

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A
CIÊNCIA E A MATEMÁTICA

DÉBORA CRISTINA CURTO DA COSTA BOCATO

NOVAS PERSPECTIVAS PARA O EXPERIMENTO DA VELA POR MEIO DE UMA
ABORDAGEM HISTÓRICA

MARINGÁ

2016

DÉBORA CRISTINA CURTO DA COSTA BOCATO

**NOVAS PERSPECTIVAS PARA O EXPERIMENTO DA VELA POR MEIO DE
UMA ABORDAGEM HISTÓRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, para defesa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática

Orientador: Dr. Ourides Santin Filho

MARINGÁ

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

B664n Bocato, Débora Cristina Curto da Costa
Novas perspectivas para o experimento da vela por
meio de uma abordagem histórica / . -- Maringá,
2016.
209 f.: il., figs., color.

Orientador: Prof. Dr. Ourides Santin Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-
graduação em Educação para a Ciência e a Matemática,
2016.

1. Ensino de Química. 2. História da Ciência. 3.
Episódios da Combustão. 4. Aprendizagem
Significativa . 5. Modelo Epistemológico. I. Santin
Filho, Ourides, orient. II. Universidade Estadual de
Maringá. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-
graduação em Educação para a Ciência e a Matemática.
III. Título.

CDD 22. ED.540.7

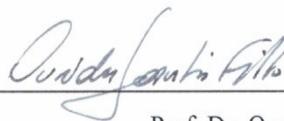
JLM-001937

DÉBORA CRISTINA CURTO DA COSTA BOCATO

**Novas perspectivas para o experimento da vela por meio de uma
abordagem histórica**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre *Ensino de Ciências e Matemática*.

BANCA EXAMINADORA



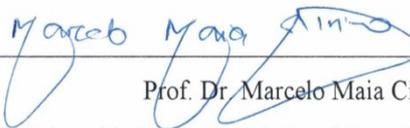
Prof. Dr. Ourides Santin Filho

Universidade Estadual de Maringá – UEM



Prof. Dr. Deividi Marcio Marques

Universidade Federal de Uberlândia – UFU



Prof. Dr. Marcelo Maia Cirino

Universidade Estadual de Londrina – UEL

Maringá, 26 de Fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente, fazendo da derrota uma vitória, da fraqueza uma força.

A meu esposo Francisco, por toda força e apoio nos momentos mais difíceis. Demonstrando sempre amor, carinho, proteção, confiança e, mais do que ninguém acreditou na concretização desse sonho, não medindo esforços para chegarmos até aqui.

A minha filha Eloah, por ser um anjo enviado por Deus para alegrar e dar sentido a minha vida. Que com toda sua ingenuidade de criança colaborou para a construção deste trabalho, sendo uma menina compreensiva e amorosa. Te amo minha princesa!

Aos meus pais, Ademir e Lourdes, por me ensinaram a perseverar frente aos obstáculos e jamais desistir. Por toda a dedicação e lições de vida e pelo apoio incondicional. Amo muito vocês!

As minhas irmãs Deise e Daniele pela amizade, amor, carinho e compreensão. Por sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial. Obrigada por estarem sempre ao meu lado!

Ao meu sobrinho Daniel pelo auxílio com seu iphone no processo de análise dos dados. Obrigada pelo seu companheirismo e amizade!

Aos meus sogros Mary e Luiz Carlos pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Aos meus cunhados Marcos e Luciano.

Ao professor Dr. Ourides Santin Filho, pelas lições de saber, pela orientação constante, pela dedicação, renúncias pessoais e por compartilhar suas experiências.

A Prof. Dra. Neide Maria Michellan Kiouranis por todo o carinho e pelas aulas estimulantes no decorrer do curso.

Aos colegas de mestrado Gisele, Geralda, Eduarda, Fernando e Sueli pela parceria, apoio e amizade no decorrer do curso.

A todos, dizer obrigado é pouco para uma emoção que, com palavras, dificilmente seria traduzida. Não chegamos ao fim, mas ao início de uma longa caminhada.

“Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo depende de nossa vontade e perseverança”. Albert Einstein

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar as potencialidades didáticas da abordagem histórica do fenômeno da combustão junto à alunos do primeiro ano de um curso de Licenciatura em Química. O experimento de observação de uma vela proposto no ensino médio e também em disciplinas introdutórias de alguns cursos superiores da área de Ciências Naturais é normalmente adotado para que o aluno conheça e exercite o “método científico”. Tal procedimento reforça a concepção ingênua de que o conhecimento é adquirido a partir do método empírico-indutivista, o qual postula que o conhecimento começa com a observação, além de consolidar uma visão linear, a-histórica e progressista da ciência. Propusemos uma abordagem histórica desse experimento, utilizando-o para apresentação e discussão das teorias de combustão de Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier, que rivalizaram no século XVIII. Alunos do primeiro ano de uma Universidade Pública do Paraná refizeram o experimento em seu modo clássico e posteriormente foram levantadas discussões sobre as conclusões equivocadas que este experimento pode trazer. Em seguida eles realizaram atividades direcionadas tendo como base estudos voltados para a História da Química, particularmente do trabalho dos estudiosos citados. A abordagem histórica sobre os episódios da combustão possibilitou aos alunos uma aprendizagem significativa dos conhecimentos científicos, isso porque eles tiveram acesso ao processo de construção das teorias e puderam entender a Ciência como uma produção social. Além disso, a atividade realizada tornou possível que os acadêmicos começassem a assimilar um novo modelo epistemológico, no qual estão presentes a não neutralidade e os conflitos inerentes à elaboração de novas teorias. Nesse sentido, eles passaram a compreender o processo não linear da produção do conhecimento, bem como os embates teóricos envolvidos e tiveram a oportunidade de aperfeiçoar suas concepções, construindo uma visão mais crítica, social e histórica acerca da Ciência e seu funcionamento.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Química; História da Ciência; Episódios da Combustão; Aprendizagem Significativa; Modelo Epistemológico.

ABSTRACT

The aim of this work was to investigate the didactic potential of the historical approach of the combustion in the first year students of an undergraduate Chemistry course. The experimental observation of a candle proposed in high school and in introductory courses of some higher education courses in Natural Sciences is usually adopted for the student to know and exercise the "scientific method". This procedure strengthens the naive notion that knowledge is acquired from the empirical-inductive method, which postulates that knowledge begins with observation, besides consolidating a linear view, ahistorical and progressive science. We propose a historical approach of this experiment, using it for presentation and discussion of combustion theories of Carl Scheele, Joseph Priestley and Antoine Lavoisier, who faced the eighteenth century. First year students of a Public University of Paraná State in Brazil performed the experiment in its classic mode and subsequently discussed about the wrong conclusions that this experiment can bring. Then they conducted targeted activities based on studies focused on the history of chemistry, particularly the work of the aforementioned scholars. The historical approach of the episodes of the combustion enabled students to meaningful learning of scientific knowledge. They had access to the process of construction of theories and might perceive science as a social production, and the activity carried out allowed the scholars began to take ownership of a new epistemological model, in which are present the non-neutrality and conflicts inherent to the development of new theories. In this sense, they have come to understand the nonlinear process of knowledge production as well as the theoretical debates involved and had the opportunity to perfect their designs, building a more critical, social and historical view about Science and how it works.

KEY-WORDS: Chemistry Teaching; History of Science; Episodes of Combustion; Meaningful Learning; Epistemological Model.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
INTRODUÇÃO.....	19
JUSTIFICATIVA.....	27
1. O ENSINO DE QUÍMICA.....	29
1.1 Atividades Experimentais no Ensino de Química.....	29
1.2 O Ensino de Química com Base na História da Ciência.....	37
1.3 História da Química no Ensino: Rumo a Aprendizagem Significativa.....	44
2. O MÉTODO INDUTIVISTA.....	51
2.1 Críticas ao Método Científico de Francis Bacon.....	53
3. ABORDAGEM HISTÓRICA: DA TEORIA DO FLOGÍSTICO À TEORIA DA COMBUSTÃO DE LAVOISIER.....	59
3.1 Teoria do Flogístico.....	59
3.2 O Ar de Fogo de Carl Wilhelm Scheele.....	70
3.3 O Ar Desflogisticado de Joseph Priestley.....	74
3.4 O Oxigênio de Antoine Laurent Lavoisier.....	79
4. PERCURSO METODOLÓGICO.....	101
4.1 Pressupostos da Análise Textual Discursiva.....	102
4.2 Procedimentos de Coleta de Dados.....	105
4.2.1 Primeiro encontro: Aplicação de um questionário inicial e Atividade Experimental	107
4.2.2 Segundo encontro: Problematização da Atividade Experimental realizada e intervenção pedagógica da pesquisadora com estudos sobre os episódios da combustão.....	107
4.2.3 Terceiro Encontro: Questionário Final com base nas teorias estudadas.....	108

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	110
5.2 Etapa 1: Análise da primeira pergunta do questionário inicial	112
5.1.1 Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico	112
Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico	113
5.3 Etapa 2: Articulação da segunda questão do questionário inicial (Segunda categoria) com as hipóteses levantadas na atividade de laboratório (Terceira categoria)	117
5.2.1 Segunda Categoria: Concepções prévias com teorias avançadas	118
5.2.2 Terceira Categoria: Hipóteses Apriorísticas - Concepções Prévias com Teorias Avançadas	120
5.3 Etapa 3: Problematização da atividade experimental e análise do potencial didático do texto de apoio	124
5.4 Etapa 4: Articulação das respostas da terceira questão do questionário inicial (Quarta categoria) com as questões 1 e 4 do questionário final (Quinta categoria)	132
5.4.1 Análise da terceira questão do questionário inicial - Quarta Categoria: Conhecimentos Prévios sobre as Teorias da Combustão	133
5.4.2 Análise das questões 1 e 4 do questionário final - Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias estudadas ao Fenômeno Investigado.	135
5.5 Etapa 5: Análise das questões 5 a 9 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.	146
5.5.1 Análise das questões 5 e 6 do questionário final.	147
Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.	147
5.5.2 Análise da questão 7 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química	151
Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.	152
5.5.3 Análise da questão 8 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química	153

5.5.4 Análise da questão 9 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química 155

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 161

REFERÊNCIAS..... 165

APÊNDICES

ANEXOS

INTRODUÇÃO

Os motivos que nos conduziram a desenvolver este trabalho são diversos. Particularmente, eles advêm de nossa experiência pessoal e acadêmica no decorrer do curso de graduação. Em especial, as angustias vivenciadas a partir de sua formação inicial, por não ter tido acesso aos estudos voltados para a História e Filosofia da Ciência no decorrer do curso. Tais fatores remeteram ao interesse em buscar a inserção no curso de Pós-Graduação *stricto sensu*.

