) que apesar de se apresentar na forma como foi originalmente concebido, pode ser substituído por informação pelo professor acompanhada da projecção de figuras já referidas.

conduzindo a muitas alterações a níveis vários, mostrando assim a interrelação entre a sociedade e a ciência ou entre o desenvolvimento tecnológico e a ciência, e vice-versa, bem como entre estas e a política, as ideologias ou as questões económicas. Seria vantajoso que os alunos dispusessem de tempo para tal leitura e para dar resposta às questões que são propostas.

Deve fazer-se a discussão das respostas dadas pelos alunos de forma a integrá-las com as respostas já dadas a outras questões levantadas por textos e fichas anteriores. O professor deve estar atento ao significado das respostas dadas pelos alunos para inferir do grau de compreensão do assunto revelado pelas respostas. É importante alertar aqui o professor para a imprescindibilidade de manter o entusiasmo/interesse dos alunos pelas situações discutidas e ir sempre confrontando as ideias deles sobre a questão da conservação da massa, no início do estudo do tema e após estas discussões. Levantar com frequência a questão inicial e trazer ao de cima a forma de trabalhar dos cientistas, a importância do contexto, os contributos externos, a discussão na comunidade científica, a dificuldade de impor uma teoria nova em confronto com a anterior, os adeptos e adversários, a importância e a forma da comunicação dos resultados e sua divulgação, as consequências da nova teoria em termos científicos, em termos sociais, económicos... A leitura, ou a construção, de um texto permite igualmente fazer sobressair a dimensão humana da ciência através dos seus protagonistas. Assim, é a imagem dos cientistas enquanto pessoas em contexto, que pode ser explorada. Deve fazer-se referência, em particular, a aspectos da vida quotidiana de Lavoisier, à sua actividade profissional como cobrador de impostos e, muito em particular, como Director da fábrica de pólvora, à colaboração da sua esposa Anne-Marie Paulze, nomeadamente como autora dos desenhos que perpetuaram os instrumentos e montagens experimentais de Lavoisier, como tradutora de obras de outros químicos, etc.. É importante incentivar os alunos a conhecerem melhor aspectos da vida quotidiana de Paris dos finais do século XVIII, nas vésperas e nos dias da Revolução Francesa, numa perspectiva de interdisciplinaridade com a História. Tal aspecto pode ser comunicado pelo professor de FQ ao professor de História da turma e, eventualmente, resultar num trabalho interligado e/ou de projecto mais alargado.

É igualmente importante que os alunos tornem consciente o percurso da alteração dos seus próprios pontos de vista, num exercício metacognitivo. O professor

deve aperceber-se qual a natureza das alterações das ideias iniciais dos alunos confrontando-os com elas, através de respostas às questões e do confronto com os registos efectuados. Depois disto, os alunos terão compreendido questões como a participação e papel das substâncias gasosas nas reacções químicas, o papel do oxigénio como reagente nas reacções químicas de combustão... e, simultaneamente, vão adquirindo sobre a ciência e a construção do conhecimento científico uma imagem mais consistente com uma perspectiva actual. É importante que percebam que uma hipótese não fica confirmada com uma simples experiência escolar. É conveniente referir as corroborações evidenciados por muitas outras situações científicas, altamente controladas e com percursos experimentais mais precisos, bem como a sua enorme coerência no âmbito de uma teoria.

Convém utilizar a experiência para insistir e alertar os alunos para o perigo de generalizações apressadas e acríicas baseadas no senso comum. Situações como esta podem ajudar a compreender melhor aspectos relacionados com a metodologia científica. Há que contar sempre com erros inerentes aos sistemas e às pessoas, que vão sendo tentativamente eliminados ou minimizados, porque tornados conscientes, e não porque ignorados.

O professor não deve concluir que fica erradicada a previsível ideia inicial dos alunos de que há alteração de massa nas reacções químicas. É necessário voltar frequentemente a discutir tal ideia em reacções químicas diferentes analisando a influência de a reacção decorrer em sistema aberto, ou seja, a identificar sempre nas reacções químicas a realizar, todos os reagentes e todos os produtos da reacção. A posterior escrita simbólica das equações das reacções químicas e o treino do acerto dessas equações pode ajudar a estruturar a ideia da conservação da massa. É importante, também, que os alunos comecem a perceber o princípio da conservação da massa no âmbito de uma teoria (primeiro uma teoria macroscópica e posteriormente inserida na teoria atómica).

É então a altura de avançar, na forma de ampliar os conhecimentos dos alunos, para uma segunda questão-problema, na sequência da resposta à anterior.

Num novo paradigma há novas questões e novos problemas que fazem sentido e sobre os quais os cientistas se passam a debruçar, à luz da nova teoria. Tal questão pode surgir na forma: "Será que a conservação da massa ocorre noutras reacções

químicas, além das combustões?" O professor pode fazer, eventualmente, referência a estudo anterior, sistemático, que terá sido eventualmente já feito sobre as reacções químicas.

Um aspecto que está subjacente diz respeito a uma outra vertente e pode ser explorado pelo professor: "Será que uma só experiência é suficiente para estabelecer um facto?".

É então pertinente partirem para a realização do conjunto das Fichas de Trabalho Experimental (Doc 29)⁵, que se sugere que sejam distribuídas pelos vários grupos de alunos com a informação de que se trata de actividades diferentes, por cada grupo, cujas descrições e conclusões vão ser posteriormente comunicadas à turma em forma de colectivo. A intenção é que diversos grupos de alunos realizem diferentes tarefas, que no conjunto aportem situações variadas, incluindo tipos de reacções químicas diversificadas e em que se vai mais além da habitual ficha de trabalho experimental única. Para a realização das tarefas seria aconselhável a aula de turno, embora tenha que ser feito um balanço entre a executibilidade da tarefa e o número de aulas proposto.

Sobre a forma de comunicar o percurso da realização da tarefa experimental e os resultados obtidos e a importância epistemológica associada à exploração de tal aspecto didáctico, interessa compreender que se trata de tentar recriar o ambiente da comunicação de resultados científicos no seio de uma comunidade em que a questão da intersubjectividade é fundamental. Faz-se assim a comunicação/apresentação dos resultados pelos grupos, à turma. O professor tem o papel de organizar os temas do debate e promover a partilha de conhecimento, assegurando que incorrecções sejam, no final, superadas. Todos devem ser incentivados a questionar a validade dos resultados e das conclusões apresentadas pelos colegas, sem o que o valor intrínseco deste exercício fica prejudicado.

Todas as fichas de trabalho experimental apresentadas propunham a escrita de equações de reacções químicas por palavras. De forma oral o professor pode fazer a passagem para a escrita simbólica das equações das reacções químicas. Tomando a lei da conservação da massa como ponto de partida, a teoria cinético-corpúscular e ainda a

⁵ Apesar de terem sido elaboradas e utilizadas cinco Fichas diferentes apresenta-se, no final, apenas um exemplo, por economia de espaço e porque todas seguem igual estrutura, diversificando apenas a reacção química proposta.

escrita simbólica de átomos e de moléculas das substâncias, tal implica a conservação do número total de átomos e das suas espécies, e daí a necessidade de acertar as equações das reacções químicas. A articulação entre o macroscópico e o microscópico é sempre difícil. Uma boa sugestão de trabalho é analisar cuidadosamente com os alunos a necessidade de haver, de alguma maneira, "invariantes" durante a reacção química de forma a que a massa se conserve. Tais "invariantes" (como peças de jogos de construção que se não destroem mas se recombinaem – a analogia deve ser cuidadosamente explorada) têm naturalmente a ver com a ideia de elemento e da sua conservação durante uma reacção química. A utilização de modelos moleculares tem todo o sentido e deve ser cuidadosamente planeada. Ou seja, explora-se, assim, a conhecida frase de Lavoisier: "nada se cria, nem nas operações da arte nem nas da natureza, e podemos tomar como princípio que, em toda a operação existe uma igual quantidade de matéria antes e depois da operação; que a qualidade e a quantidade dos princípios é a mesma e que não ocorrem mais do que mudanças, ou seja, modificações".⁶

Como exercícios de estruturação das aprendizagens acerca do acerto das equações das reacções químicas, o professor pode passar como trabalho de casa, alguma ficha do Manual Escolar.

A terminar deve fazer-se uma síntese final com a colaboração de todos, unindo os conceitos com os processos, incluindo elementos de ligação que a abordagem pela via da História da Ciência, do uso do Trabalho Experimental e da consideração da perspectiva CTS, permitiu. A ligação com assuntos que se seguem no Programa é facilmente estabelecida.

Como opção, propõe-se a realização de uma visita de estudo a uma Central Térmica, ressaltando a importância da cooperação escola/indústria, com o objectivo de compreender as relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade⁷.

A avaliação deve ter lugar sob formas diversificadas ao longo do processo. É, contudo, mais tarde que convém apreciar do significado das aprendizagens conseguidas pelos alunos. O professor procura saber se os alunos compreenderam o significado do

⁶ Traduzido do *Traité Élémentaire de Chimie in Oeuvres de Lavoisier*, 1864, Paris: Imprimerie Impériale, p. 101.

⁷ Foram efectuadas visitas à Central Térmica do Pêgo, Abrantes, pelos alunos e professores que estiveram envolvidos no desenvolvimento da proposta aqui apresentada, no âmbito do Programa Ciência Viva (Ministério da Ciência e Tecnologia, PI - 164 e PII - 475).

que esteve em discussão, se são capazes de trazer ao de cima as suas primeiras ideias e de as confrontar com as novas ideias. Os próprios alunos avaliam o seu próprio percurso e as suas aprendizagens assim como colaboram na avaliação dos colegas, uma vez que trabalharam de forma solidária e cooperativa. Pode fazer-se igualmente uma avaliação, nomeadamente do interesse dos alunos nas actividades desenvolvidas. O professor pode registar a participação dos alunos nos debates e nas actividades experimentais através de uma ficha de observação.

Não se pretende, como é evidente, que esta proposta seja encarada de uma forma rígida, a ser percorrida pelo professor com os seus alunos num número fixo de aulas e de modo inalterável, mas sim que seja encarada como uma sugestão de percurso com necessidade de adaptação às turmas e aos alunos concretos, e ao professor enquanto pessoa e profissional. Os próprios documentos, como foi esclarecido, não têm uma utilização única. Por exemplo o Doc A6 (texto 4 - "Lavoisier realiza a síntese da água. A conservação da massa") pode ser lido na aula, lido em casa, ou explorado directamente pelo professor e ilustrado com transparências relativas aos instrumentos e técnicas de laboratório envolvidas. Do mesmo modo o Doc A9 (texto 5), a que foi feita referência pode revestir diversas formas de abordagem, que o professor decide.

Apresenta-se o **Quadro-síntese da planificação diária** sugerida (Fig 4.28), incluindo objectivos, estratégias/ actividades e indicação dos materiais a que se foi fazendo referência no texto, e que se incluem.