A busca pela melhoria de nossa prática didática perpassa as mudanças apenas nas formas de renovar a prática docente e alcança o interesse em trazer e debater novos conhecimentos com os alunos, em especial acerca das origens dos conceitos e teorias que hoje, a maioria deles entendem como tendo surgido de modo linear, direto, simples e espontâneo, sem qualquer tipo de embate social ou mesmo teórico. Nesse tipo de aprendizado, neutro e asséptico, reside a noção de que a ciência é neutra, detentora da verdade última, cujas teorias se apresentam como verdades óbvias e definitivas.

A partir das disciplinas Epistemologia do Ensino das Ciências e especialmente a de História e Filosofia da Ciência do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática e suas discussões voltadas para a História da Química, surgiu o interesse em pesquisar algo relacionado a esta área do conhecimento. Outrossim foi o desafio de levar aos acadêmicos do curso de Licenciatura em Química da UTFPR a oportunidade de terem acesso e debater acontecimentos históricos da Química, por meio do estudo de episódios que concorreram para o estabelecimento e consolidação de teorias da Combustão. Vale ressaltar que foi grande o desafio de conduzir as atividades, de modo que pudessem despertar nos acadêmicos o interesse em participar da pesquisa e, principalmente, percebessem a importância de tais estudos para uma nova concepção sobre a atividade científica e seus métodos. Além disso, mostrar a eles que aquele era apenas o início de um longo e surpreendente caminho a ser percorrido a partir de estudos voltados para a História da Ciência. Nossa expectativa era a de que, além de conhecimentos sobre episódios históricos da Química, os estudantes pudessem refletir sobre suas concepções acerca da Ciência e seu funcionamento.

Pesquisas voltadas para o ensino de Química têm demonstrado uma crescente valorização do uso da História da Ciência, tanto na formação de professores quanto de alunos. De acordo com Martins (1990), é muito difícil para o aluno compreender um conceito sem conhecer seus fundamentos. Por isso, o ensino com base na História da Ciência pode facilitar a aprendizagem de conteúdos complexos e também oferecer explicações de como se deu a sua construção.

Apresentar apenas os resultados da Ciência como algo pronto e definitivo não corresponde a um real ensino de ciências, isto porque ela não é um produto final, mas se encontra em constante transformação. Nesta ótica, é importante que o professor mostre aos alunos que os caminhos percorridos para a construção dos conhecimentos são longos, e por isso não se constroem de uma hora para outra. Isto contribui para a desmistificação do conhecimento científico como um amontoado de verdades definitivas, nascidas prontas e produto das descobertas isoladas de “gênios” que não tiveram rivais.

Acreditando na importância de uma abordagem histórica dos conteúdos científicos para a efetiva aprendizagem, defendemos que as teorias devem ser apresentadas aos alunos como algo transitório e jamais definitivo, pois teorias são aceitas, modificadas ou descartadas, conforme o contexto em que são elaboradas. A nosso ver, esta explanação é válida para que os alunos sejam capazes de compreender o caráter histórico e social da ciência. Dessa forma podem conseguir superar a visão simplista que dela possuem, como verdade absoluta, imutável e inquestionável, para uma compreensão do conhecimento científico como algo aberto e, por isso mesmo, sujeito a mudanças.

Contudo, ainda nos dias atuais é possível afirmar que professores e alunos de todos os níveis de ensino apresentam uma visão simplista sobre a atividade científica, por apresentarem ideias marcadas por concepções empírico-indutivistas (CACHAPUZ, 2011; GIL-PÉREZ *et al.*; 2001). No caso das atividades experimentais, na maioria das vezes, o aluno é convidado a observar para posteriormente elaborar hipóteses, ou apenas realizar a atividade para a comprovação de teorias abordadas em sala. Tal metodologia é desenvolvida de forma totalmente descontextualizada, acrítica e a-histórica.

As atividades experimentais de Química, quando realizadas dentro de propostas empírico-indutivistas, acabam por reforçar concepções equivocadas da Ciência. Um exemplo disso é um experimento clássico, introdutório nas disciplinas de Química Geral

Experimental, que procura ensinar ao aluno um suposto “método científico”. Trata-se do que nomeamos aqui como *O Experimento da Vela*. Nessa atividade, o aluno é convidado a observar atentamente uma vela acesa, anotar tudo o que puder e formular, a partir de seus apontamentos, hipóteses acerca do que está ocorrendo.

Propomos aqui que o *Experimento da Vela* seja abordado segundo um aspecto histórico, o qual envolve diferentes teorias para a combustão. A queima da vela, executada primeiro em ambiente aberto e depois em ambiente fechado, será usada como deflagrador de discussões acerca da proposta metodológica empírico-indutivista originada do pensamento de Francis Bacon (1561-1626), permitindo de início que o aluno questione sua validade. Posteriormente será dada oportunidade de se discutir a queima da vela com base em três perspectivas teóricas que floresceram na segunda metade do século XVIII, as propostas de Carl Scheele (1742-1786), de Joseph Priestley (1733-1804) e de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). O embate entre as três propostas e a prevalência de uma delas será discutido com base em reflexões pautadas na História da Ciência.

Nesta perspectiva, procuramos responder ao seguinte questionamento: a abordagem histórica dos episódios da combustão pode levar o aluno à compreensão de que o conhecimento científico não se constrói de modo linear a partir de uma única teoria e que tão pouco se constrói a partir de “gênios” que tem suas ideias trabalhando sem a colaboração de seus pares?

Diante de tais considerações, a presente pesquisa tem como objetivo geral investigar as potencialidades didáticas da abordagem histórica do fenômeno da combustão junto a alunos do primeiro ano do curso de Licenciatura em Química. Deste modo, são elencados os seguintes objetivos específicos:

- Averiguar as concepções dos acadêmicos sobre método científico e sobre as Teorias da Combustão;
- Conduzir os alunos a constatarem que toda observação já pressupõe por trás uma teoria, portanto não é neutra;
- Oportunizar o contato dos alunos com a História da Química, por meio dos episódios das Teorias de Combustão;

- Apresentar aos alunos os modelos de combustão propostos por Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier por meio de atividades direcionadas, as quais possibilitem a aprendizagem significativa dos conteúdos;
- Propor reflexões acerca de conflitos e colaborações entre teorias e pesquisadores;

São inúmeros os fatores que fizeram com que o nascimento do que se convencionou chamar de Química Moderna fosse atribuído de forma isolada e descontextualizada a Antoine Laurent Lavoisier. Contudo, as teorias competem entre si e sucedem umas às outras e são resultados de intensos embates teóricos entre pesquisadores. Lavoisier, particularmente, para chegar às suas conclusões, se debruçou sobre os trabalhos de outros pensadores e por conta disso suas ideias não floresceram de observações isoladas, mas sim de contestações, da releitura de resultados experimentais não devidos a ele, e da busca por novas respostas com base em estudos anteriores.

O modelo vigente nas propostas de ensino de procedimentos experimentais que se convencionou chamar de “método científico” atribui à observação o momento inicial da produção do conhecimento. Assim, pretendemos primeiro romper com tal concepção, para posteriormente propor uma discussão acerca das teorias de combustão que rivalizaram em meados do século XVIII, na expectativa de que isso venha a contribuir para que o estudante possa se apropriar de uma concepção menos ingênua de Ciência, compreendendo o papel de diversos pensadores na construção de uma teoria.

No capítulo I, discorreremos sobre o Ensino de Química no contexto atual, de acordo com as ideias de alguns autores, dentre eles Chassot, Cachapuz e Gil-Perez. Nesta seção levantamos discussões sobre o uso de atividades experimentais no ensino de Química, as quais na maioria das vezes se apoiam em concepções empírico-indutivistas. Para tanto apresentamos críticas sobre a abordagem do Experimento da Vela em seu modo clássico, com o intuito de mostrar que ainda nos dias de hoje, frente a concepções epistemológicas modernas, a maioria dos professores e a sociedade de um modo geral, acreditam que a Ciência é resultado de um único método científico rigoroso, pautado na observação neutra do pesquisador. Esta concepção pode ser constatada em manuais de laboratório utilizados em universidades públicas, que sugerem ao acadêmico seguir um roteiro rígido e anotar dados de forma criteriosa.

Na sequência recorremos à importância do Ensino de Ciências com base nas ideias de autores como, Cachapuz, 2011; Oki e Moradillo, 2008; Neves, 1998; Marques, 2015, Galiazzi e Gonçalves, 2008, dentre outros, pautado na História e Filosofia da Ciência. As concepções que os estudantes têm acerca de como funciona o trabalho de laboratório foram investigadas e destacamos a possibilidade por meio de acesso a fatores históricos que deram origem aos conhecimentos sistematizados atuais, mudanças nas concepções ingênuas que eles apresentam ao ingressarem no ensino superior.

Ainda no capítulo I trazemos discussões sobre a importância do uso da História da Ciência em benefício de uma aprendizagem mais significativa dos conhecimentos científicos. Para tanto, utilizamos como embasamento teórico as ideias propostas por Ausubel. Acreditamos que o contato dos alunos com os acontecimentos históricos favoreça a aprendizagem dos conceitos químicos, pois passam a entender as estreitas relações existentes entre a Ciência e a sociedade e, além disso, o acesso a origem do conhecimento pode proporcionar a aquisição de novos *subsunçores*, necessários em sua estrutura cognitiva, ou seja, pode fornecer conhecimentos prévios necessários para a formação dos chamados pontos de ancoragem que promovem um elo entre tais conhecimentos e os conhecimentos que o aluno ainda precisa aprender.

No capítulo II fazemos um breve resgate histórico sobre a concepção empirista-indutivista de Francis Bacon e em seguida levantamos críticas a tal concepção, mostrando que a ciência não se inicia com a observação e que também não produz conhecimentos neutros resultantes da observação, mas é na realidade uma construção humana sujeita a refutações ao longo do tempo.

Já no capítulo III, com a intenção de demonstrar a importância em se trabalhar os conteúdos históricos dentro do curso de Química, apresentamos três teorias da combustão vigentes século XVIII, em especial os fundamentos da Teoria do Flogístico, a teoria da combustão pelo *ar de fogo* de Carl Scheele e pelo *ar desflogisticado* de Joseph Priestley. Finalizamos abordando a teoria do *oxygène* de Antoine Lavoisier, apontando as principais ideias de cada um para os fenômenos que envolvem a combustão/calцинаção.

No capítulo IV destacamos os procedimentos utilizados para a coleta de dados e a metodologia adotada para sua análise. A produção dos alunos foi textual e buscamos nos seus textos as unidades de significado que pudessem denunciar suas concepções e

eventuais mudanças nas mesmas. A abordagem metodológica tem cunho qualitativo, pois remete ao comportamento e às interrelações dos indivíduos da pesquisa, não podendo estar atrelada apenas a dados estatísticos.

Em relação aos procedimentos utilizados para a coleta de dados, elencamos aqui algumas etapas importantes desenvolvidas no decorrer da pesquisa. Inicialmente os alunos responderam a um questionário inicial para constatar seus conhecimentos prévios sobre método científico e teorias da combustão. Também são questionados se conhecem a Teoria do Flogístico e a Teoria de Lavoisier, de modo que se possa ter um comparativo entre os conhecimentos iniciais sobre tais teorias e a possível aquisição de novos conteúdos ao final da intervenção pedagógica.

Na sequência, os alunos executaram o experimento da vela em seu modo clássico, conforme vem sendo realizado em pelo menos uma Universidade Pública do Estado do Paraná. A realização do experimento pelo método tradicional tem como objetivo mostrar aos alunos que, da forma como vem sendo conduzido, ele não leva a aquisição de novos conhecimentos, além de evidenciar a ideia de que o conhecimento não se inicia pela observação.

Deste modo, o experimento da vela funciona como meio deflagrador pelo qual se iniciam os estudos voltados para os episódios históricos da combustão. Para tanto, foram ofertadas aulas dialógicas em torno da Teoria do Flogístico de Stahl e após foram apresentadas as ideias de dois de seus seguidores, Carl Scheele e Joseph Priestley, que trocaram informações com Lavoisier, e suas novas conclusões sobre o *ar de fogo* e *ar desflogisticado*, respectivamente. Ao final foram levantadas discussões sobre o trabalho de Antoine Lavoisier e sua proposta teórica para o processo de combustão, ocasião em que a Teoria do Flogístico passa a ser intensamente fustigada, mostrando a rivalidade existente entre teorias e a prevalência de uma delas.

Após estudos sobre a História da Química os alunos foram convidados a responder, de forma individual e sem consulta, a questões sobre o fenômeno da combustão com base na visão dos referidos pesquisadores, de modo a avaliar se conseguiram se apropriar dos conteúdos estudados e também questões de cunho epistemológico, com a intenção de verificar se ocorreram mudanças em sua concepção sobre o funcionamento da ciência e seus métodos.

Por fim, no capítulo V são destacados os resultados acerca das questões investigadas, bem como reflexões voltadas para a proposta didática realizada e sua possível contribuição para a melhoria da qualidade do ensino, tendo como base um processo de ensino-aprendizagem pautado nos desdobramentos históricos do conhecimento científico desde suas origens até os dias atuais.

JUSTIFICATIVA

Muitos estudiosos vêm sugerindo uma abordagem dos conhecimentos históricos da Ciência, ressaltando a importância em se explorar a história da construção do conhecimento científico. Tal proposta torna-se relevante, pois o aluno se torna capaz de compreender a dinamicidade do processo científico, abandonando possíveis ideias empiristas, que destacam a ciência como verdade absoluta e definitiva, em nome de um olhar mais amplo sobre a atividade científica que, sendo uma construção humana, está sujeita a mudanças de acordo com os diferentes contextos.

Vários autores defendem a abordagem histórica e filosófica dos conteúdos no ensino de Ciências (MATTHEWS, 1995; CASTRO e CARVALHO 1992; CHASSOT, 2008; OKI e MORADILLO, 2008; CACHAPUZ, 2011; GALLIAZI e GONÇALVES, 2008; KOSMINSKY e GIORDAN, 2002). Por esse motivo, o assunto vem sendo intensamente discutido entre pesquisadores que vêm desenvolvendo estudos e metodologias de ensino que possam tornar mais significativa a aprendizagem dos conceitos químicos tanto na Educação Básica quanto no Ensino Superior.

É notável que os livros didáticos de química utilizados nas escolas e também nas Universidades não contemplem, na maioria das vezes, estudos voltados para a história da Química. Na mesma medida, as Atividades Experimentais no Ensino Médio e também nos cursos de licenciatura em Química, são realizadas dentro de uma concepção simplista e equivocada da Ciência, de modo que os alunos apenas executam experimentos de forma totalmente passiva, acreditando que o conhecimento científico parte de observações rigorosas.

Nesta perspectiva, consideramos fundamental colocar, via experimento da vela, os estudantes em confronto com suas próprias concepções, dando a eles oportunidade de reelaborar suas ideias da construção do conhecimento científico, a partir do contato com as teorias de combustão de Carl Scheele e Joseph Priestley, e confrontá-las com a de Antoine Lavoisier. A reflexão com base nestas teorias é imprescindível para que os alunos percebam toda a dinamicidade do processo científico a partir desse episódio.

1. O ENSINO DE QUÍMICA

1.1 Atividades Experimentais no Ensino de Química

Pesquisas sobre metodologias de ensino, didática, formação e capacitação de professores na área de ciências têm se intensificado nas últimas décadas (CARVALHO e GIL-PÉREZ, 1998; MORTIMER, 1992; LÔBO e MORADILLO, 2003, SCHNETZLER, 2008). A demanda pelo desenvolvimento de atividades pedagógicas com o intuito de motivar e despertar o interesse dos educandos para o estudo das ciências aumenta a cada dia. O uso de atividades experimentais no ensino de Química é alvo de constantes discussões entre pesquisadores como Cachapuz (2011); Cachapuz *et al.*, (2001); Galliazzi e Gonçalves (2004); Gil Perez *et al.*, (2001), Borges (2004); Hodson (1994); Trindade (2011). Isto porque, muitas vezes, são mal utilizadas pelo professor, sendo desenvolvidas com base em concepções empiristas ultrapassadas, as quais não condizem com as concepções epistemológicas atuais. São realizadas de forma totalmente descontextualizada, a-problemática e a-histórica, em que o discurso do professor se restringe a ensinar um suposto “método científico” aos alunos (BORGES, 2004; HODSON, 1994; GIL PÉREZ *et al.*; 2001).

De acordo com Trindade (2004); Maldaner e Piedade (1995), Gil Pérez *et al.* (2001, 2008), no Brasil o ensino de Ciências ainda vem sendo desenvolvido por meio de metodologias de ensino pautadas na memorização de fórmulas e cálculos matemáticos, resultando na desvalorização dos aspectos conceituais e históricos e consequente esvaziamento dos conteúdos. Isso acarreta desinteresse pelos alunos em aprender ciências. Os conteúdos não lhes são significativos, pois não existe uma articulação entre os conhecimentos científicos escolares com o contexto social.

Além disso, não são mencionados de onde, como e em que contexto surge a produção científica. Infelizmente, a maioria dos professores de ciências ainda se encontram atrelados a concepções positivistas e não são capazes de fazer reflexões acerca de sua prática pedagógica e, por isso, são incapazes de desenvolver um estudo crítico, tendo como base os acontecimentos históricos que deram origem aos conceitos e teorias científicas (TRINDADE, 2011).

Conforme explica Matthews (1994) e Trindade (2011), os professores acabam simplesmente transmitindo os resultados da Ciência de forma totalmente descontextualizada. Ou seja, sem relação com a história da vida em seus aspectos econômicos, sociais, culturais e políticos. Acabam por dogmatizar e fragmentar o conhecimento científico, pois os alunos não conseguem estabelecer nenhuma relação entre a Ciência e a sua vida social. É como se os conhecimentos científicos surgissem ao acaso e não tivesse nenhuma articulação com os acontecimentos históricos e sociais que os deram origem.

A visão dogmática traz a crença de que as “descobertas” científicas se destacam frente às demais por serem constituídas de certezas e única verdade, já que são resultado de métodos rigorosos. Os problemas enfrentados na educação estão relacionados não só aos procedimentos, mas também são consequências das visões dogmáticas que os próprios professores têm da Ciência. Por isso, o problema do ensino de ciências não se resume a uma mudança do verbal para o experimental; muitas vezes os alunos são conduzidos aos laboratórios apenas para executar experimentos e, ao final, não conseguem entender os fenômenos envolvidos. Apenas o uso do laboratório não modifica o método de ensino focado na mera transmissão, o que é preciso é um bom professor, que saiba contextualizar e dar boas aulas, sejam elas práticas ou teóricas (TRINDADE, 2011; GIL PÉREZ *et al.*; 2001).

O fato é que ainda predomina no ensino o desenvolvimento de práticas pedagógicas alicerçadas em ideias empírico-indutivistas, nas quais o experimento segue procedimentos rigorosos, como se fossem receitas infalíveis (CACHAPUZ, 2011). Não são oferecidas aos alunos possibilidades de participação ativa na coleta de dados, elaboração de hipóteses, reflexões e busca por respostas. Os experimentos são apresentados pelo professor, detentor do conhecimento, por meio de um roteiro rígido, colocando a ciência como algo absoluto e definitivo (SILVA e ZANON, 2000).

Nesse contexto de trabalho, cabe aos estudantes observar rigorosamente o experimento e anotar tudo o que puderem, de modo a inferir hipóteses e modelos a partir de tais anotações. Desta forma, apenas executam a atividade proposta de forma passiva, seguindo e aceitando todos os protocolos já estabelecidos, buscando ao máximo se aproximar dos resultados esperados (LIMA *et al.*, 2000). A ideia de que a atividade experimental serve apenas para comprovar uma teoria e testar hipóteses já é ultrapassada,

pois ela tem vida própria, envolve ideias, busca por conhecimentos, diferentes tipos de compreensão e inúmeras capacidades (PRAIA, CACHAPUZ e GIL-PÉREZ, 2002).