Figura 4.28:

Quadro-síntese da planificação diária sugerida. (Legenda - Doc: Documento; TE: Trabalho Experimental; TA: Texto de Apoio; TPC: Trabalho Para Casa)

Aula	Objectivos	Estratégias/Actividades	Materiais
1	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a estreita relação C T S, através da relevância das reacções de combustão - Compreender que uma teoria científica pretende ser explicativa - Fazer previsões com base numa teoria que se aceita 	<ul style="list-style-type: none"> - Contextualização/ questão-problema/ - Registo das ideias dos alunos - Leitura crítica e resposta às questões do Texto "Uma teoria para interpretar as reacções químicas de combustão" (Doc 20) - Demonstração experimental antecedida de previsões com base nas teorias que se aceitam (Doc 21) - Registos do Trabalho Experimental (TE) 	<p>Slides</p> <p>Doc 20- Texto de Apoio (TA)</p> <p>Doc 21- Ficha de TE</p>
2 TPC	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar as dificuldades da teoria do flogisto para explicar as reacções de combustão. - Reconhecer a necessidade de uma teoria para guiar a experiência - Compreender a relação das ideias com a experiência no estabelecimento de uma teoria científica. - Apreciar o rigor experimental de Lavoisier. - Compreender a diferença de interpretação dada por teorias diferentes para o mesmo fenómeno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Confronto dos resultados experimentais com as ideias do texto1. - Leitura do texto (Doc 22) "A caminho de uma teoria para interpretar as reacções de combustão" - Realização da ficha de TE (Doc 23): "composição do ar" - Registos do TE - Discussão das respostas às questões da ficha (Doc 23) e do texto (Doc 22) - Leitura do texto (Doc 24): "Uma nova teoria para interpretar as reacções de combustão" 	<p>Doc 22 – TA</p> <p>Doc 23- Ficha de TE</p> <p>Doc 24- TA</p>

3	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o processo de substituição de uma teoria por outra - Organizar o esquema conceptual da teoria do oxigénio - Apreciar a importância da previsão de uma teoria - Reflectir sobre o papel da comunidade científica - Apreciar a importância do contexto social, cultural e tecnológico no desenvolvimento do conhecimento científico 	<ul style="list-style-type: none"> - Análise das respostas às questões do Texto (Doc 25) (lido pelos alunos ou usado pelo professor) - "Lavoisier realiza a síntese da água. A lei da conservação da massa nas reacções químicas". - Ponto da situação, acompanhado de projecção de transparências: enunciado do princípio da conservação, desenhos de esquemas experimentais de Lavoisier... (Doc 26) - Início do planeamento experimental com base na ficha de TE (Doc 27) e nos textos analisados 	<p>Doc 25- TA</p> <p>Doc 26 (transparências)</p> <p>Doc 27- Ficha de TE</p>
4	<ul style="list-style-type: none"> - Planear experiências - Fazer registos adequados - Interpretar experiências à luz da teoria que se aceita - Reconhecer a necessidade de uma teoria para guiar a experiência 	<p>Continuação do planeamento de experiências para confrontar a nova hipótese de que é necessário o oxigénio para a combustão e se conserva a massa.</p> <p>Elaborar lista de material, esquema e procedimentos. Apresentação ao professor das propostas experimentais. Realização das experiências concebidas pelos alunos. Registos.</p>	<p>Projectos dos alunos apoiados pelo professor e/ou TE</p>
TPC	<ul style="list-style-type: none"> - Entender o cientista como pessoa no seu tempo - Compreender a construção dinâmica e controversa da ciência - Compreender que a evolução da Ciência se faz em relação com questões epocais, num contexto social, cultural... 	<p>Leitura do texto - "Percurso da alteração de uma teoria científica. ..." (Doc 28)</p>	<p>Doc 28 (TA)</p>

5	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o poder de previsão de uma teoria científica. - Compreender a lei da conservação da massa nas reacções químicas. 	<p>Segunda questão-problema: Será que a conservação da massa ocorre noutras reacções químicas além das combustões?</p> <p>Realização do conjunto de experiências diferentes por diferentes grupos de alunos.</p> <p>Preparação de material para apresentação dos resultados aos colegas.</p>	<p>Doc 29</p> <p>Diferentes Fichas de TE</p>
6	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicar resultados - Compreender o papel das comunidades científicas na certificação do conhecimento científico - Modificar representações sobre ciência 	<p>Comunicação dos resultados à turma</p>	<p>Materiais dos alunos</p>
7 TPC	<ul style="list-style-type: none"> - Representar reacções químicas por equações químicas - Compreender a articulação macro e micro na questão da conservação da massa. 	<p>Explicação oral, por recurso aos esquemas de palavras das reacções realizadas, do significado da escrita simbólica de equações de reacções químicas. Uso de modelos atómicos e moleculares.</p> <p>Ficha de estruturação da aprendizagem - acerto de equações químicas.</p>	<p>Quadro</p> <p>Modelos atómicos e moleculares</p> <p>Manual Escolar</p>
Saída Opção	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver a cooperação escola/ indústria - Apreçar inter-relação CTS 	<p>Visita de estudo a uma Central Térmica</p>	

COMENTÁRIOS DE PROFESSORES E ALUNOS À APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA

As duas professoras que, inicialmente, desenvolveram a estratégia apresentada nas suas salas de aula valorizaram a "linha condutora", que "ajudou a encarar a prática de ensino de uma outra forma". Valorizando a abordagem mais contextualizada e na perspectiva da história da ciência, o trabalho experimental torna-se igualmente mais consistente. Uma das professoras refere que "os alunos estão habituados a que as coisas lhes caíam do céu" e agora "partir de previsões (...) tentar interpretar essas hipóteses e a

experiência surgir depois porque o tema a proporcionava..." pareceu-lhe conferir um interesse acrescido à proposta de ensino desenvolvida. Por exemplo, uma das professoras confessa que o texto sobre a teoria do flogisto, que inicialmente lhe pareceu um texto difícil, foi "efectivamente entendido e discutido pelos alunos". A opinião é que "o percurso entusiasma os alunos, as experiências eram simples, os textos interessantíssimos e os alunos entendiam-nos". A ideia de que seriam necessárias mais aulas do que habitualmente poderia ser encarado pelos professores como um problema, mas a opinião afasta-se de tal sentimento de "gasto de aulas". Relativamente à avaliação dos alunos, tanto nas formas tradicionais que ainda usou e em que sentiu que os alunos efectivamente respondiam sem dificuldades, como nos relatórios, mais pormenorizados do que habitualmente, se via que eles tinham percebido melhor o assunto.

Já outra professora sentiu que o primeiro texto sobre a teoria de Sthal poderia ser mais simples e os restantes um pouco mais curtos. Esta professora sentiu, por outro lado, que desta forma os alunos aprendem conceitos de ciência mas também têm igualmente oportunidade de formar imagens sobre ciência "valorizando o trabalho pessoal, encarar a ciência, não como truque ou magia... mas mais um resultado de muito esforço, (...) a parte cultural também é importante; também tiveram factos históricos, sociais, políticos... encarou-se esse aspecto muito... a própria política associada ao desenvolvimento da ciência". Nesta perspectiva a professora considera o trabalho experimental muito importante mas relaciona algumas dificuldades com a falta de hábito de os alunos desenvolverem trabalho experimental mais consistente. Refere: "os alunos chegarem aos resultados... tudo lhes corria mal, muitas vezes... e a interpretar... a parte crítica final é extremamente difícil... e encontrar soluções para o que corre mal é muito difícil". Mas é, igualmente, peremptória: "Eu acho que isso foi extremamente importante neles". Considera que os alunos se aperceberam da dificuldade da mudança de uma teoria científica, num percurso de construção do conhecimento científico. A professora, que pediu aos alunos que como síntese da temática tratada apresentassem à turma, em grupo, algum aspecto relativo à substituição da teoria do flogisto pela do oxigénio, fazendo sobressair aspectos do contexto em que tal ocorreu, comenta: "Até se vê na apresentação dos textos finais, que eles dizem que o próprio Priestley descobriu o oxigénio ou ajudou a fazer os trabalhos e defendia sempre o flogisto, o flogisto... eles aperceberam-se disso".

Quanto aos alunos, foram muito receptivos e apreciaram a forma de tratar o assunto: "Foi uma maneira muito diferente de aprender (...) Não foi logo chegar lá e dizer o que era. (...) Até as experiências que eles foram fazendo para chegar a essa conclusão". Acompanharam o percurso realizado e valorizam-no: "Porque se por acaso nos dissessem logo o final nós ficávamos sem compreender, porque nós podíamos ter a nossa ideia... E assim percebemos, fomos percebendo... era um cientista que achava de uma maneira, mas...". E com muito entusiasmo os alunos esclarecem: "Também nunca nos tinha assim aparecido uma situação (...) Isto já era assim uma coisa que nos empolgava mais (...) Fomos acompanhando e foi mais fácil".

Alunos da outra professora referem: "quando se dá a matéria normalmente não estudamos aquilo que os cientistas fizeram anteriormente. E acho que também foi importante e ajudou a perceber tudo melhor". Quanto ao interesse nas aulas: "Achei as pessoas muito interessadas. Acho que... discutiam. Estavam interessadas nas aulas... muitas vezes isso não acontece... Houve discussão...".

Por fim, é importante que se faça sobressair que esteve presente uma lógica de articulação entre inovação e formação. Naturalmente que a planificação apresentada e desenvolvida foi exigente, para professores e alunos, mas o interesse que provocou, pela dose de inovação apresentada, superou as dificuldades. Um dos aspectos que terá contribuído para aumentar o êxito da aplicação da estratégia foi a construção dos materiais didáticos que a apoiaram. Produzir novos materiais e testá-los, como foi o caso na situação apresentada, contribui de forma mais efectiva para alterações nas práticas de ensino habitual. Simultaneamente não teria sido possível a implementação da estratégia apresentada sem o grande empenho que os professores envolvidos puseram na sua formação na vertente epistemológica.

Referências Bibliográficas

Paixão, M.F. & Cachapuz, A.F. (1998). Dimensión epistemológica de los programas de física e química e implicaciones en las prácticas de enseñanza: qué lectura hacen los profesores? *In* Banet, E. & Pro, A. (Coords) *Investigación e innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Volumen I, 284-293.

Paixão, M.F. (1999). Orientações do trabalho experimental: percorrer um caminho do tradicional ao inovador. *In* Trindade, V.M. (Coord.). *Metodologias do Ensino das Ciências. Investigação e Prática dos Professores*. Évora: Universidade de Évora, 183-191.

Paixão, M.F. (1998). *Da construção do conhecimento didáctico na formação de professores. Conservação da massa nas reacções químicas: Um estudo de natureza epistemológica*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Aveiro.

Programa (1995). Física e Química. *Programa e organização curricular. Ensino básico 3º ciclo*. Lisboa: Ministério da Educação.

Bibliografía:

- Acevedo, J.A. (1997). Ciencia, tecnología y sociedad (CTS). Un enfoque innovador para la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 10, 269-275.
- Aikenhead, G.S. (1985). Collective decision make in the school context of science. *Science Education*, 69, 453-475.
- Bensaude-V, B. & Stengers; I. (1996). *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Bybee, R.W.; Powell, J.C.; Ellis, J.D.; Giese, J.R.; Parisi, L. & Singleton, L. (1991). Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education*, 75(1), 143-155.
- Caamaño, A. & Vilches, A. (2001). La alfabetización científica y la educación CTS: un elemento esencial de la cultura de nuestro tiempo. *Enseñanza de las Ciencias*, n1 extra, tomo 2 (VI Congreso), 21-22
- Cachapuz, A.F. & e Paixão, F. (2002). Placing the History and the Philosophy of Science on Teacher Education. In Bizzo, N., Kawasaki, C.S., Ferracioli, L. & Rosa, V.L. (ed.) *International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) X Synposium Proceedings*. Volume I. Foz do Iguacu, Paraná, Brasil: 10-19.
- Cachapuz, A. Praia, J. e Jorge, M. (2000). Reflexão em torno de perspectivas do ensino das Ciências: Contributos para uma nova orientação curricular - Ensino Por Pesquisa. *Revista de Educação*, vol IX, 1: 69-79.
- Chassot, A. (2000). *Alfabetização Científica. Questões e desafios para a educação*. Rio Grande do Sul: Editora Unijuí.
- Echeverria, J. (1999). *Introducción a la metodologia de la ciencia. La filosofia de la Ciencia en el siglo XX*. Barcelona: Cátedra.
- Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 2, 197-212.
- Gil Pérez, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18, 8, 889-901.