O uso de tal método nas atividades experimentais, sem reflexões, conduz à disseminação de uma concepção ingênua e equivocada da Ciência. Essa prática não leva em consideração a natureza dos conhecimentos científicos, passando a ideia de que os mesmos emergem (ou sejam “descobertos”) de forma espontânea a partir da observação, sem que haja controvérsias na sua produção. Nesta direção, não é apresentada aos alunos a longa trajetória percorrida pela Ciência, que deriva de um árduo processo de investigação, que busca a solução adequada para os fenômenos em questão (LAUDAN, 2011). A Ciência nas instituições de ensino contradiz, portanto, às concepções modernas de que o conhecimento é algo aberto, sujeito a alterações e transformações ao longo do tempo.

Esta visão distorcida da Ciência atinge professores de todos os níveis escolares, por isso, é preciso tomar cuidado com os perigos do reducionismo, do fazer pelo fazer, nas atividades experimentais. As atividades experimentais necessitam do engajamento dos conceitos científicos e não deve se limitar ao exercício empirista (CHASSOT, 1990; MALDANER e PIEDADE, 1995).

Mesmo documentos oficiais preconizam melhor integração entre teoria e prática, no sentido de ir além da prática por si mesma. Segundo as diretrizes curriculares do Paraná,

É necessário perceber que o experimento faz parte do contexto de sala de aula e que não se deve separar a teoria da prática. Isso porque faz parte do processo pedagógico que os alunos se relacionem com os fenômenos sobre os quais se referem os conceitos a serem formados e significados (PARANÁ, 2008, p. 20).

Muitas vezes, os alunos participam de aulas práticas simplesmente para “fazerem experiências”. São convidados a observar atentamente os fenômenos, sem quaisquer contestações. Ao final, apenas anotam e aceitam os resultados como prontos e definitivos. Certamente os conteúdos não foram compreendidos em sua essência, pois não apresentam significado para o aluno. Em muitos casos, essas atividades se revelam totalmente

desconexas dos conteúdos de Química, e são abordados de modo exclusivamente empirista, a-social e anacrônico.

Nesse sentido, os PCNEM se posicionam da seguinte forma:

Com relação à experimentação, é importante considerar que ela, por si só, não assegura a produção de conhecimentos químicos de nível teórico-conceitual significativos e duradouros, mas cumpre papel essencial, ajudando no desenvolvimento de novas consciências e de formas mais plenas de vida na sociedade e no ambiente. O aspecto formativo das atividades práticas experimentais não pode ser negligenciado a um caráter superficial, mecânico e repetitivo, em detrimento da promoção de aprendizados efetivamente articuladores do diálogo entre saberes teóricos e práticos dinâmicos, processuais e relevantes para os sujeitos em formação. Ou seja, é essencial que as atividades práticas, em vez de se restringirem aos procedimentos experimentais, permitam ricos momentos de estudo e discussão teórico/prática que, transcendendo os conhecimentos de nível fenomenológico e os saberes expressos pelos alunos, ajudem na compreensão teórico-conceitual da situação real, mediante o uso de linguagens e modelos explicativos específicos que, incapazes de serem produzidos de forma direta, dependem de interações fecundas na problematização e na (re)significação conceitual pela intervenção do professor (BRASIL, 2006, p.126).

Os procedimentos experimentais necessitam sempre de uma explicação científica baseada em seus pressupostos teóricos, considerando o fato de que quando utilizados como receita não colaboram para uma aprendizagem significativa dos conhecimentos e por isso, não prepara o aluno para a vida (CHASSOT, 1990). Nesta perspectiva, a atividade prática empregada apenas de forma empírica, por meio de verificação e observação, não acarreta reais benefícios aos alunos. Assim, eles não conseguem entender o que está acontecendo por não encontrarem significado nos experimentos e não serem capazes de identificar os conceitos e fenômenos envolvidos na atividade que foi desenvolvida (LIMA *et al.*, 2000).

Silva e Zanon (2000) destacam a visão reducionista de muitos professores, que acreditam ser a Ciência uma verdade definitiva. Este ponto de vista acaba sendo transferido para os alunos, que passam a acreditar que existe sempre uma única resposta a ser alcançada, já pronta e imutável. De acordo com Galiazzi e Gonçalves (2004), professores e alunos ainda apresentam concepções presas a uma visão de Ciência neutra, objetiva e empirista. Tais afirmações são evidenciadas a partir de uma investigação desenvolvida pelos referidos autores junto a alunos e professores de um curso de

Licenciatura em Química. Um aspecto relevante a partir do estudo citado refere-se à crença de alguns professores de que a atividade experimental deve ser utilizada para extrair uma teoria a partir da observação. Contudo, de acordo com Welington (*apud* Galiazzi e Gonçalves, 2004), os experimentos são dependentes de uma teoria, deste modo, são as teorias que tornam possível uma interpretação e não o inverso. Isto porque antes de iniciar os trabalhos em um laboratório o pesquisador já tem em mente o que vai pesquisar e por isso se baseia em uma teoria prévia, mesmo que de forma implícita.

Também é preciso perceber que o uso de atividades experimentais apenas para se comprovar teorias não se sustenta e favorece uma prática científica pouco coerente. Isto porque, o fato de uma teoria não estar de acordo com alguns dados empíricos não é suficiente para que um cientista a abandone de forma imediata, ao contrário, ele irá buscar soluções que consigam sustentar sua teoria (SILVA e ZANON, 2000). Na realidade as atividades experimentais devem favorecer a aprendizagem no sentido de que os alunos consigam perceber como se deu a construção dos conhecimentos científicos, para que assim compreendam as dificuldades enfrentadas e a intrínseca relação existente entre a Ciência e a sociedade, e isto pode se tornar possível por meio da contextualização dos conteúdos com base na História da Ciência.

A atividade científica se encontra pautada na busca por respostas satisfatórias para os problemas científicos em diferentes contextos históricos, por isso não está atrelada apenas a dados neutros obtidos em laboratório. É, na realidade, uma produção humana sujeita a alterações (LAUDAN, 2011). Isso não significa que não existam metodologias a serem seguidas pelos pesquisadores. O fato é que existe uma pluralidade de métodos e não um único método a ser seguido. Deste modo, o que está sendo refutado é a Ciência como resultado de um método científico baseado exclusivamente na observação/experimentação neutra do pesquisador.

Nas Universidades, na maioria das vezes, os acadêmicos, durante suas aulas práticas realizam os experimentos conforme solicitado em roteiros, de forma totalmente desvinculada dos aspectos sociais aos quais a Química está envolvida. Chegam ao laboratório e executam o experimento como se fossem tábulas rasas, sem nenhum questionamento. O professor acompanha as atividades e verifica se tudo está sendo realizado conforme sugerem os manuais.

Os acadêmicos se comportam de forma totalmente passiva, cabendo a eles apenas observar os fenômenos e fazer anotações criteriosas para posterior elaboração dos relatórios. Esta prática é bastante comum nas Universidades públicas que possuem o curso de graduação em Química. Conforme apontam Mortimer (2006); Silva e Zanon, (2000), isso demonstra que em pleno século XXI, professores e conseqüentemente os alunos, possuem uma visão distorcida da Ciência e destacam a experimentação como prova da validade de conhecimento científico, que é aceito pela sociedade como uma “verdade” perpétua.

De acordo com Cachapuz (2011), as atividades experimentais não apresentam uma definição concreta da situação-problema em estudo. Os alunos não conseguem dar sentido aos conhecimentos porque não conhecem a sua origem, portanto, lhes falta um fio condutor para que consigam organizar suas ideias. Durante o experimento, executam as tarefas solicitadas sem saber aonde vão chegar. Apenas sabem que precisam chegar a uma resposta pré-determinada, como se surgisse de maneira espontânea, clara e óbvia sem necessidade de contestações acerca de sua validade, pois já é conhecimento “comprovado” cientificamente.

Isto dificulta muito a aprendizagem dos alunos, porque eles não possuem um problema para resolver, então não investigam os fenômenos em busca de respostas. Não são levantados questionamentos sobre a origem dos conhecimentos e não surgem dúvidas nem reflexões. Não são criados nos alunos desafios intelectuais que os façam pensar, raciocinar (CACHAPUZ, 2011; ROSITO, 2008), daí a dificuldade ao final da atividade experimental em compreender os fenômenos envolvidos, pois os alunos não passaram de meros espectadores do processo.

Tais fatos ocorrem porque estudantes, professores e a maioria da sociedade acredita que a ciência funciona dentro de um caminho pré-determinado, guiado por um “método científico rigoroso”, o qual conduz a formulação de teorias que se sucedem espontânea e naturalmente, pela sua maior validade e lógica, sem que haja contestações na produção do conhecimento. Segundo Morin (2001), a própria ciência ainda não conhece a si mesma, isto porque a verdadeira origem do conhecimento científico ainda não ficou clara nem para os próprios praticantes da atividade científica que estão dentro das universidades.

Mesmo em meio às concepções modernas acerca da natureza da ciência, parece que os professores, de um modo geral, continuam mal informados. Eles disseminam uma concepção simplista de ciência, influenciando diretamente no modo de como e o que ensinam. Por isso, o professor deve ter contato com as principais concepções de ciência, a fim de que consiga confrontá-las, aprofundando suas próprias concepções, buscando repensar seu trabalho docente, de modo a modificar sua prática por meio de novas estratégias de ensino (GIL PEREZ *et al*, 2001).

Com o objetivo de romper com esta visão deformada da Ciência, importa que os alunos consigam perceber a dinamicidade do processo científico e a constante busca por respostas e não por certezas. Precisam perceber a busca por resoluções de problemas em todo o trabalho científico, conscientizando-se de que o problema é o princípio, mas certamente não é o fim, mesmo após sua resolução, que é sempre provisória (CACHAPUZ, 2011; LAUDAN, 2011).

De acordo com Fourez (2004), nas últimas décadas o Ensino de Ciências vem sofrendo transformações e já não é mais possível um ensino voltado apenas para a memorização de conceitos científicos. Já é hora de mudanças metodológicas com outros níveis de conhecimento, com o objetivo de conduzir o aluno a um verdadeiro desafio intelectual, possibilitando ao mesmo perceber toda a dinamicidade do processo científico, para que consiga entender como certa teoria se estabeleceu, as constantes rivalidades existentes entre as mesmas e que não surgiram ao acaso, ou seja, é preciso apontar o caráter social dos conhecimentos e apresentar a estreita relação entre a ciência e o ser humano. Só a partir de então os alunos terão maior interesse em estudar ciência, sendo capazes de significar os conteúdos e compreendê-los em sua essência.

Assim, a ideia de que a construção do conhecimento se fundamenta em um método científico já não se sustenta dentro da educação científica. A obtenção de dados puros e verdadeiros por meio da observação neutra, que posteriormente resulte na elaboração das teorias é constantemente refutada, pois toda observação está relacionada a uma interpretação e jamais é neutra. Cada sujeito tem sua bagagem teórica e interpreta os fenômenos de acordo com os conhecimentos que possui (HANSON, 1975).

Mesmo em meio a novas concepções de Ciência, na maioria das vezes, as aulas experimentais trazem a Química como algo pronto e acabado e não dedicam tempo em

discutir aspectos históricos. Contudo, a inserção de uma abordagem histórica é de extrema importância para a compreensão de como se chegou a este conhecimento organizado e sistematizado a que temos acesso. Neste aspecto, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) apontam que a História e Filosofia da Ciência podem contribuir para minimizar muitos problemas no ensino de Ciências. De acordo com este documento:

A consciência de que o conhecimento científico é assim dinâmico e mutável ajudará o estudante e o professor a terem a necessária visão crítica da ciência. Não se pode simplesmente aceitar a ciência como pronta e acabada e os conceitos atualmente aceitos pelos cientistas e ensinados nas escolas como “verdade absoluta” (BRASIL, 2000, p.31).

Acreditando que a abordagem histórica dos conhecimentos científicos contribui para a superação de possíveis visões empobrecidas da ciência, defende-se o desenvolvimento de atividades práticas com base em um resgate histórico das teorias que embasam a atividade. Neste sentido, o Experimento da Vela, da forma como é adotado, não é útil para se ensinar um “método científico”. Isto porque a Ciência não se fundamenta em um método científico rígido. Todavia, isso não significa que pesquisadores não adotem percursos metodológicos e sigam algumas regras em seu trabalho.

Conforme salientam Malamitsa *et al.* (2005), uma estratégia didática pertinente para discutir a humanização e negar a linearidade da Ciência refere-se a discussões por meio de debates sobre os intensos confrontos que sempre existiram entre teorias rivais que procuram dar explicações satisfatórias para um mesmo fenômeno. Esta metodologia auxilia na desmistificação de percepções equivocadas e permite que os alunos percebam que existe um processo de construção, passando a reconhecer os conteúdos como um produto histórico. Nesta perspectiva, CASTRO e CARVALHO (1992) salientam ainda que:

Quando um aluno chega ao ponto de interrogar o objeto de estudo em sua gênese, buscando as razões ou os motivos que o engendraram, tentando acompanhar as modificações que lhe foram feitas ao longo das diversas incursões através do tempo, ele parece confessar uma certa disposição para reconstruí-lo. Ou seja, quando ele discute de onde vieram

certas ideias, como evoluíram para chegar onde estão ou mesmo quando questiona os caminhos que geraram tal evolução, de certa forma ele nos dá indícios de que reconhece tais conceitos como objeto de construção e não como conhecimentos revelados ou meramente passíveis de transmissão. Buscar razões, parece indicar um comprometimento maior com o que se estuda e se, além disso, o aluno argumenta, ele dá mostras de estar reconhecendo-se também como sujeito construtor de saber (CASTRO e CARVALHO, 1992, p.232)

Desta forma, buscou-se trabalhar o experimento da vela dentro de uma perspectiva histórica, com o intuito de significar os conceitos envolvidos nesta atividade, em particular, debatendo os modelos de Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier. Esperamos que, após as intervenções, os acadêmicos sejam capazes de compreender e explicar a combustão a partir de três teorias rivais, relativizando a teoria prevalente. Esperamos também que os alunos adquiram uma visão mais ampla da atividade científica, que por ser uma produção humana está sujeita a contestações. Por isso os conhecimentos científicos não podem ser vistos como um resultado final, pois existe e sempre vai existir confronto de ideias, ou seja, a rivalidade entre teorias, não se constituindo a partir de descobertas isoladas, mas sim de ideias que rivalizaram em algum momento, segundo a necessidade de cada contexto.

1.2 O Ensino de Química com Base na História da Ciência

Alguns pesquisadores como Cachapuz (2011); Oki e Moradillo (2008); Mortimer e Santos (2008); Neves (1998); Galiuzzi e Gonçalves (2004); Marques (2015), Zanon (2004), Beltran (2013), dentre outros, têm sugerido uma abordagem histórica dos conteúdos científicos trabalhados, destacando a importância em se explorar a construção do conhecimento desde suas origens por meio de uma proposta metodológica que contemple o aspecto dinâmico dos fatos que possibilitaram a elaboração de teorias ao longo da história.

Discussões sobre o uso da História da Ciência no ensino não é um assunto recente. Já na década de 30, a Reforma de Francisco Campos¹, ainda que de forma progressista e linear, apontava a necessidade de uma introdução histórica da Química no contexto escolar. Nesta reforma é clara a proposta de se mostrar aos alunos como se dariam as descobertas e a evolução da Ciência até se chegar aos conhecimentos atuais. Contudo, tal proposição se baseava na historiografia da época, onde apenas se reportava ao passado para apontar as teorias e os personagens para estabelecer os precursores das áreas, como por exemplo, destacar Lavoisier como “o Pai da Química”. A proposta não considerava todo o processo de construção dos conhecimentos e desvalendo dos estudos de outros estudiosos da época (MARQUES, 2015; BELTRAN, 2013).

Marques (2015) e Zanon (2004) salientam que a partir da década de 1960 algumas mudanças foram acontecendo e os debates sobre o uso da História da Ciência no ensino foram se intensificando. Alguns aspectos importantes impulsionaram novas investigações sobre este tema, dentre eles, as teorias psicológicas de Piaget e Vygotsky, as novas metodologias de ensino e o enfoque dado às questões que envolvem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Porém, algumas correntes, modelos de aprendizagem e cursos de licenciatura sofreram forte influência de visões positivistas. A concepção positivista é aquela pautada na resolução de diferentes problemas por meio da aplicação de técnicas, teorias e procedimentos baseados em um único método rigoroso de análises, sem levar em conta como as informações resultantes de tais procedimentos surgiram. Por esse motivo, também é conhecida como modelo da racionalidade técnica (MARQUES, 2010; ZANON, 2004).

De acordo com Marques (2010) e Zanon (2004), o modelo ainda dominante na formação de professores tem suas raízes em tais concepções. Deste modo, o principal objetivo dos professores é fazer com que os acadêmicos “aprendam” conceitos, fórmulas e teorias que são apresentadas como “verdades absolutas”, como se tivessem surgido natural e espontaneamente a partir dos chamados “gênios” da ciência. Tais conteúdos se revelam totalmente desconexos do contexto social. Os conteúdos lhes são transmitidos de

¹ F. Campos, “Reforma do ensino secundário (decreto 19890, 18 de abril de 1931),” in *O Ensino Secundário no Brasil e sua atual legislação: de 1931 a 1941 inclusive* (São Paulo: Oficinas de José Magalhães, 1942).

forma mecânica e memorística e utilizados apenas para aplicação técnica, sem que sejam estabelecidas relações entre estes e o meio social.

Muitas vezes os futuros professores se encontram envolvidos em pesquisas e estágios em outros ramos da ciência, mas dificilmente em algo relacionado à docência. Deste modo, no momento que são ofertadas as disciplinas que permitem aos acadêmicos terem contato com diferentes correntes pedagógicas e linhas de ensino e que são oportunizadas reflexões sobre sua formação com acesso as discussões históricas sobre os conteúdos científicos desenvolvidos, o interesse já está focado em outras áreas e eles acabam perdendo o interesse pelos assuntos envolvidos, resultando em pouco aproveitamento em relação aos conteúdos relacionados à sua formação docente (TRINDADE, 2011; MARQUES, 2015).

Esses fatores acarretam má formação de professores, pois não ocorre a necessária articulação entre as disciplinas e o objeto de estudo. Desta forma, ao se depararem com uma sala de aula, se sentem desprovidos dos pré-requisitos básicos, os quais são indispensáveis para dar início à carreira docente. Acabam muitas vezes por reproduzir suas aulas conforme as receberam na universidade, com memorização de fórmulas e conteúdos totalmente descontextualizados e sem relação com os aspectos sociais que os originaram (GIL PÉREZ *et al.*; 2001; CACHAPUZ, 2011).

Contudo, devido ao reconhecimento da necessidade de inserção da História da Ciência para a educação científica entre pesquisadores como Paixão e Cachapuz (2003); Matthews (1995), dentre outros, alguns atos importantes oficiais e não oficiais vêm acontecendo, resultando em importantes reestruturações curriculares de modo a inserir a História da Ciência nos currículos². Existem evidências desta tendência em documentos oficiais como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN) e também nas novas Diretrizes Curriculares para os cursos de graduação (MORTIMER e SANTOS, 2008; OKI e MORADILLO, 2008). Conforme destaca Schnetzler (2008 p. 30-34), vale lembrar que a preocupação em se relacionar o ensino de Química à sua história já vem sendo discutido desde o Segundo Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) realizado em 1984. Além disso, assuntos voltados para a história e epistemologia

² L. I. F. Freire & S. X. Campos, "A reestruturação curricular do curso de Licenciatura em Química da UEPG: análise do perfil do formando," in *XVI Encontro de Química da Região Sul (16-SBQ Sul)* (2008); e M. H. G. F. Silva et al., "A Reestruturação das Licenciaturas: alguns princípios, propostas e (prê)condições institucionais," *Rev. Diálogo Educ., Curitiba* 8 (2, jan.-abr. 2008): 15-37.

da Química foram intensamente debatidos nos IV ao VI ENEQ (1988-1992) e também do VIII ao XIII ENEQ (1996-2006).