- Giordan, M. (1999). O papel da Experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, 10: 43-49.
- Lederman, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 4: 331-359.
- Marco, B.; Gonzalez, A. & Simo, A. (1986). *La perspectiva histórica en el aprendizaje de las Ciencias*. Madrid: Narcea.
- Martins, I.P. (2002). Problemas e perspectivas sobre a integração CTS no sistema educativo português. *Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias*. 1, 1.
- Meheut, M., Saltiel, E., & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7, 1: 83-93.
- Millar, R. (1996). Towards a science curriculum for public understanding. *School Science Review*, 77, 23-32.
- Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the history and Philosophy of Science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81, 4: 405-423.
- Mortimer, E.F. & Miranda, L.C. (1995). Concepções dos estudantes sobre reacções químicas. *Química Nova na Escola*, 2: 23-26.
- Nielsen, H. & Thomsen, P.V. (1990) The incorporation of history and Philosophy of science in physics education in Denmark. *The Australian Science Teachers Journal*, 36, 27-33.
- Paixão, M.F. & Cachapuz, A. (2000). Mass Conservation in Chemical Reactions: The development of an innovative teaching strategy based on the History and Philosophy of Science. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*. 1, 2, 201-215.
- Porlán, R.A. (1998). Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 1: 175-185.
- Praia, J.F. & Cachapuz, A.F. (1994b). Para uma reflexão em torno das concepções epistemológicas dos professores de ciências, ensino Básico (3º Ciclo) e secundário: um estudo empírico. *Revista Portuguesa de Educação*, 7(1/2), 37-47.

Praia, J.F. & Cachapuz, A.F. (1994b). Para uma reflexão em torno das concepções epistemológicas dos professores de ciências, ensino Básico (3º Ciclo) e secundário: um estudo empírico. *Revista Portuguesa de Educação*, 7(1/2), 37-47.

Praia, J.J.F.M. (1995). *Formação de professores no ensino da geologia: contributos para uma didáctica fundamentada na epistemologia das ciências. O caso da deriva continental. Volume I*. Dissertação de Doutoramento, não publicada, Aveiro: Universidade de Aveiro.

Rosmorduc, J. (1983). *The Tales a Einstein. História da física e da química*. Lisboa: Editorial Caminho. Coleção Universitária.

Rosa, M.I. & Schnetzler, R.P. (1998). Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*, 8: 31-35.

Santos, W.L.P. & Schnetzler, R.P. (1997). *Educação em Química. Compromisso com a Cidadania*. Ijuí: Unijuí.

Vázquez, A., Acevedo, J.A., Manassero, M.A. & Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciência. *Argumentos de Rázon Técnica*, 4.

Yarroch, W.L. (1985). Students understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 5: 449-459.
135-176.

DOCUMENTOS

DOCUMENTO 20

(Texto de Apoio)

Ler, com muita atenção, o texto. Em seguida confrontar as ideias com o grupo e tentar, em conjunto, dar resposta às seguintes questões. Se algum elemento não concordar com as propostas do grupo, organiza as suas próprias respostas.

UMA TEORIA PARA EXPLICAR AS REACÇÕES QUÍMICAS DE COMBUSTÃO

Nos finais do século XVII, quando a prática química se voltava para o estudo da natureza e das transformações das substâncias, e se preocupava já menos com a pedra filosofal, os químicos voltaram-se mais para o fogo! O fogo transforma, permite aos corpos entrarem em reacção química, dissolverem-se, dilatarem-se, fundirem, evaporarem.

Becher (1635-1682) impõe rapidamente as suas obras sobre os princípios e processos químicos. Afirmava que o fogo não é um verdadeiro elemento e considera que os princípios elementares de todas as coisas são o ar, a água e a terra. Considerando as diferentes propriedades dos metais e outros minerais, Becher admitia três tipos de terra: uma que explicasse a substância, outra a cor e uma terceira a subtilidade, forma, odor e peso. Considerava assim uma terra *vitrescible*, uma terra *pinguis* e uma terra *fluida*.

Estas ideias fascinaram o químico alemão Stahl (1660-1730) que a analisou com cuidado acabando por reeditar em 1703 a obra de Becher incluindo um longo comentário da sua autoria. Stahl identificou a terra pinguis, gordurosa, oleosa



Stahl (1660-1730)

e combustível com o princípio enxofre de Paracelso, responsável pela combustibilidade dos corpos em que entra e chamou-lhe flogisto (inflamável). Este flogisto tornou-se a base dum novo sistema teórico explicativo de todos os fenómenos químicos, ao qual aderiram facilmente os químicos mais notáveis.

As substâncias seriam combustíveis devido ao facto de conterem mais ou menos flogisto, que perderiam ao entrarem em combustão, observando-se, eventualmente, a produção de fumos, calor ou chama; restava um resíduo chamado "cal". Os metais, por exemplo, deveriam ser associações de flogisto e cal e poderiam ser regenerados a partir desta por adição de uma certa quantidade de flogisto, normalmente por aquecimento com carvão, considerado "flogisto quase puro". Os princípios simples dos corpos incluíam terra e água. Haveria três espécies de terra: vitrificável, liquidificável e inflamável ou flogisto. As propriedades dos corpos dependiam dos princípios que continham. Por exemplo o enxofre ardia porque continha o princípio inflamável, o flogisto.

A teoria dizia que as "cales" (óxidos) obtidas por combustão dos metais eram mais simples que estes. Quando aquecidas, o flogisto do carvão a arder combinava-se com elas para produzir os metais. A combustão seria o resultado dos metais perderem o seu flogisto e a respiração tinha o efeito de o remover do corpo para o ar. Se o ar estivesse saturado com flogisto, proveniente da combustão ou da respiração, esta tornava-se impossível. Explicavam-se muitos fenómenos importantes com base neste quadro teórico.

O carvão e os corpos combustíveis transformavam-se, pela combustão, em luz e calor. O aquecimento dos produtos de uma combustão levava à fixação da luz e calor, regenerando os respectivos metais. O fogo é o próprio flogisto. Era assim entendido como um princípio de leveza que ao libertar-se dos corpos os deixava mais pesados e ao fixar-se neles os tornava mais leves.

Questões:

1. De acordo com a teoria proposta por Stahl o que é uma combustão? O que são substâncias combustíveis?
2. Organizar um esquema (indicando os materiais e as transformações que sofrem) sobre a teoria explicativa das reacções químicas de combustão proposta por Stahl.
3. Após a análise do texto que resposta dar à questão inicialmente discutida acerca da conservação ou alteração da massa durante uma combustão: Mantém-se ou altera-se a posição inicialmente tomada? Justificar.

Actividades Complementares (facultativas e a realizar em casa):

Consultar livros de História e pedir ajuda aos pais e ao professor de História:

- Relacionar aspectos sociais, económicos, políticos e religiosos que caracterizam a Idade Média com algumas características particulares da actividade química dessa época (Alquímia), para compreender melhor alguns aspectos referidos no texto.

Comentários às questões:

- R1: Pretende-se que os alunos retirem do texto o conceito de combustão que aí é apresentado como o resultado de os materiais perderem o seu flogisto e identifiquem que as substâncias que são combustíveis é devido ao facto de conterem esse princípio inflamável chamado flogisto, que perdem ao entrarem em combustão, originando fumos, calor ou chama e deixam como resíduo uma "cal".

R2: Esta questão tem a intenção de ajudar os alunos a organizar as relações conceptuais de uma teoria fazendo sobressair os princípios em que se apoia e a sua estrutura interna explicativa coerente.

Nos esquemas dos alunos deverá ser perceptível que, de acordo com esta teoria do flogisto os princípios mais simples dos corpos são a água e a terra, sendo que desta existem três espécies que determinam o comportamento dos materiais: a vitrificável, liquidificável, e a inflamável ou flogisto. Os metais são mais complexos que as "cales" (óxidos) que originam por combustão libertando o flogisto (os materiais ficam mais pesados após a combustão por libertarem o flogisto, princípio de leveza que os torna mais leves).

R3: Pretende-se que os alunos tomem consciência das ideias que avançaram e a coerência interna da teoria. É importante que os alunos afirmem ou rejeitem a sua adesão à teoria para posteriormente poderem compreender a alteração da teoria e a evolução dinâmica da ciência, que implica formas de pensar radicalmente afastadas. A teoria do flogisto, no seu tempo, gozou de muitos apoiantes e era considerada adequada para explicar os fenómenos conhecidos. O professor deve registar as ideias dos alunos para depois, após o conjunto de actividades desenvolvidas poder orientar os alunos para um confronto entre o que então defendiam e apoiavam e o que vieram a compreender sobre a supremacia da teoria do oxigénio em relação à do flogisto. Fazer o paralelo com o processo, por vezes igualmente difícil, de adesão dos cientistas às novas propostas.

Actividades Complementares:

É desejável que os alunos ampliem os seus conhecimentos de História da Ciência relacionando-a com a História da Humanidade, ou seja, relacionar as vertentes social, política, económica com o desenvolvimento científico. Caracterizando tais aspectos da Idade Média e da prática da Alquimia ganha mais sentido e identidade a teoria proposta por Stahl, embora já no século XVII, para a explicação das combustões.

DOCUMENTO 21

(Ficha de Trabalho Experimental)

Introdução

Uma das questões que já foi colocada, e muitas vezes foi posta ao longo da História da Ciência, é se, quando um material "arde" (reação de combustão) a massa (determinada com a balança) se mantém, aumenta ou diminui?

Procedimento

Em relação às demonstrações a realizar pelo professor:

1. Registrar nos esquemas das montagens experimentais o valor da massa inicial em cada situação.
2. Registrar as previsões sobre a variação da massa após a combustão, em cada uma das situações, justificando.

PREVISÕES (aumenta/ diminui/ mantém-se):



A- álcool



B- algodão



C- ferro

3. Fazer esquemas das situações finais, após as combustões, e escrever os valores marcados em cada um dos casos. Comparar os resultados com as previsões. Confrontar esses resultados com as ideias retiradas do texto lido (Documento 20). Tentar interpretar as diferenças entre as várias situações observadas

Notas para o professor

Parece mais aconselhável usar "demonstração", por questões de tempo e de organização. Essa modalidade de trabalho experimental não é impeditiva de serem feitas previsões pelos alunos relativamente a cada uma das situações apresentadas. O professor deve dar indicações de como fazer registos úteis. Eventualmente alguns alunos poderão entrar em conflito com as suas ideias anteriores; o professor deve organizar as intervenções exigindo sempre clarificação e justificação das ideias que são defendidas. Atenção particular deve ser dada ao confronto dos resultados com as ideias que os alunos tinham retirado do texto de apoio (Doc20).

DOCUMENTO 22

(Texto de Apoio)

A CAMINHO DE UMA TEORIA PARA INTERPRETAR AS REACÇÕES DE COMBUSTÃO

Lavoisier realizou muitas experiências e reflectiu sobre elas, deixando descrições pormenorizadas sobre as condições experimentais e sobre as reflexões que o conduziram a uma nova teoria para interpretar as reacções de combustão e as reacções químicas em geral. Retirámos algumas partes do *Traité Élémentaire de Chimie* que ilustram a forma de trabalhar e algumas interpretações do químico francês.

Capítulo VI.

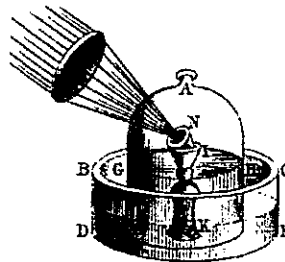
Da combustão do fluido elástico com as substâncias metálicas, pela calcinação

(...)

Quinta experiência

Efeito do ar no qual se calcinou o chumbo sobre os corpos inflamados

Calcinei, como nas experiências precedentes, e no mesmo aparelho, 3 "gros" de chumbo. A operação terminou, introduzi rapidamente uma vela; ela brilhou bastante bem no primeiro instante mas começou a esmorecer e extinguiu-se ao fim de um minuto aproximadamente. (...)