Por isso, nos dias de hoje, a História da Ciência na educação vem se demonstrando uma tendência pedagógica de ensino, devido à necessidade de que professores e estudantes compreendam a intrínseca relação entre a sociologia humana e o conhecimento científico. Assim, Schnetzler (2002), afirma que:

Mesmo com relação ao conhecimento ou domínio do conteúdo a ser ensinado, a literatura revela que tal necessidade docente vai além do que habitualmente é contemplado nos cursos de formação inicial, implicando conhecimentos profissionais relacionados à história e filosofia das ciências, a orientações metodológicas empregadas na construção de conhecimento científico, as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, e perspectivas do conhecimento científico (SCHNETZLER, 2002, p.17).

É importante que os conhecimentos sejam vistos como uma construção histórica não neutra, condicionados aos fatores sociais de cada contexto, para que os estudantes possam compreender a dinamicidade do conhecimento científico desde suas origens. A partir do momento que o aluno consegue entender de onde surgiram os conteúdos, ele é capaz de encontrar significado nos mesmos e relacioná-los com sua vida social.

O reconhecimento de que a Ciência tem uma história traz importantes implicações para o seu ensino em todos os níveis escolares e, em função disso, é necessário se compreender, de forma mais ampla a natureza da ciência, sua história e seus métodos. Esta metodologia certamente facilita a apreensão dos conceitos, favorecendo a aprendizagem. Isto porque os alunos passam a tomar contato com o processo de construção das teorias e a entender como surgiram, considerando os fatores econômicos, político e históricos de cada época. De acordo com Matthews (1995),

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir

para um entendimento mais integral de matéria científica, [...] podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (MATTHEWS, 1995 p. 165).

Mesmo com as ideias modernas de teóricos da epistemologia apontando a Ciência como uma linguagem e construção humana, ainda é possível perceber que professores e alunos continuam mal informados e possuem concepções equivocadas sobre a Ciência e os cientistas. Esta visão é reflexo do enfoque dado pelos livros didáticos e também pela fala dogmática de muitos professores que acabam resumindo os conteúdos a fórmulas e expressões matemáticas sem qualquer contextualização (GIL PÉREZ *et al.*; 2001 e 2008).

Conforme explicam Peduzzi (2001); Höttecke e Silva (2011), os livros didáticos não contemplam uma abordagem histórica relacionada à construção do conhecimento. A maioria dos livros, ao tentarem explicar o desenvolvimento da ciência acabam por transmitir uma visão distorcida, destacando o trabalho dos cientistas de forma linear, sem apontar as dificuldades enfrentadas para a elaboração das teorias. Além disso, enfatizam apenas os aspectos positivos, ou seja, apenas aqueles considerados promissores.

O problema é que os formadores das licenciaturas possuem eles próprios uma formação pedagógica fragmentada, reflexo da conduta de seus antigos professores, motivo pelo qual acabam reproduzindo ações pouco refletidas e sem fundamentos, resistindo a possíveis mudanças epistemológicas. Divulgando junto aos futuros professores uma visão de Ciência neutra, objetiva e empirista (GALIAZZI e GONÇALVES, 2004). Na realidade, pouca atenção é dada aos acadêmicos que pretendem se dedicar à carreira docente. Os professores universitários preferem se voltar apenas às atividades de pesquisa científica, distanciando à docência da investigação, resultando na má formação dos futuros professores (TRINDADE, 2011). Como consequência, a maioria dos alunos do ensino médio apresenta uma compreensão reducionista sobre a atividade científica, resultado de um ensino pautado na memorização dos conteúdos.

A falta de discussões sobre História da Ciência impede a compreensão por parte dos alunos das dificuldades enfrentadas, dos embates vivenciados e dos obstáculos que

tiveram e têm que ser superados na construção e consolidação das teorias modernas. Além do mais, a ausência desse entendimento, consequência do ensino de uma ciência anacrônica e sem contexto conduz, em todos os níveis de escolarização, à concepção de que ela é uma atividade neutra, linear e progressista, na qual as teorias se sucedem de modo natural, pelas suas lógicas internas, sem influência de aspectos externos à própria Ciência.

Isto remete os alunos a acreditarem que o cientista é o maior agente de transformação de seu meio e que não sofre influências externas, limitando sua vida a pesquisas em um laboratório isolado do seu contexto social. Para eles o cientista é solitário e interage somente com seu mundo, sendo autor de grandes “descobertas” isoladas, tendo seus estudos realizados com base exclusivamente na observação e experimentação dos fenômenos (KOSMINSKY e GIORDAN, 2002; SILVA *et al.*; 2009; BASTOS; 1998).

Estes fatos apontam que muitos professores e alunos desconhecem a real natureza dos conhecimentos científicos, daí a necessidade de diálogos e discussões entre os historiadores e pesquisadores da ciência sobre a importância do uso da História da Ciência no ensino (MARQUES, 2015). Este tema é importante e deve estar presente nos cursos de Formação para que os professores tenham contato com as principais ideias de filósofos da ciência. Isso os permitirá repensar sua prática pedagógica e desenvolver estratégias de ensino que consigam motivar o aluno para a aprendizagem e ao mesmo tempo mostrar a intrínseca relação entre a ciência e a sociedade. Ou seja, explicitar as relações que se estabelecem no interior de uma comunidade científica por ser a cultura científica uma construção humana, desatrelando-a de ideias isoladas de gênios, mas produto de intensos conflitos intelectuais dentro de cada contexto.

Por isso é importante que o professor apresente o longo caminho percorrido para a construção do conhecimento científico, a fim de que o aluno consiga perceber o dinamismo e as dificuldades enfrentadas pela ciência desde os primórdios até os dias atuais, mostrando que as teorias atualmente aceitas são resultado de intensas discussões e contradições ao longo do tempo. Os alunos necessitam ter a concepção de que todo conhecimento é resposta a uma questão, a um problema, sempre com a perspectiva de que tais respostas são passíveis de contestações e refutações, daí o caráter transitório das teorias (CACHAPUZ, 2011; LAUDAN, 2011).

De acordo com Neves (1998), o cenário de hoje reflete a fragmentação do ensino em todos os níveis. Os saberes são divididos em compartimentos estanques e apenas os conteúdos são contemplados, de forma rígida e desconexa, prejudicando assim a articulação da Ciência com aspectos sociais. Esta divisão pode ser constatada a partir dos currículos, os quais elencam objetivos a partir de teorias educacionais progressistas, descartando qualquer possibilidade de construção do conhecimento. Tais currículos, carentes de mudanças político-educacionais reduzem a Ciência apenas a “descoberta”, transmitindo conteúdos como verdades definitivas, portanto, imutáveis.

Ocorre um total esquecimento das origens da ciência, associando a mesma a acontecimentos pontuais. O aluno não é incentivado pelo professor a ler sobre a história, a conhecer seus fundamentos, de modo que pudesse ter outras visões sobre a atividade científica. Neste aspecto, acredita-se que um olhar ao passado buscando analisar as diferentes visões de mundo que existiam possibilite ao menos uma mudança metodológica alicerçada em bases interpretativas, se afastando de um ensino pautado na simples repetição e memorização de conceitos soltos e descontextualizados (NEVES, 1998).

Oki e Moradillo (2008) asseveram que no Brasil, algumas mudanças nos currículos já podem ser percebidas no sentido de contemplar História da Ciência (HC) no ensino, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e também nas novas Diretrizes de alguns cursos de graduação. Isto porque a concepção de Ciência interfere diretamente no modo como se ensina, bem como na seleção dos conteúdos a serem abordados. Acredita-se que a inserção de conteúdos voltados para a História e Filosofia da Ciência contribuam para a humanização do ensino científico, facilitando a compreensão acerca da relação entre a Ciência e a sociedade e conseqüentemente promovendo uma mudança nas concepções simplistas que os alunos possuem sobre a atividade científica. De acordo com estes autores:

A HC é considerada conhecimento indispensável para a humanização da ciência e para o enriquecimento cultural, passando a assumir o elo capaz de ensinar menos para ensinar melhor. É deixada, aos curriculistas, a importante tarefa de promover reestruturações visando muito mais eliminar do que acrescentar conteúdos de ensino (OKI E MORADILLO, 2008, p.69).

Algumas Universidades estão incluindo em seus currículos disciplinas voltadas para a História da Ciência. Porém muitas delas não oferecem tais disciplinas e os acadêmicos acabam construindo suas concepções epistemológicas de maneira informal. Isto prejudica a formação inicial do professor e contribui para a consolidação de concepções que não condizem com as ideias atuais, reforçando concepções deformadas da atividade científica (OKI e MORADILLO, 2008).

Segundo Oki e Moradillo (2008), existem duas formas de introduzir os conteúdos sobre a história da ciência no processo de ensino-aprendizagem. A forma implícita e a forma explícita. No primeiro caso, mensagens implícitas são engajadas no processo pedagógico por meio de trabalhos de cunho investigativo, nos quais os alunos participam ativamente e recebem instruções sobre como funciona a atividade científica. Já na forma explícita, todos os materiais são desenvolvidos com o propósito de se aumentar a compreensão sobre a natureza da Ciência. Para tanto, as atividades contemplam investigações e exemplos históricos que possibilitam reflexões e discussões sobre como se chegou ao conhecimento científico sistematizado a que temos acesso nos dias de hoje.

Resultados de pesquisas que envolvem concepções sobre a natureza da ciência apontam que o ensino com base na História da Ciência oferece aprimoramentos importantes em relação às concepções de professores e alunos, especialmente quando se utiliza a abordagem explícita dos conteúdos (OKI e MORADILLO, 2008). Neste aspecto, o desenvolvimento histórico da Química, possibilita que a mesma não seja ensinada de forma tão fragmentada e desinteressante, mas que tenha uma base condutora que possa guiar as concepções dos alunos sobre como a ciência funciona, desmistificando ideias dogmáticas de uma ciência alheia ao contexto social e favorecendo a aprendizagem significativa dos conteúdos.

1.3 História da Química no Ensino: Rumo a Aprendizagem Significativa

A aprendizagem é algo bastante complexo, pois para que um indivíduo consiga construir conceitos de diversos temas, inclusive relacionados à Química, há a necessidade da interação de inúmeros fatores e processos. De forma ampla Fontana (1998) discorre que:

O aprendizado consiste em uma mudança relativamente persistente no comportamento do indivíduo devido à experiência. Esta abordagem, portanto, enfatiza de modo particular a maneira como cada indivíduo interpreta e tenta entender o que acontece. O indivíduo não é um produto relativamente mecânico do ambiente, mas um agente ativo no processo de aprendizagem, que procura de forma deliberada processar e categorizar o fluxo de informações recebido do mundo exterior (FONTANA, 1998 p. 157).