Montagem experimental para o estudo das combustões (desenho de Anne-Marie Paulze Lavoisier)

Reflexões

Resulta destas experiências que o ar no qual calcinamos os metais não está de modo nenhum no mesmo estado que o que se liberta das efervescências e das reduções metálicas. (p. 619)

Capítulo IX

Sobre a combustão do fósforo e a formação do seu ácido

Primeira experiência

Combustão do fósforo sob uma campânula invertida sobre a água

Preparação

Coloquei numa pequena cápsula de ágata 8 "grains" de fósforo de Kunckel; coloquei esta pequena cápsula sob uma campânula de vidro invertida sobre a água, e introduzi, com um funil recurvado, uma pequena camada de óleo sobre a superfície da água; este aparelho é o mesmo do representado na fig 8. Fiz incidir sobre o fósforo a radiação de uma lente de vidro de 8 polegadas de diâmetro.

Efeito

Rapidamente o fósforo fundiu, em seguida inflamou dando uma bela chama; ao mesmo tempo elevou-se uma grande quantidade de vapores brancos que se depositaram na superfície interior da campânula, e que a embaciaram; estes vapores, em poucos minutos, tombaram e formaram gotas de um licor claro e límpido. No primeiro instante, a água da campânula baixou um pouco, por causa da dilatação ocasionada pelo calor; rapidamente ela começou a subir sensivelmente, mesmo durante a combustão e, assim que os recipientes arrefeceram, ela parou a uma polegada e 5 linhas acima do seu primeiro nível.

Reflexões

O diâmetro interior desta campânula era de 4 polegadas e $1/10$; daí se seguir que a absorção do ar foi de 19 polegadas e $1/2$; Tendo retirado a cápsula de debaixo da campânula, viu-se uma matéria amarela que não era mais que fósforo meio decomposto; lavei-o e sequei-o, após isso ele pesava entre 1 e 2 "grains", daí segue que realmente não se queimaram mais do que 6 a 7 "grains" de fósforo, e que a absorção de ar tenha sido aproximadamente 3 polegadas por cada "grain" de fósforo.

A porção da campânula debaixo de água era de 109 polegadas cúbicas de capacidade. A absorção de ar foi então de $2/11$, ou, o que é a mesma coisa, entre um quinto e um sexto da quantidade total de ar contida sob a campânula.

Capítulo X

Experiências sobre a combustão e a detonação no vazio

Se a combustão do fósforo consiste essencialmente, como as experiências precedentes pareceram provar, na absorção de ar ou de um outro fluido elástico contido no ar, deve resultar que a combustão do fósforo não pode fazer-se sem ar; que ela não pode, por consequência, ter lugar no vazio da máquina pneumática, e eu estava curioso de procurar este novo complemento de prova.

Primeira Experiência

Coloquei sob o recipiente de uma máquina pneumática um pequeno pedaço de fósforo, fiz um vazio tão perfeito quanto a máquina podia comportar. Deixei então cair sobre o fósforo a radiação de uma lente de 8 polegadas de diâmetro; rapidamente ele fundiu, ferveu, tomou uma cor amarela muito mais pálida que antes, por fim sublimou, mas não ocorreu combustão. Tendo introduzido ar sob o recipiente, e tendo provado os vapores aquosos que se depositaram sobre as paredes interiores, não os achei nem sequer sensivelmente ácidos; daí se conclui que não houve combustão.

(Traduzido e adaptado do Traité Elementaire de Chimie in Ouvres de Lavoisier, 1864, Paris: Imprimerie Impériale, pp 614 a 652)

Questões

1. Porque terá o fósforo da experiência descrita no Cap. X fundido e posteriormente sublimado, mas não entrou em combustão?
2. Discutir com o grupo aspectos que podem ser retirados da leitura acerca do modo como Lavoisier descreve as experiências realizadas.
3. Que conclusões importantes acerca das combustões se podem retirar deste conjunto de experiências apresentadas?

Comentários às questões

- R1** -Dar conta de que logo no início do Cap X, antes propriamente da descrição da experiência, Lavoisier faz referência às suas suspeitas que

constituíram o ponto de partida, a hipótese orientadora, para a realização da experiência com o fósforo, e que é descrita. É importante reparar no papel da experiência que é guiada pela hipótese. Na experiência descrita, no vácuo, o fósforo é aquecido até à temperatura a que funde e sublima (passa ao estado gasoso), mas mantendo-se a mesma substância (chamar a atenção de que não se trata de uma transformação química). Na ausência do ar, o fósforo não entra, pois, em combustão.

R2 - Com esta questão pretende-se chamar a atenção dos alunos para aspectos de metodologia científica. As suspeitas dos cientistas começam a ganhar força e consistência e as ideias que as sustentam conduzem à experiência. Estas não são o ponto de partida, o que não lhe retira importância no processo investigativo. Lavoisier deixa perceber que é conduzido para as suas experiências por ideias anteriores, que funcionam como hipóteses e as guiam. Ficamos a perceber que tais experiências são planeadas e rigorosamente conduzidas. É importante dar conta do rigor do trabalho de investigação e da minúcia dos registos onde os pormenores se poderão vir a tornar mais importantes que os aspectos evidentes. Daí que Lavoisier registre igualmente as reflexões que lhe ocorrem da realização das suas experiências.

Um outro aspecto que deve ser referido é o rigor das medições que são efectuadas (reparar nas unidades de massa e de comprimento usadas)

R3 - Lavoisier parte da ideia de conservação da massa e da ideia de que é o ar, ou parte dele, que é necessário para que se dê a combustão. As experiências, assim conduzidas por essa hipótese vêm ao encontro das ideias iniciais. Uma parte do ar é indispensável para a combustão dos metais, que assim se combinam com esse gás do ar para formar as respectivas "cales" (óxidos) que por isso se apresentam mais pesadas que o metal original. As experiências corroboram as suas hipóteses.

DOCUMENTO 23

(Ficha de Trabalho Experimental)

Introdução

Lavoisier realizou combustões de vários materiais que o conduziram à compreensão de que só uma parte do ar participava na combustão. Algumas das substâncias então utilizadas foram o estanho e o fósforo. Por questões de segurança utilizaremos nesta situação algodão (embora possa ser utilizado outro material).



Indicações

Realizar a actividade experimental que se segue. Deve ser feita com muito cuidado para evitar perigos e com muita atenção para se compreenderem as situações propostas (usar óculos de protecção e bata).

Material de laboratório e reagentes

(verificar se existe no tabuleiro todo o material indicado)

- tina, copo, vidro de relógio, rolha larga, água, fósforos
- algodão (ou outro material indicado)

Procedimento

Ler as indicações de procedimento completas para ter uma ideia completa do que se vai fazer e iniciar depois a realização experimental seguindo essas indicações; se existir alguma dúvida colocá-la inicialmente ao grupo; se existir alguma dificuldade ou ocorrer algum problema, chamar o professor.

1. Colocar água na tina até cerca de um terço da sua altura.
2. Colocar um pedaço de algodão (ou outro material) no vidro de relógio e colocar o conjunto sobre a rolha (marcar o nível da água na tina e/ou no copo).
3. Colocar o conjunto preparado a flutuar sobre a água, inflamar o material e rapidamente inverter sobre ele o copo.
4. Registrar o que se observa e fazer um novo esquema da situação final após a combustão ter terminado.

Questões

Para discutir e responder em grupo:

1. Porque motivo terá a água subido no copo?
2. Qual o volume aproximado do gás que participou na reacção, relativamente ao volume total ocupado inicialmente pelo ar dentro do copo? (Se for necessário repetir a experiência)
3. Qual é o gás que participa na reacção de combustão? Recordar a composição do ar.
4. Lavoisier, ao realizar a sua experiência semelhante à que foi realizada, terá ficado imediatamente convencido de que o oxigénio (do ar) participava nas combustões? Porquê?

5. Após esta situação como se poderão interpretar (ou reinterpretar) os resultados obtidos na realização da ficha de Trabalho Experimental (Doc 21)?
6. Tentar, no grupo, planear uma experiência que possa dar resposta à questão inicialmente colocada: "Será que a massa numa reacção de combustão se mantém, aumenta ou diminui?" (Indicar o material necessário e o modo de procedimento e apresentar ao professor)

Comentários às questões:

R 1/2/3 - Possivelmente os alunos recordam esta situação experimental de anos anteriores, nomeadamente do 5º ano de escolaridade aquando do estudo da composição do ar e respondem com facilidade às questões iniciais. Relativamente à segunda questão deverão os alunos usar de rigor para determinar aproximadamente o volume ocupado pelo gás. Tal pode significar determinar a fracção do volume inicial e comparar com o que conhecem sobre a composição do ar.

R4 - Chamar a atenção para que uma única experiência não pode ser suficiente para corroborar ou infirmar uma hipótese. Lavoisier não dispunha das informações que temos hoje, que ele próprio nos ajudou a construir, e portanto as suas hipóteses eram ideias que o orientaram nas suas realizações experimentais. Não dispunha, na fase da realização das combustões descritas, de uma teoria consolidada. Pelo contrário a teoria do flogisto estava ainda muito enraizada nos cientistas do seu tempo e que estudavam, como ele, os gases e as suas propriedades. Por outro lado existia ainda muita insegurança relativamente à composição do ar e suas proporções. Esta questão permite discutir a dificuldade da construção do conhecimento científico e afastar a ideia de que as descobertas são ocasionais e ocorrem de forma imediata e directa por sábios com estatuto

de heróis. É importante compreender a dificuldade de alterar o saber estabelecido, aceite pela comunidade, ou seja, o paradigma vigente, como refere Kuhn.

- R5** - Devem ser valorizadas as ideias e interpretações dadas pelos alunos, mas exigir justificações consistentes. Os erros podem ser valorizados e não omitidos ou corrigidos de imediato. Aliás, pode ser evidenciado o papel do erro na própria construção do conhecimento científico. Os alunos possivelmente terão dificuldade em explicar de imediato a diferença de comportamento nas duas situações, diminuição de massa no algodão e álcool e aumento de massa no magnésio. Eventualmente, neste último, terão menos dificuldade. Deve-se permitir e incentivar o confronto de ideias entre alunos ou grupos de alunos com posições opostas mas exigindo argumentação completa.
- R6** - É o início do planeamento experimental com base em teorias que se aceitam. Os alunos devem explicitar os princípios da teoria que tomam como ponto de partida e compreender que é com base nessa teoria que se interpretarão os resultados obtidos. Eventualmente alguns alunos ainda poderão pensar que sempre aumenta a massa nas reacções de combustão, tomando como princípio que o oxigénio se combina com a substância que arde para formar um óxido (que tomam como sendo sempre sólido!). Devem, portanto, fazer previsões, justificando-as. O plano deve ser discutido com o professor.

DOCUMENTO 24

(Texto de Apoio)

UMA NOVA TEORIA PARA INTERPRETAR AS REACÇÕES DE COMBUSTÃO

Traité Élémentaire de Chimie

Conclusão do capítulo (sobre a calcinação dos metais)

(...)

5° *Que várias circunstâncias parecem levar a crer que todo o ar que nós respiramos não é próprio a fixar-se para entrar na combinação das cales metálicas, mas que existe na atmosfera um fluido elástico particular que se encontra misturado com o ar, e que é no momento em que a quantidade deste fluido contido sobre a campânula se consome, que a calcinação não pode ter lugar. As experiências que eu vou relatar no Capítulo IX darão alguma probabilidade a mais a esta opinião.*

As experiências de que acabo de dar conta parecem ainda conduzir às duas consequências que se seguem: 1° que a calcinação dos metais não pode ter lugar em recipientes perfeitamente fechados, a não ser que ela não possa lá ter lugar pela porção de ar fixo que lá esteja encerrado; 2° que, no caso em que a calcinação pudesse operar-se em recipientes exactamente fechados e privados de ar, ela deveria então fazer-se com aumento de peso, e por consequência em circunstâncias fortemente diferentes das que se observam nas calcinações feitas no ar. (...)

Nota: (...) M. Priestley persuadiu-se que a diminuição do volume de ar que ele observou vinha de uma sobreabundância de flogisto que lhe era fornecido pela calcinação do metal, e ele não parecia ter suposto que a própria calcinação fazia uma absorção, uma fixação do fluido elástico.

Questões

1. A que gás se refere Lavoisier, no texto?

2. Descreve do texto a ideia da explicação das combustões (calcinações) feita por Lavoisier.
3. Como é que Priestley explicava a diminuição do volume de ar que ocorria quando se calcinava um metal num recipiente fechado?

Comentários às questões

- R1** - Lavoisier apercebeu-se de que não é o ar que respiramos (que inspiramos!) que se combina com os metais formando as sales metálicas (óxidos metálicos) mas que apenas se trata de uma parte, uma vez que, quando se consome uma certa porção de ar sobre a campânula na qual ocorre uma combustão, esta cessa. A essa porção de gás, parte do ar, chamava Lavoisier fluido respirável, parte mais pura do ar e, posteriormente, oxigénio.
- R2** - É importante perceber que foi um percurso longo, este, de Lavoisier. Atente-se nas expressões não dogmáticas que usa ao escrever: "Que várias circunstâncias parecem levar a crer...", "As experiências de que acabo de dar conta parecem ainda conduzir às duas consequências que se seguem..." São as duas consequências que Lavoisier aponta no seu texto que dão a ideia da explicação das combustões (calcinações), pela combinação do metal com uma parte do ar.
- R3** - Quanto a Priestley, eminente químico, explicava a diminuição do volume de ar por uma sobreabundância de flogisto fornecido pela calcinação do metal. É importante perceber que, como Lavoisier e Priestley partem de princípios diferentes, ou seja, de teorias diferentes, as suas explicações são, naturalmente, diferentes para o mesmo fenómeno observado. Tal aspecto vem reforçar a ideia de que a observação depende do referente teórico que tomamos. Esta questão vem igualmente dar ideia da coexistência temporária de mais do que uma teoria explicativa para os mesmos fenómenos e da dificuldade de impor as ideias novas, uma vez que cientistas igualmente notáveis defendem posições opostas.

DOCUMENTO 25

(Texto de Apoio)

LAVOISIER REALIZA A SÍNTESE DA ÁGUA A CONSERVAÇÃO DA MASSA NAS REACÇÕES QUÍMICAS

Os estudos de Antoine Laurent Lavoisier sobre a formação da água, realizados com a preciosa colaboração de Meusnier, ficaram célebres, não só pelos avanços conclusivos que permitiram mas também pela aparelhagem sofisticada que envolveram. Estes estudos estão de acordo com o princípio de que Lavoisier partira, acerca da conservação da massa numa reacção química. Tal princípio ganhou posteriormente o estatuto de lei e, merecidamente, tem o nome de Lei de Lavoisier.

Tal como se pode ler no *Traité Élémentaire de Chimie*:

Traité Élémentaire de Chimie

§ V.

Da combustão do gás hidrogénio e da formação da água

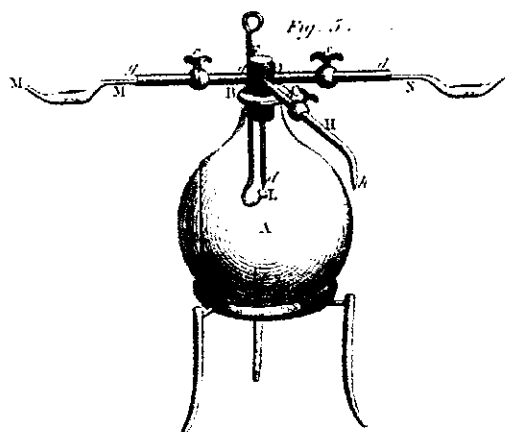
O que a formação da água tem de particular é que as duas substâncias que para tal concorrem, o oxigénio e o hidrogénio, estão uma e a outra no estado aeriforme antes da combustão, e que uma e a outra se transformam, como resultado desta operação, numa substância líquida, que é a água.

Esta combustão seria muito simples e não exigiria aparelhos muito complicados, se fosse possível procurar-se os gases oxigénio e hidrogénio perfeitamente puros e que não deixassem restos.

Podíamos então operar em recipientes muito pequenos; e fornecendo continuamente os dois gases na proporção conveniente, continuaríamos indefinidamente a combustão. Mas, até aqui, os químicos ainda não usaram oxigénio que não estivesse misturado com gás azoto. O que acontece é que não conseguiram manter mais do que durante um tempo limitado e muito curto a combustão do gás hidrogénio em recipiente fechado: com efeito, o resíduo de gás azoto aumentava continuamente, a chama enfraquecia e acabava por se extinguir. Este inconveniente é tanto maior quanto o gás oxigénio usado é menos puro. É então necessário, ou terminar a combustão e operar apenas sobre quantidades pequenas,

ou refazer o vazio para se desembaraçar do gás azoto: mas neste último caso, vaporiza-se uma porção de água que é formada, e resulta um erro muito perigoso, que não temos meios seguros para o poder apreciar.

(...) eis o aparelho que usámos, M. Meusnier e eu, para a combustão do gás hidrogénio. Não haverá nada a alterar assim que pudermos procurar os gases puros. (...)



Aparelho utilizado por Lavoisier para a formação da água
(desenhos de Anne-Marie Paulze Lavoisier)

Para operar com este aparelho, começa-se por fazer o vazio no balão A por meio da bomba pneumática adaptada ao tubo FHh; após o que se introduz gás oxigénio, rodando a torneira r do tubo gg. O indicador de nível do gasómetro, observado antes e depois da introdução do gás, indica a quantidade que entrou no balão. Abre-se em seguida a torneira s do tubo dD' a fim de fazer chegar o gás hidrogénio; e rapidamente, seja com uma máquina eléctrica, seja com uma garrafa de Leyde, faz-se passar uma faísca da bola L para a extremidade d' do tubo pelo qual se faz o escoamento do gás hidrogénio, e ele inflama-se imediatamente. Para que a combustão não seja nem muito lenta nem muito rápida, é necessário que o gás hidrogénio chegue com uma pressão de 1 polegada e 1/2 a 2 polegadas de água, e que o gás oxigénio não chegue, pelo contrário, com menos de 3 polegadas, ou mais, de pressão.

A combustão assim iniciada, continua-se, mas enfraquecendo à medida que a quantidade de gás azoto que resta da combustão dos dois gases aumenta. Chega enfim um momento em que a porção

de gás azoto se torna tal que a combustão não pode mais ter lugar e a chama extingue-se. É necessário prevenir esta extinção espontânea, porque no momento em que a pressão seja mais forte no reservatório do gás hidrogénio que no do gás oxigénio, faz-se uma mistura dos dois no balão, e esta mistura passaria em seguida para o reservatório do gás oxigénio. É assim necessário terminar a combustão fechando a torneira do tubo dDd', logo que nos apercebamos que a chama enfraquece a um certo ponto, e ter uma grande atenção para não se deixar surpreender.

A uma primeira combustão assim feita podemos fazer suceder uma segunda, uma terceira, etc. Refaz-se o vazio como da primeira vez, enche-se o balão de gás oxigénio, abre-se a torneira do tubo pelo qual se introduz o gás hidrogénio, e inflama-se pela faísca eléctrica.

Durante todas estas operações, a água que se forma condensa sobre as paredes do balão e escorre juntando no fundo e é fácil determinar o peso quando conhecemos o do balão. Nós daremos conta um dia, M. Meusnier e eu, dos detalhes da experiência que fizemos com este aparelho, nos meses de Janeiro e Fevereiro de 1785, na presença de uma grande parte dos membros da Academia. Nós multiplicámos tanto as precauções, que a considerámos exacta. Do resultado que obtivemos, 100 partes em peso, de água, são compostos por 85 partes de oxigénio e de 15 de hidrogénio.

(traduzido e adaptado do *Traité Élémentaire de Chimie in Ouvres de Lavoisier*, 1864, Paris: Imprimerie Impériale, pp 354 a 357)

Questões

1. Quais as principais conclusões da experiência realizada e descrita por Lavoisier?
2. Que problemas técnicos tiveram que ser resolvidos?
3. Qual a intenção com que Lavoisier e Meusnier fizeram a experiência descrita na presença de uma grande parte dos membros da Academia?

Comentários às questões

- R1** - A experiência vem corroborar as ideias iniciais expressas no princípio de conservação da massa tomado por Lavoisier. O resultado que obtiveram, 100 partes em peso (entenda-se massa), de água, são compostos por 85 partes de oxigénio e 15 de hidrogénio. Nesta altura os dois gases já são identificados pelos nomes que lhes conhecemos e a composição da água ficou determinada de forma rigorosa.
- R2** - Nesta questão deve ser referido que a evolução da técnica condiciona a da ciência e vice-versa. Estas experiências foram possíveis devido ao contributo de muitos técnicos de grande competência a quem Lavoisier teve que pagar os serviços. Foi necessário conceber aparelhos novos para a combustão da água e obter os gases praticamente puros. O laboratório de Lavoisier era muito bem equipado de acordo com as experiências a serem realizadas. Contava já com material sofisticado para a época mas naturalmente que muito diferente do que actualmente equipa os laboratórios de investigação em Química. A balança era um dos objectos mais importantes, bem como gasómetros e a máquina pneumática. Nele se realizavam com muito rigor as experiências planeadas para dar respostas às questões que iam sendo postas. Foi necessário resolver muitas questões técnicas antes de poderem avançar para a demonstração pública da experiência perante grande número de membros da Academia.
- R3** - O que nesta questão deve ser realçado é o papel da Academia na certificação do conhecimento científico. As comunidades científicas têm um papel de filtros à aceitação de novo conhecimento científico e Lavoisier necessitava de ser reconhecido e as suas teorias aceites e divulgadas pelo que, com os seus colaboradores, devia sujeitar-se ao aval da Comunidade científica do seu tempo protagonizada pela Academia das Ciências de Paris de que Lavoisier era membro. A divulgação do conhecimento científico é uma forma da sua aceitação mais extensa e rápida.

DOCUMENTO 26

(Transparência exemplo)

Nada se cria, nem nas operações da arte, nem nas da natureza, e podemos tomar como princípio que, em toda a operação, existe uma igual quantidade de matéria antes e depois da operação; que a qualidade e a quantidade dos princípios é a mesma, e que não ocorrem mais do que mudanças e modificações

(traduzido e adaptado do *Traité Elementaire de Chimie in Ouvres de Lavoisier*, 1864, Paris: Imprimerie Impériale, p 101)

DOCUMENTO 27

(Ficha de orientação para o planeamento experimental a fazer pelos alunos)

Introdução

Podemos agora controlar alguns aspectos das reacções químicas de combustão que nos poderão ajudar a responder à questão inicialmente colocada "será que a massa durante uma reacção química de combustão se mantém, aumenta ou diminui?"

Indicações

Usar óculos de protecção e bata

Material de laboratório e reagentes

Balança; frascos com tampa hermética; fita de magnésio/ algodão/ álcool;
vidro de relógio; lupa

Procedimento

1. Colocar a substância no vidro de relógio
2. Introduzir o conjunto dentro do frasco e tapá-lo com a tampa hermética
3. Colocar sobre a balança e registar a massa.
4. Representar esquematicamente a situação.
5. Mantendo o conjunto sobre a balança e com auxílio da lupa inflamar a substância (se o sol estiver encoberto usar uma lâmpada de luz intensa e álcool).

6. Aguardar o fim da combustão observando atentamente o mostrador da balança.
7. Registrar o valor da massa após o final da reacção.