Muitas críticas vêm sendo feitas ao ensino tradicional, no qual o aluno se apresenta como um receptor passivo, sem levantar dúvidas ou questionamentos sobre os conteúdos apresentados. As informações são repassadas aos alunos de forma totalmente desvinculadas do seu contexto social, sem sofrerem transformações ou adaptações. Conforme explica Behrens (2000), no ensino tradicional os conhecimentos dos alunos não são considerados e sua participação se restringe a escutar, memorizar e repetir os conteúdos abordados. Nessa ótica os alunos não conseguem compreender os conteúdos por não encontrar sentido nos mesmos, isto porque não conseguem estabelecer relação entre os conteúdos e seu meio social.

Nesse sentido, o uso da História da Química no ensino pode facilitar os processos de ensino e aprendizagem por fazer com que o aluno encontre significado nos conteúdos, uma vez que ele passa a conhecer suas origens. Muitas vezes os alunos não conseguem entender o que está sendo proposto, por não saber de onde vieram tais conceitos e qual a relação dos mesmos com sua prática social. Este fator causa desinteresse dos alunos em estudar Química, dificultando sua aprendizagem (CACHAPUZ, 2011).

As informações que circulam em sala de aula são respostas a questionamentos, conflitos intelectuais e busca por respostas de gerações anteriores. No entanto, na maioria das vezes, eles nunca tiveram acesso aos acontecimentos históricos que deram origem aos conhecimentos sistematizados atuais. Isto decorre de um ensino mecânico com base em uma visão a-problemática e a-histórica da Ciência, por isso, falta aos alunos uma base condutora que unifique suas ideias (CACHAPUZ, 2011; GIL PÉREZ *et al.*; 2001). É preciso que o aluno compreenda de onde surgiram tais conhecimentos, quais os caminhos percorridos e as dificuldades enfrentadas para se chegar até aqui (MATTHEWS, 1995). Tal abordagem é imprescindível para que consigam dar significado aos conhecimentos científicos, relacionando-os com sua prática social.

Defensor das teorias cognitivistas, Ausubel *et al.*; (1980), apontam que a aprendizagem significativa prioriza a organização cognitiva dos conteúdos aprendidos de forma ordenada, possibilitando ao aluno inúmeras opções para associação de conceitos para um novo aprendizado. Para Ausubel, citado por Moreira e Masini (1982), cognição é:

Processo através do qual o mundo dos significados tem origem. À medida que o ser se situa no mundo, estabelece relações de significação, isto é, atribui significado a realidade que se encontra. Esses significados não são entidades estáticas, mas pontos de partida para a atribuição de outros significados. Tem origem, então, a estrutura cognitiva (os primeiros significados), constituindo-se nos “pontos básicos de ancoragem” dos quais derivam outros significados (MOREIRA e MASINI, 1982, p.3).

Conforme explicam Ausubel *et al.*; (1980), “A aprendizagem significativa envolve a aquisição de novos significados e os novos significados, por sua vez, são produtos da aprendizagem significativa. ”. Tal aprendizagem ocorre a partir do momento em que uma determinada ideia, ao ser aprendida, relaciona-se de forma *não-arbitrária e não-litera*l a alguns conhecimentos relevantes existentes na estrutura cognitiva do aluno. (AUSUBEL *et al.*; 1980, p. 34). Os conhecimentos relevantes que estão presentes na estrutura cognitiva e que tornam possível o ancoradouro para novas informações são denominados *subsunçores*. Assim, ao se deparar com um material de aprendizagem, é necessário que o aluno disponibilize de *subsunçores* em sua estrutura cognitiva para conseguir assimilar os novos conhecimentos de forma significativa. Caso contrário, ocorrerá a memorização mecânica de definições e conceitos (AUSUBEL *et al.*; 1980).

Vale destacar que no processo de aprendizagem significativa a relação *não litera*l que ocorre entre os *subsunçores* e o novo conhecimento não pode ser vista simplesmente como uma simples conexão, é algo mais intenso. Isto porque no momento da aprendizagem ocorrem mudanças tanto no conhecimento que o aluno já possuía quanto no novo conhecimento (MOREIRA e MASINI, 1982). Então, é importante a relação de um conteúdo novo à uma ideia ou informação já existente na estrutura cognitiva. Isso porque, quando o aluno aprende os conteúdos de forma literal, sem estabelecer relações com um conhecimento anterior, sua aprendizagem é mecânica e ele apenas conseguirá reproduzir tais conhecimentos de maneira idêntica ao que lhe foi apresentado. Contudo, conforme explica Tavares (2005), a construção de significados não se baseia em uma

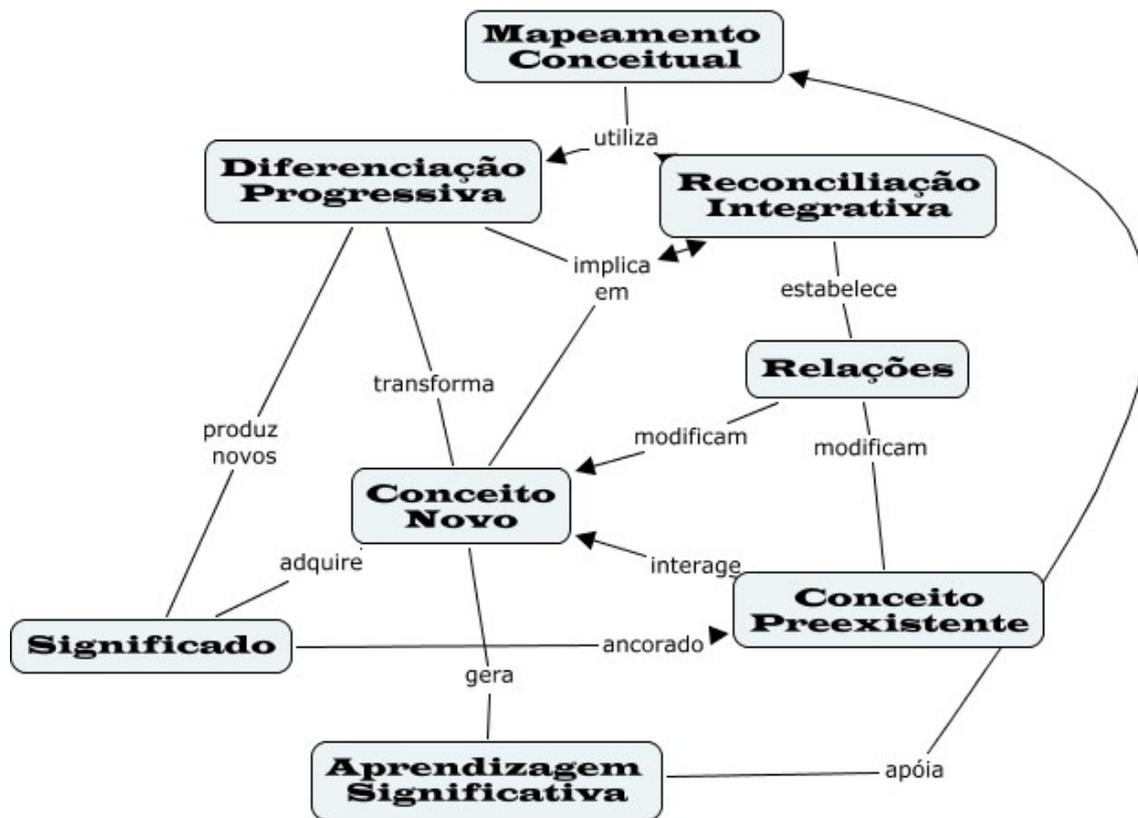
apreensão literal da informação. Pelo contrário, se baseia em uma apreensão substantiva do que está sendo estudado, ocorrendo assim, quando o indivíduo apresenta elementos em sua estrutura cognitiva que servem de base inicial para a aprendizagem de uma nova ideia potencialmente significativa (AUSUBEL *et al.*; 1980; NOVAK e GOWIN, 1984).

Na aprendizagem significativa, o sujeito relaciona um novo conteúdo, ideia ou informação a conceitos já existentes em sua estrutura cognitiva (pontos de ancoragem para a aprendizagem). Desse modo, essa nova informação é assimilada e na sequência acomodada pela estrutura cognitiva. Portanto, para que um novo conteúdo seja assimilado pela estrutura cognitiva é necessário que os conceitos relevantes para a aquisição de novos conhecimentos já estejam lá como pontos de ancoragem. (AUSUBEL *et al.*; 1980; MOREIRA, 1999).

Assim, a aprendizagem significativa está intrinsecamente relacionada com os pontos de ancoragem, os quais são formados com a incorporação, à estrutura cognitiva do aluno, de conceitos, ideias e informações relevantes para a aquisição de novos conhecimentos. Ou seja, os pontos de ancoragem se dão por meio de uma forte conexão entre os conhecimentos prévios necessários (*subsunçores*) e os novos conceitos para que a aprendizagem aconteça de forma significativa (MOREIRA e MASINI, 1982).

No curso da aprendizagem significativa, os conceitos prévios necessários que interagem com os novos conhecimentos também vão se modificando e adquirindo novos significados. Deste modo, tais conceitos também vão progressivamente se diferenciando e se tornando mais elaborados, podendo servir de ancora para a atribuição de significado aos novos conhecimentos. Este processo dinâmico que ocorre na estrutura cognitiva do indivíduo é denominado Diferenciação Progressiva. Ao passo que as relações que vão sendo feitas entre ideias e conceitos já estabelecidos e estáveis na estrutura cognitiva, ou seja, as relações que vão ocorrendo entre os *subsunçores*, de modo a reorganizar seus significados para vê-los manifestados em um conceito mais abrangente, são denominadas Reconciliação Integrativa, a qual decorre de uma recombinação de elementos, de uma reorganização cognitiva (Figura 1) (MOREIRA e MASINI, 1982).

Figura 1 - Mapa conceitual de Ausubel.



Fonte: Skat, 2015.