Questões

1. Comparar os valores da massa antes e depois de ter ocorrido a reacção química de combustão.
2. Relacionar estes resultados com os obtidos na Ficha de Trabalho Experimental (Doc 21), para a mesma substância. Tentar interpretar as situações ocorridas.
3. Qual terá sido o aspecto determinante para a alteração verificada?
4. Porque terão sido necessários tantos séculos para se interpretarem as reacções químicas de combustão?
5. O que terá permitido a Lavoisier, no seu tempo, realizar experiências semelhantes às que realizámos?

Nota:

É importante que os alunos percebam que uma hipótese não fica confirmada com uma simples experiência escolar. É conveniente referir os apoios já evidenciados por muitas situações científicas, altamente controladas e com percursos experimentais mais precisos, bem como a sua enorme coerência no âmbito de uma teoria. Daí a importância do uso da História da Ciência no ensino da Ciência.

Convém utilizar a experiência para insistir e alertar os alunos para o perigo de generalizações apressadas e acríticas baseadas no senso comum. Situações como esta podem ajudar a compreender melhor alguns aspectos relacionados com a metodologia científica. Há que contar sempre com erros inerentes aos sistemas e às pessoas, que vão sendo eliminados porque tornados conscientes e não porque ignorados.

No registo a efectuar pelos alunos deve constar o problema, como foi colocado, a hipótese ou hipóteses emitidas, o desenho experimental... Tal aspecto deve colocar-se nas situações práticas, para que os alunos tenham uma visão de conjunto e uma compreensão das distintas actividades que se têm que realizar numa investigação para não correr o risco de ser entendido como uma mera ilustração e reter apenas o resultado acrítico. Os alunos, além disso, habituem-se a efectuar registos por escrito e de forma ordenada, desenvolvendo simultaneamente o domínio da língua materna.

Comentários às questões

R1 - É importante que o aluno tenha previsto a conservação, ou não, da massa, antes e após a reacção e a realização da experiência tenha sido conduzida por essa ideia. Na leitura do valor da massa na balança o professor deve certificar-se que os alunos compreendem bem e registam com rigor os dados necessários para uma interpretação cuidada.

R2/R3 - A interpretação das situações deve referir-se ao sistema fechado. Desta forma, de modo evidente, o aluno compreende a noção de sistema fechado e de sistema aberto. Evitam-se, assim, expressões como "a massa conserva-se nas reacções químicas em sistema fechado" que por vezes surgem nos manuais escolares e que podem ser comentadas com os alunos.

R4/R5 - Relacionar com o desenvolvimento da tecnologia, técnica de fabrico de materiais e instrumentos, com a colaboração de técnicos com muita perícia no fabrico de instrumentos de precisão, com o desafogo económico de Lavoisier que permitiu investir somas consideráveis no fabrico de tais instrumentos e na contratação de técnicos especialistas, nomeadamente Fortin. O laboratório de Lavoisier é muito diferente dos Laboratórios dos Químicos anteriores e principalmente dos Alquimistas embora seja igualmente muito diferente dos laboratórios de investigação

em Química, na actualidade. É uma oportunidade para o professor mostrar reproduções de alguns dos objectos e das montagens experimentais idealizados e usados por Lavoisier e que sua mulher desenhou e, eventualmente, imagens de laboratórios de investigação da actualidade.

DOCUMENTO 28

(Texto de apoio)

Percurso da alteração de uma teoria científica

A interpretação das Reacções de Combustão e a Lei da Conservação da Massa

Lavoisier (1743-1794), jovem licenciado em Direito, obteve a sua formação inicial em Química nas lições do químico farmacêutico Rouelle, nas preleções que este, animadamente, dava no Jardim du Roi (Paris).



Lavoisier (1743-1794)

Foi na Rue Neuve des Bons-Enfants, em Paris, que Lavoisier montou o seu laboratório, na casa onde o casal se instalou após o casamento, mudando-se posteriormente para o Arsenal. Os seus rendimentos provinham da sua fortuna pessoal e do seu cargo profissional como controlador de impostos e mais tarde como Director da fábrica de pólvora. Foram estes rendimentos que lhe permitiram construir um dos laboratórios químicos mais bem equipados do século XVIII e despender somas

consideráveis na realização de algumas experiências.

Já os antigos Filósofos Gregos tinham especulado que a quantidade total de matéria não poderia mudar. O poeta romano Lucrecius igualmente escreveu que "as coisas não podiam nascer do nada nem acabar no nada". Já no século XVII Van Helmont testou a hipótese da conservação da matéria. Mas a conservação da massa parecia não se aplicar às familiares transformações químicas, as combustões. A explicação era dada pela bem aceite teoria do flogisto de Stahl.

O percurso do desenvolvimento das ideias de Lavoisier traduz-se por alguns pontos fulcrais. O seu interesse pela combustão terá começado em 1772 com o início dos trabalhos que conduziram a uma grande alteração no modo de compreender o processo. Depois do trabalho de Guyton de Morveau que mostrou conclusivamente,

pela primeira vez, que os objectos ganham peso na calcinação, Lavoisier, ainda nesse ano, verifica que "um conjunto de experiências mostra que o ar entra na composição de minerais".

Nesse esquema conceptual inicial, as três espécies de substâncias são o ar, as cales e os metais. As cales produzem ar e os metais ganham peso quando se tornam cales. Para explicar estas ideias Lavoisier poderá ter conjecturado que as cales devem conter ar. Teria, neste ponto, uma vaga ideia de que a presença de ar nos minerais explicaria alguns fenómenos estranhos.

Em Setembro de 1772 realizou experiências sobre a combustão do fósforo e do enxofre, apercebendo-se do ganho de peso ocorrido. Numa carta fechada dirigida à Academia das Ciências em Novembro de 1772 já afirmava: "Esta descoberta parece-me uma das mais interessantes que já foram feitas depois de Stahl" e sugere que o aumento de peso na calcinação e combustão deverá ter a mesma causa: adição de ar. Notando também o envolvimento de grande quantidade de ar durante a redução do litargírio (óxido vermelho de mercúrio) com carvão, passou a acreditar que o aumento de peso de um metal quando calcinado era igualmente devido à absorção de ar.

Em Janeiro de 1774 publicou um detalhado relatório de experiências relevantes no seu "Opuscles Physiques et Chymiques", envolvendo calcinações e combustões e dissolução de terras tais como calcário, o que suportava a existência de um "fluido flexível elástico" no calcário, alcális e cales metálicas, não sendo claro se este fluido seria parte do ar ou o próprio ar.

Antes mesmo da era do flogisto, Boyle encontrara em duas experiências que metal encerrado num recipiente fechado e aquecido até à transformação no seu óxido, ganhava peso, e pensou que os corpúsculos de fogo passaram através dos poros do vidro. Em Abril de 1774, Lavoisier repetiu a experiência de Boyle, mas com uma técnica aperfeiçoada, e se este não tinha pesado o recipiente antes de o fechar e de novo antes de o abrir, aquele fê-lo e encontrou apenas uma pequeníssima diferença, mostrando que nada podia ter passado através do vidro e que o aumento no peso do recipiente depois do ar ter de novo entrado era aproximadamente o mesmo do peso ganho pelo metal durante a calcinação.

Os fundamentos da nova teoria tinham sido lançados. No Outono, Lavoisier encontrou um empasse. O ano de 1773 tinha-o passado principalmente a estudar o trabalho dos químicos ingleses, repetindo muitas das suas experiências. O trabalho de Black (1728-1799) e as suas próprias repetições de tais experiências e outras posteriores, persuadiram-no de que o ar absorvido durante a calcinação era o "ar fixo" (dióxido de carbono) que Black havia isolado. Assim, ele introduziu desse gás num recipiente fechado no qual se dava a combustão do fósforo e apercebeu-se de que a combustão não tinha lugar. Por essa altura, em Agosto de 1774, Priestley (1743-1804) aqueceu o óxido vermelho de mercúrio (cal de mercúrio) e obteve um gás no qual uma vela ardia com uma chama vigorosa; Em Outubro visitou Paris e encontrou-se com Lavoisier falando-lhe das suas experiências. Em Novembro este iniciou as experiências com o óxido vermelho de mercúrio e no Abril seguinte apresentou à Academia Francesa uma Memória sublinhando (já) a sua nova teoria, sem, contudo, fazer referência a Priestley. Uma nota de Lavoisier, de Março de 1775, mostra que nesta altura, quando ele esperava que o gás libertado por aquecimento da cal de mercúrio fosse o "ar fixo", ficou surpreendido por verificar que uma chama nele introduzida era avivada.



J. Black



H. Cavendish



J. Priestley

A versão da Memória da Páscoa de 1775 mostra diferenças significativas de primeiras versões em que ele pensava ser o "ar inteiro", e não uma parte dele, que era absorvido pelos metais quando calcinavam; que esse "ar" era purificado no processo, quando libertado, que era mais respirável e que suportava melhor as combustões.

Contudo ainda lhe faltava uma clara ideia sobre o próprio ar e ainda não estava confiante de ter uma alternativa forte à teoria do flogisto. Os conhecimentos não permitiam ainda decidir entre a sua e a interpretação do flogisto mas as duas eram incompatíveis.

A mais famosa das experiências de Lavoisier, a calcinação lenta do mercúrio e a subsequente decomposição da cal, terá sido realizada em 1776.

Por esta altura Lavoisier ainda admite que por vezes ele tem mais confiança nas ideias do eminente flogista britânico Priestley que nas suas próprias. Por volta de 1777, contudo, Lavoisier já desenvolveu uma rica e clara alternativa à teoria do flogisto. Numa Memória à Academia ele descreve o "ar puro" ou "ar eminentemente respirável" como ingrediente do "ar atmosférico". Scheele, Priestley e Lavoisier isolaram este ingrediente. Priestley interpretou-o à luz da teoria que defendia, chamou-lhe "ar desflogisticado" porque a combustão e a respiração funcionavam melhor no seu ambiente. Mas Lavoisier estava agora convicto de que o agente na combustão e calcinação era uma parte separada do ar. O seu sistema conceptual, por 1777, inspirado na "Mémoire sur la combustion en général", contém quatro espécies de ar (eminentemente respirável, atmosférico, fixo, mofeta) e descreve como é que a combustão e a calcinação são explicadas.

A versão final (1778) da Memória de 1775 difere: "o princípio que se une aos metais na sua calcinação e aumenta o peso e os transforma em calces, é a porção do ar, a mais pura". Em 1780 Lavoisier chama ao "ar puro" princípio oxigénio, ainda não considerado como um elemento.

Na estrutura conceptual de Lavoisier em 1789 o oxigénio é já um elemento, como a luz, o calórico e como os recentemente descobertos hidrogénio e nitrogénio; os óxidos são produzidos pela oxidação dos metais e os objectos não metálicos ardem em combinação com oxigénio produzindo luz e calor.

Lavoisier apenas identifica a componente do ar responsável pela combustão em 1775 e que em 1777 denominará de oxigénio na sequência do estudo da composição de vários ácidos e de verificar que todos eles são constituídos por esse elemento comum a que atribui a propriedade da acidez. O oxigénio passou a ser o elemento central no

sistema de Lavoisier. Contudo não era ainda o suficiente para o ataque decisivo à teoria do flogisto.

Por volta de 1783, o sistema já se tinha desenvolvido de um modo coerente e, além disso, apresentava uma grande capacidade interpretativa e poder de previsão (contribuiu nomeadamente para a descoberta de alguns ácidos), algo em profundo contraste com a teoria do flogisto, para a qual cada conquista do sistema de Lavoisier representava a necessidade de uma alteração da teoria ou a adição de hipóteses suplementares.

Lavoisier era cuidadoso, com ideias crescendo claras à medida que lia ou repetia experiências dos seus predecessores e contemporâneos. O flogisto não tinha cabimento no seu esquema químico. Devia existir uma teoria mais simples e uma explicação mais lógica para a combustão. Procurava uma explicação para a combustão e o flogisto não servia! O oxigénio, esse sim, era necessário.

Entretanto Cavendish provou a composição da água. A descoberta de Cavendish da combustão do hidrogénio para formar água teve um papel importante no pensamento de Lavoisier. Brilhantemente repetiu o trabalho do inglês e introduziu uma experiência engenhosa para verificar a composição da água do ponto de vista da sua nova teoria da combustão. Essas experiências foram conclusivas e vieram completar os argumentos para um ataque público e frontal à teoria do flogisto.

Num artigo científico, publicado em 1788, ele avança a explicação de que a água é um composto dos elementos oxigénio e hidrogénio.

A teoria da combustão de Lavoisier é integrada num novo sistema químico, com novos conceitos e nova linguagem. Este período fértil culminou em 1789 com a publicação do *Traité Élémentaire de Chimie*.



Os estudos de Lavoisier sobre a combustão conduziram-no a formular a lei da conservação da matéria. Se o mercúrio é aquecido no ar, ele oxida-se para formar óxido vermelho de mercúrio. Lavoisier mostrou que é consumido ar quando o mercúrio volta a pó vermelho. Aquecido depois o óxido vermelho de mercúrio decompõe-se no mercúrio original. Noutra experiência, colocou uma quantidade determinada de ferro num tubo fechado, mas com ar. Depois de aquecer o tubo, pesou o produto de reacção e mediu a quantidade de ar que foi consumido. Em 1789, avançou a lei da conservação da massa: "Em todas as operações da natureza e da arte, nada é criado".

O papel do laboratório e dos novos instrumentos: ciência das quantidades e o veredicto da balança; A nova nomenclatura.

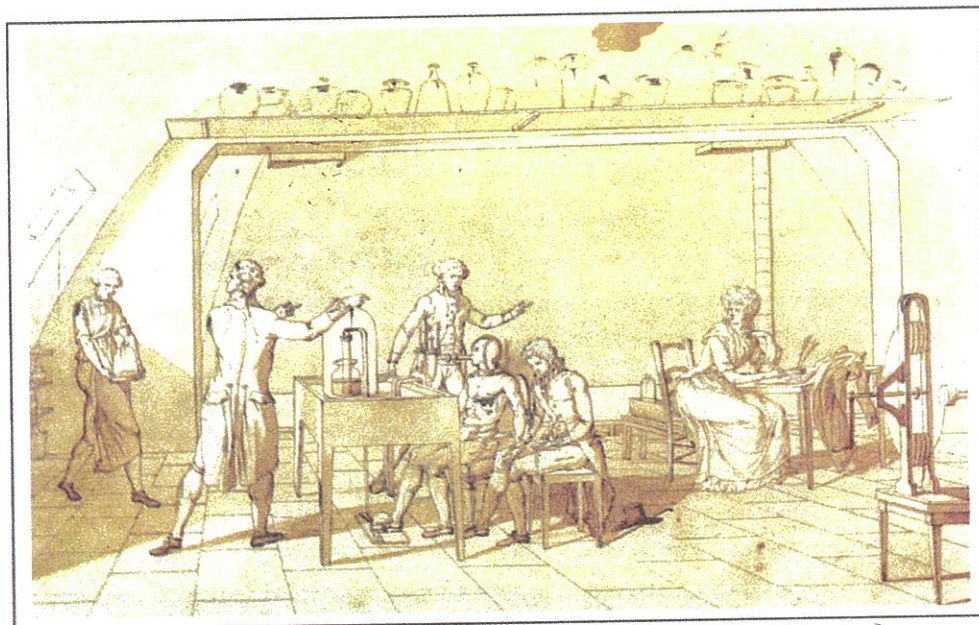
A convicção de destruir a teoria dominante assenta e toma forma num novo tipo de laboratório, recheado de instrumentos de precisão, no centro dos quais se situa a balança. Enquanto que a Química do flogisto assentava numa base qualitativa, com ligação a saberes antigos, apesar de variados e por vezes eficazes, as propostas de Lavoisier confirmam-se pela via quantitativa.

A revolução de Lavoisier é também uma revolução da prática química: conjunto de meios de medida, de armazenagem, de controlo, de recuperação dos produtos de reacção e dos gases em particular, e a análise qualitativa para as identificações. Uma excepcional, embora dispendiosa, rede instrumental permitiu experiências de forma

sistemática e permitiu interpretar de forma nova experiências e resultados que outros também obtinham mas que continuavam a interpretar no quadro de uma teoria já desadequada.

Os investimentos em equipamento para o seu laboratório são conhecidos com precisão pois os seus bens foram confiscados e inventariados.

Lavoisier cercou-se pouco a pouco de outros sábios, rodeou-se igualmente de engenheiros, de técnicos, de ajudantes de laboratório, de gente jovem a quem ele ensinava química teórica e prática e recebendo, em troca, a sua colaboração.



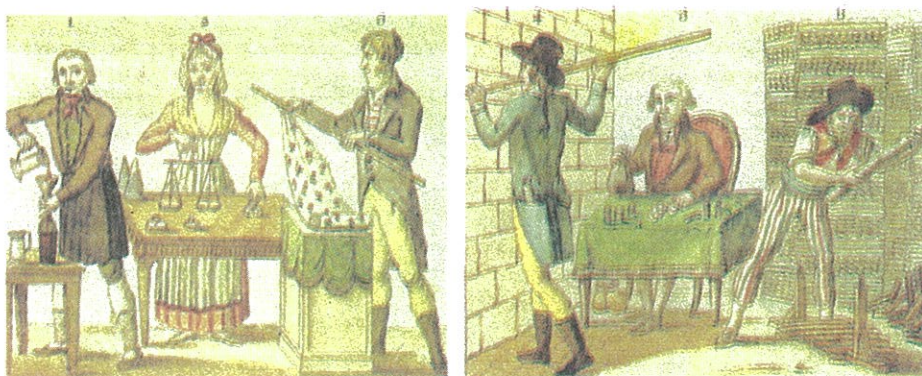
O seu laboratório constitui uma grande diferença relativa aos existentes na sua época, ainda de utilização muito privada, assemelhando-se já aos do século XIX quando a investigação científica em equipa se generalizou.

O canto de vitória dos antiflogistas aconteceu com a Reforma da Nomenclatura, em 1787. Antes desta reforma reinava uma grande confusão na designação das substâncias químicas. Os nomes dos compostos não reflectiam a sua composição e as

designações referiam-se até, por vezes, ao local onde as substâncias se podiam encontrar. Empregava-se frequentemente o mesmo nome para designar corpos diferentes e nomes variáveis para a mesma substância (o sulfato de potássio era designado por *panacea duplicata*, *panacea bolsatica*, *arcanum duplicatum*, *sal duplicatum*, *arcanum holsteniense*, *tartarus vitriolus*, *nitrium vitrio-latum*, *sal polybrestum glaser*, *vitriolatum potassinatum*).

Os escritos publicados antes dele eram praticamente ilegíveis e o que se fez foi escrevê-los numa nova ordem! O "Traité", cuja primeira edição teve 2000 exemplares, foi, assim, outro dos instrumentos poderosos na difusão das novas teorias de Lavoisier e da nova nomenclatura química, com o seu objectivo do "ensino das noções elementares de química".

O princípio da igualdade saído da Revolução Francesa veio também estender-se aos pesos e medidas pela unificação do sistema de medidas, consequência imediata e natural das alterações profundas já empreendidas.



Apoiantes e adversários

Rapidamente os cientistas franceses começaram a rodear Lavoisier - Fourcroy, De Mourveau, Berthollet e outros. Fora da França, a oposição ainda era forte, especialmente em Inglaterra onde Stevenson declarou: "Este arte-mágico tenta persuadir-nos que a água, o mais poderoso antiflogístico natural que possuímos é um

composto de dois gases, um dos quais ultrapassa todas as outras substâncias na sua inflamabilidade". Cavendish, o descobridor da composição da água, nunca aceitou a nova explicação. Em 1803 Priestley escreveu da Pensilvânia: "Eu acredito que a Revolução Política será mais estável que a Revolução Química".

Apesar de muitas oposições e contrariedades as ideias de Lavoisier prevaleciam. O Professor Thomas Hope, da Universidade de Edimbourg, foi o primeiro a adoptar a nova nomenclatura nas suas lições públicas. Em Edimbourg, Black aceitou a sua explicação e passou-a aos seus estudantes. Itália e Holanda puseram-se em linha ao mesmo tempo. Da Suécia, Bergman escreveu a Lavoisier a oferecer o seu apoio. A Academia de Berlim adoptou as ideias de Lavoisier em 1792. A Rússia endossou o novo sistema com Lomonosov. Em Coimbra, com Rodrigues Sobral (1759-1828) e Vicente Coelho de Seabra (1764-1804) o Laboratório Químico da Universidade, criado pela Reforma Pombalina de 1772, foi um dos baluartes de vanguarda da Química do oxigénio.

Nesta época as academias eram o centro da actividade científica e o lugar privilegiado para a difusão do conhecimento. Nas suas reuniões se anunciavam e discutiam quase todas as descobertas científicas, fomentava o trabalho em equipa e uma discussão pluridisciplinar. Lavoisier foi eleito membro da Academia das Ciências de Paris em 1768, com 25 anos. Em 1776, Guyton de Morveau, em Memória publicada no Journal de Physique, ainda tentava uma conciliação dos princípios de Stahl com as experiências modernas do ar fixo; idêntica tentativa transparece já no artigo de Macquer sobre o flogisto, publicado em 1778 do Dictionnaire de Chimie. Em 1777 Scheele publicava o seu tratado do ar e do fogo, defendendo acerrimamente a teoria do flogisto e ignorando as teorias de Lavoisier.

Se a maioria dos adeptos da teoria do flogisto viria a converter-se às novas teorias de Lavoisier, muitos outros, e alguns de renome, como Cavendish e Priestley, não renegariam nunca a teoria que haviam professado. Os primeiros a aderirem ao novo sistema foram os seus colegas de Academia, Laplace e Monge (1746-1818) que não pertencendo à secção de Química estavam mais abertos à nova visão conceptual e à justificação dos seus argumentos. O próprio Lavoisier estava bem ciente da dificuldade

da aceitação da sua teoria. Os próprios contemporâneos e companheiros, Berthollet (1748-1822), Fourcroy (1755-1809) e Guyton de Morveau (1737-1816) tiveram dificuldade em aceitar a nova teoria do oxigênio. Mas, na realidade, Lavoisier estava convicto que a reforma metodológica da Química e a revolução teórica por si enunciada, unidas por um espírito de investigação de rigor, precisão de linguagem e unificação explicativa, seria mais facilmente propagada e aceite pelos novos cientistas. Aliás, uma revolução científica implica que o corpo de conhecimentos e a prática deles sejam aceites e influenciem uma comunidade científica.

Lavoisier propagou as suas ideias e as da recente nomenclatura no novo periódico "Annales de Chymie", já que o "Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts", dificultava a publicação de artigos provenientes dos apoiantes da nova teoria.

Vivia-se o período da Revolução Francesa. A primeira reacção dos *leaders* da comunidade científica à Revolução foi de aproveitar a oportunidade para criar o sistema métrico não somente para sua própria vantagem mas igualmente para o da sociedade e o de aplicar a ciência à tecnologia com o fim de conhecer os meios de desenvolver técnicas novas a partir das últimas descobertas ou teorias.

Com a idade de 50 anos Lavoisier foi decapitado por ser cobrador de impostos da monarquia. A 8 de Maio de 1794, imediatamente após a execução do sogro, tomou a sua vez na guilhotina. Contudo, ele próprio afirmara, em 1791: "Toda a juventude aceita a minha nova teoria, e por isso concluo que a revolução em química está feita".



Decapitação de Lavoisier a 8 de Maio de 1794



Monumento em honra de Lavoisier construído em 1900 em Paris e destruído em 1940 sob : ocupação alemã.

Questões:

- 1 - Qual é a explicação de Lavoisier para a combustão?
- 2 - As hipóteses de Lavoisier não invalidaram de imediato a teoria do flogisto. O que foi necessário para a substituição definitiva de uma teoria por outra? Indica aspectos que contribuíram para a implementação da nova teoria.
- 3 - De que recursos se serviu, quando já estava convicto da supremacia da sua teoria sobre a do flogisto "para propagar as novas ideias"?
- 4 - Embora Lavoisier tivesse sido o grande impulsionador, podemos pensar que o desenvolvimento da teoria do Oxigénio é devida exclusivamente a Lavoisier?

- 5 - O texto fala da descoberta da substância química - oxigénio. A quem se atribui tal descoberta? Justifica.
- 6 - Que aspectos deve ter uma teoria nova sobre a teoria anterior que é substituída? Ilustrar com o caso das duas em confronto.
- 7 - Os instrumentos e as técnicas foram decisivas para o êxito da nova teoria do oxigénio. Explica porquê?
- 8 - A investigação científica depende do poder económico e político. Que aspectos, relativos ao tempo de Lavoisier podem ser referidos para ilustrar a afirmação? Tal aspecto estará alterado nos nossos dias? Justifica.
- 9 - A experiência é um meio muito importante para a investigação científica. Que experiência reforçou a teoria do oxigénio para as combustões, que permitiu a consolidação da Lei da conservação da massa?
- 10 - Parece-te que ficou definitivamente estabelecida uma teoria explicativa das combustões? Porquê?
- 11 - Como é que se fazia a comunicação entre cientistas no século XVIII? Refere-te a casos concretos retirados do texto. Manter-se-á a mesma forma de comunicação entre cientistas e de divulgação de resultados de investigação nos dias de hoje?
- 12 - Lavoisier foi um grande cientista mas não trabalhou isoladamente. Nomeadamente a sua esposa estava sempre presente no laboratório. Que contribuições advêm dos seus colaboradores?

Actividades Complementares

Propostas:

- 1 - Faz uma pesquisa Bibliográfica para ampliares os teus conhecimentos sobre Lavoisier, a sua vida e a sua obra, no seu tempo. Podem fazer uma divisão de temas e partilhá-los depois, organizando um livro sobre o assunto.

2 - Haverá alguma ligação entre Lavoisier, a sua vida profissional e a sua investigação?

3 - Uma comunidade científica é decisiva na aceitação das novas ideias. Imagina um diálogo entre Lavoisier e um ou mais membros da Academia das Ciências de Paris. Podes fazer dramatização, escolhendo algum elemento de caracterização para as personagens.

Comentários às questões:

R1 - No final pode confrontar-se com a resposta à questão da ficha inicial e verificar da incompatibilidade de teorias opostas se cruzarem porque partem de princípios diferentes (problema da incomensurabilidade de Kuhn)

R2 - Esta questão tem a intenção de poder levar os alunos a compreenderem que uma teoria nunca é abandonada de imediato. Em relação à teoria anterior "é preciso esperar que os seus apoiantes morram".

Um dos aspectos mais importantes para a implantação de novas teorias passa pela aceitação na comunidade científica e pela sua adequada divulgação. Alguns dos meios de que Lavoisier se serviu passaram por discussões sustentadas na Academia, publicações diversas em Revistas existentes, publicação do livro "Traité Élémentaire de Chimie", criação de uma nova Revista Científica, correspondência com cientistas da Europa...

R3 - Uma teoria não é abandonada só porque alguns factos experimentais não se conseguem explicar por recurso aos seus princípios. Vão sendo avançadas hipóteses auxiliares que tentam manter de pé a velha teoria em decadência. Veja-se a explicação que Cavendish forneceu para a separação da água nos seus constituintes, numa fase em que a teoria do Oxigénio já se sobrepunha à anterior.

R4 - Alguns alunos poderão atribuir a descoberta do oxigénio a Priestley enquanto outros atribuem a Lavoisier.

Entre o isolamento do gás e a sua caracterização vai uma grande distância. Os alunos devem apreciar o contributo de Priestley, aperceber-se de que Lavoisier conhecia os trabalhos do químico Inglês, e compreender a dificuldade que há em por vezes

atribuir a uma só pessoa, num dado momento, uma descoberta científica. Além disso Lavoisier também não trabalhava isoladamente mas sim rodeado de colaboradores e técnicos e ainda com a esposa desenhando, tomando notas e traduzindo documentos.

R5 - Explicar o que a anterior explicava e aumentar o poder explicativo. Deve ainda possuir um bom nível, e boa capacidade de previsão.

R6 - Lavoisier estava rodeado dos melhores fabricantes de instrumentos científicos do seu tempo. Por exemplo Fortin, o construtor de barómetros e de balanças. O seu poder económico tornavam viáveis as despesas com equipamento, considerado sofisticado para a altura. Só tal aspecto permitiu um grande avanço na ciência. Por sua vez a necessidade de aparatos técnicos sofisticados conduziu ao desenvolvimento instrumental.

R7 - Nos nossos dias continuam a depender mutuamente uma da outra, a ciência e a tecnologia, ditando cada uma, desenvolvimentos na outra. Os laboratórios dos nossos dias são muito sofisticados mas em estreita relação com o desenvolvimento tecnológico do nosso tempo. A Ciência depende, em larga medida do poder político, por exemplo pela aprovação para financiamento, de projectos considerados pelo poder político como prioritários.

R8 - A composição e decomposição do óxido vermelho de mercúrio; a composição e decomposição da água. A possibilidade de controlo de variáveis...

R9 - É importante passar para os alunos a imagem da ciência em construção e não definitiva, não como conhecimento acabado e definitivo.

No caso das teorias explicativas para a combustão foram-se alterando até aos nossos dias (Oxidação; Oxidação-Redução...).

R10 - No sec XVIII as comunicações já eram mais fáceis do que em épocas anteriores. O papel das Academias científicas e a divulgação por meio de Revistas Científicas (algumas então nascentes) bem como a correspondência entre cientistas de países afastados e as visitas frequentes aos respectivos laboratórios. No nosso tempo o caudal de informação é muito grande e daí a proliferação de revistas científicas, bem como outros meios, nomeadamente a internet/correio electrónico.

R11 - Lavoisier, como qualquer outro cientista não trabalhou isoladamente. Parte de situações já descritas, necessita de discussão e de confronto das suas ideias com outros cientistas da sua comunidade. Necessita igualmente de técnicos e de instrumentos. No caso da esposa de Lavoisier, ela desenhava-lhe os objectos e instrumentos que ele imaginava, traduzia-lhe documentos anteriores e acompanhava-o no Laboratório.

Actividades complementares: são actividades de extensão que têm a função de ampliar o domínio do assunto, principalmente para alguns alunos. Na situação proposta pode dar origem a uma actividade colectiva que venha posteriormente a ser apresentada à turma ou à escola...

DOCUMENTO 29

(Ficha de Trabalho Experimental)

Introdução

A ideia de conservação da massa nas reacções químicas foi amadurecendo na cabeça de Lavoisier na sequência da sua nova teoria do oxigénio que explicava com mais consistência as reacções de combustão.

Foi principalmente, como já vimos, depois do encontro com Priestley, e a partir das suas experiências sobre a água que ele estabeleceu com mais precisão o **Princípio da Conservação da Massa** que podemos agora tomar como lei e, por isso, é conhecida também com o nome de **Lei de Lavoisier**.

Será que a conservação da massa ocorre noutras reacções químicas, além das combustões? E será que uma só experiência é suficiente para estabelecer uma Lei?

Indicações

Vamos realizar a seguinte actividade experimental. Ler até ao fim a proposta que é apresentada. Não tocar com as mãos nos reagentes (o ácido é corrosivo). Usar óculos de protecção, luvas adequadas e bata. Discutir com o grupo as situações que vão surgindo e com o professor alguma dúvida intransponível ou alguma dificuldade. Além das respostas às questões indicadas no final, preparar um registo para comunicar os resultados, posteriormente, à turma.

Material de laboratório e reagentes

Balança; erlenmeyer; espátula; pinça; tubo (frasco) pequeno de fundo plano; balão de borracha (ou outra forma de vedar); ácido clorídrico; carbonato de cálcio (pó de mármore, por exemplo)

Procedimento

De acordo com o esquema da figura, que deve ser completado, proceder do seguinte modo:

1. No fundo do erlenmeyer colocar uma pequena quantidade de carbonato de cálcio.
2. No tubo pequeno deitar uma pequena quantidade de ácido clorídrico.
3. Colocar cuidadosamente, com ajuda de uma pinça, o tubo contendo o ácido clorídrico no fundo do erlenmeyer. Vedar, o melhor possível, a boca do erlenmeyer.
4. Determinar a massa correspondente ao conjunto.
5. Tombar o ácido sobre o metal.
6. Determinar novamente a massa do conjunto.

Questões

1. Porque é que se veda a boca do erlenmeyer?
2. O que se observa após a junção das duas substâncias? Quais são os indicadores de que ocorreu reacção química?
3. Sabendo que se forma na reacção cloreto de cálcio, dióxido de carbono e água, escrever o esquema (equação de palavras) que representa a reacção química ocorrida.
4. Poder-se-á concluir que a massa se conservou na reacção química? Justificar. Os resultados da actividade experimental respondem à questão inicial da ficha?
5. Explicar o facto de, apesar de mudarem as substâncias (de reagentes a produtos de reacção), se conservar a sua massa na reacção química. Qual o pressuposto relativamente aos átomos dos elementos presentes nas

substâncias que são os reagentes e nas substâncias que são os produtos da reacção?

6. Preparar um registo para comunicar os resultados à turma.

Comentários às questões

R1/2 - Com estas questões pretende-se chamar a atenção dos alunos para a necessidade de usar de muito rigor nos procedimentos experimentais. Eventualmente surgirá a oportunidade de exploração e discussão de erros e dificuldades experimentais surgidas no processo.

R3 - Esta situação tem a intenção de os alunos se darem conta, identificando-os, de todas as substâncias envolvidas nas reacções, distinguindo bem reagentes e produtos da reacção, com vista a compreenderem melhor, por um lado o próprio conceito de reacção química e, por outro, a ideia de conservação da massa.

R4 - Eventualmente surge a oportunidade para exploração e discussão de erros. Pode ocorrer que nem em todos os grupos se tenham obtido valores idênticos para a massa, antes e depois da reacção. Analisar então os princípios de partida e os processos experimentais de cada grupo. Discutir a dificuldade de estabelecer resultados em definitivo, mas alertando para as diferenças entre o processo de aula e os de investigação.

R5 - Discutindo esta questão os alunos podem compreender que na reacção química há "algo" que muda e "algo" que se conserva e fazer a ligação entre o nível macroscópico em que muda a substância conservando-se a massa e o nível microscópico, em que tal conservação da massa implicará uma conservação dos átomos dos elementos das substâncias que constituem os reagentes e os produtos da reacção. Esta discussão prepara os alunos para compreenderem a possibilidade de escrever as reacções químicas através de equações simbólicas e essas equações traduzirem

qualitativa e quantitativamente a reacção química. A compreensão de tal aspecto cria, assim, a necessidade de acertar, com significado, as equações das reacções químicas.

R6 - Incentivar os alunos a prepararem um documento, o mais completo possível, para apresentarem os resultados à turma e alertar para a exigência da comunidade (nesta situação, a restante turma e o professor). Na discussão, aquando da apresentação, dar relevo às situações em que estão envolvidas substâncias gasosas e confrontar com o percurso histórico.

Nota:

Diferentes situações experimentais podem ser propostas aos alunos, mudando na Ficha o material de laboratório e reagentes necessários, bem como algumas questões. Além da reacção química indicada sugerem-se as seguintes: solução aquosa de sulfato de cobre com solução aquosa de hidróxido de cálcio (água de cal), ácido azótico com cobre (aparas), solução aquosa de iodeto de potássio com solução aquosa de nitrato de chumbo, ácido clorídrico com magnésio.