Considerando a importância dos chamados *subsunçores* para que a aprendizagem significativa aconteça, Ausubel *et al.*; (1980) propõem um tipo de estratégia para facilitar este processo, a qual sugere o uso de materiais introdutórios claros e estáveis denominados de *organizadores prévios*, os quais devem ser lançados antes dos conteúdos de aprendizagem. Ainda de acordo com os autores, os *organizadores prévios* se justificam pelos seguintes motivos: i) ter ideais relevantes e apropriadas disponíveis na estrutura cognitiva, para a aprendizagem significativa; ii) vantagens de utilizar conceitos mais gerais e inclusivos de uma disciplina iii) os próprios organizadores prévios tentam tanto identificar um conteúdo relevante já existente na estrutura cognitiva, quanto apontar a relevância deste conteúdo para o material de aprendizagem.

Uma das principais maneiras de facilitar a aprendizagem do aluno é criar tais estratégias de modo a manipular sua estrutura cognitiva. Para tanto, é preciso utilizar *organizadores prévios* que servem de ponte entre os conhecimentos que o aluno já possui com conhecimentos que ele precisa aprender (MOREIRA, 1999).

Vale ressaltar que é importante que o aluno tenha uma participação ativa no processo de construção do conhecimento e não seja um simples receptor de informações a-históricas. Os conceitos a serem ensinados precisam interagir com conceitos pré-existentes. Deste modo, defende-se a ideia de que o ensino com base na História da Química é fundamental para que tais elos sejam estabelecidos, uma vez que ao ter acesso à origem do conhecimento, o aluno consegue estabelecer relações com o novo conhecimento. De acordo com Mortimer (1992), a História da Química contribui para a superação do ensino dogmático ainda muito presente nas escolas porque aponta as dificuldades enfrentadas e as rupturas necessárias para a produção do conhecimento, mostrando toda a dinamicidade do processo científico.

Quando o aluno não possui os pontos de ancoragem, por exemplo, não teve acesso à origem de determinado conhecimento, tem dificuldade para compreendê-lo, pois desconhece como se deu sua construção e o porquê da sua existência. E por não encontrar significado naquele conteúdo se sente desmotivado para o estudo de Química, pois não consegue estabelecer relações entre o conhecimento e seu contexto social. Por outro lado, se o aluno recebe informações sobre o porquê e como se deu o processo de construção daquele conceito, isso certamente servirá de base para a assimilação/acomodação de um novo saber.

Portanto, a nosso ver, o ensino com base na História da Ciência por meio de um resgate histórico das teorias da combustão, pode ser útil para fornecer aos alunos conhecimentos relevantes que auxiliem na aprendizagem significativa. Esta abordagem mostra aos acadêmicos uma aprendizagem que vai além dos manuais didáticos, por apontar que os conhecimentos não são fragmentados, mas que, ao contrário, são resultados de um longo caminho de pesquisas na busca por respostas. Tais fatores permitem a aproximação dos alunos com os acontecimentos históricos e propicia a humanização dos conteúdos, despertando seu interesse para o estudo de ciências, pois eles percebem que os conteúdos estudados nas escolas são significativos e que possuem uma ligação direta com a sociedade.

2. O MÉTODO INDUTIVISTA

A ideia de que a Ciência apresenta um método padrão, ou “método científico”, para investigar a Natureza e produzir conhecimento ainda tem lugar na sociedade. Não é difícil constatar que muitos professores e alunos de Universidades apresentam uma visão ingênua e equivocada da Ciência, acreditando que as leis científicas derivam de observações sistemáticas da natureza, ou seja, a partir da observação as teorias são “descobertas”. Tais fatos são reflexos da crença de que o conhecimento científico deve ser aceito como verdade definitiva, pois são obtidos por métodos rigorosos que lhe garantem confiança e credibilidade, colocando a experimentação como fonte e juíza das teorias propostas por cientistas (ARRUDA e LABURÚ, 1996). Contudo, essa é uma concepção ultrapassada e que vem sendo amplamente criticada por vários estudiosos.

Estudos de História da Ciência e das teorias científicas apontam para a necessidade de se abandonar a hipótese de que a Ciência é capaz de estabelecer a verdade absoluta e que se coloca em destaque frente às demais áreas do conhecimento. As teorias científicas não podem ser definitivamente provadas ou refutadas e nem mesmo estabelecidas de forma definitiva. Elas não nascem prontas, mas são produtos de intensos debates entre pesquisadores, e sua aceitação passa por fatores estranhos ao próprio ambiente científico, podendo depender de aspectos sociais, culturais, religiosos e até políticos. Faz-se necessário compreender as limitações da Ciência, reconhecendo que os conhecimentos científicos são provisórios, ou seja, as soluções não são permanentes e por isso devem sempre voltar-se a um estado de dúvida e questionamentos (MARTINS, 1999).

As concepções empírico-indutivistas formam a base da visão tradicional de Ciência, que tem origem na epistemologia de Francis Bacon. Para Bacon (1979), a ciência baseia-se exclusivamente na observação neutra, na experimentação e na indução, e não em especulações teóricas, criatividade ou preconceções sobre o objeto de estudo. Essa concepção pode ser considerada ingênua, pois afirma que a ciência é um conhecimento que formula e comprova leis e teorias a partir de observações dos fenômenos naturais de forma totalmente neutra, acrítica e a-histórica (SANTIN FILHO *et al.*; 2010).

Para Bacon (1979), qualquer proclamação sobre a natureza deve estar pautada na investigação feita exclusivamente por meio do uso dos sentidos. Caso contrário, quando baseada em meras opiniões, crenças ou mesmo ostentação, tanto a Filosofia quanto a Ciência estarão sendo submetidas a sérios danos, pois a investigação estará sendo negligenciada. O método investigativo deve estar alicerçado em graus de certeza por meio dos sentidos, com abandono de opiniões pessoais, ou seja, a observação deve ser neutra por parte do pesquisador, que deve se desprender de certos vícios do cotidiano, doutrinas e idolatrias, as quais podem contaminar o intelecto e prejudicar o resultado das análises. Assim, todo o procedimento investigativo deve ocorrer de forma impessoal e neutra.

De acordo com Bacon (1979) existem dois tipos de métodos. Um deles dedicado simplesmente a cultivar a ciência e o outro, destinado a novas descobertas. Em relação ao primeiro método, denominado como “*Antecipação da mente*”, os que por ele optarem, pela insegurança em compreender ou buscar novos caminhos, que tenham êxito em suas pesquisas. Porém, há aqueles que desejam o segundo método, denominado “*Interpretação da Natureza*”; são estes os mais interessados e ousados, voltados não somente à preservação de conhecimento produzido, mas preocupados em ir além, buscando a “verdade” na vitória sobre a natureza por meio da ação. Estes serão, segundo Bacon, verdadeiramente os filhos da Ciência.

Ao expor suas ideias, o filósofo destaca que até aquele momento a Ciência havia se baseado em meras especulações, ou seja, em noções vulgares. Contudo, para se compreender a natureza em sua essência, seria necessário um método inovador, seguro e adequado, que por meio da investigação se comprometesse com a busca da “verdade”. Para se atingir o progresso científico é preciso buscar o novo e não simplesmente se apoiar em descobertas anteriores, buscando aprimorá-las. Seria necessário que o homem renunciasse às suas noções e tratasse diretamente as coisas da natureza (BACON, 1979).

O método prescrito por Bacon pressupõe algumas etapas, resumidamente elencadas da seguinte forma: i) o cientista observa e anota, cuidadosamente, os fatos associados ao fenômeno que quer estudar; ii) esses fatos são cuidadosamente tabulados e, a partir de um grande número de observações neutras, vão emergir, de modo espontâneo, regularidades no comportamento do sistema sob investigação; iii) essas regularidades constituem hipóteses que, se confirmadas por novos testes, tornam-se leis científicas.

De acordo com proposta de Bacon, seguir rigorosamente este método protege a Ciência de vícios, tais como as concepções prévias e idiosincrasias do investigador e de outras influências externas (sociais, religiosas, políticas...), desde que ele seja cuidadoso ao fazer observações e honesto ao relatá-las. Utilizando o método proposto seria possível compreender, sem falhas, o funcionamento da ciência, desvendando assim seus supostos mistérios. Desta forma, este método eliminaria interferências oriundas de influências sociais, religiosas e/ou ideológicas do pesquisador, as quais poderiam contaminar as análises e interferir nos resultados.

2.1 Críticas ao Método Científico de Francis Bacon

Uma concepção de senso comum ainda amplamente aceita sobre a ciência é de que o conhecimento científico nasce único e pronto. Que é infalível e comprovado por métodos especiais, o que os torna superior aos demais conhecimentos. Sob essa ótica, para alcançar esse conhecimento, a Ciência é objetiva e se baseia exclusivamente no uso dos sentidos e de equipamentos sofisticados e confiáveis. A Ciência seria então altamente objetiva, não estando atrelada a opiniões ou preferências pessoais, mas apenas em dados obtidos a partir da observação neutra do pesquisador, da qual se derivam as leis científicas.

De acordo com Chalmers (1993), as observações resultam em diferentes tipos de afirmações, as *singulares* e as *universais*. As afirmações singulares são aquelas resultantes de observações em que qualquer observador pode prontamente verificar sua veracidade pelo uso direto dos sentidos. Essas afirmações referem-se, portanto, a um estado de coisas em lugar e tempo específico. Já as afirmações universais são informações gerais que invocam algo sobre as propriedades de algum aspecto do universo, referindo-se a todos os eventos de um tipo singular em todo e qualquer lugar e tempo. Neste segundo caso, a concepção indutivista afirma que é possível generalizar uma lei universal a partir de uma lista finita de proposições singulares. Este raciocínio, que nos leva de uma situação particular para o todo, é denominado indutivismo. As proposições obtidas de modo individual podem ser verificadas por pesquisadores em diferentes lugares e diferentes momentos. Confirmada a universalidade da proposição, em situação

experimental similar, isto é, verificada a proposição, ela pode vir a se tornar uma lei. Por essa razão, o método de Bacon também é conhecido como *verificacionista*.

Uma das principais discussões acerca do método verificacionista refere-se à impossibilidade de se fazer generalizações a partir de uma série de observações, ou seja, a indução a partir de premissas. De acordo com Chalmers (1993), se a posição indutivista ingênua for aceita, o princípio básico em que a ciência se fundamenta seria o seguinte:

Se um grande número de As foi observado sob uma ampla variedade de condições, e se todos esses As observados possuíam sem exceção a propriedade B, então todos os As possuem a propriedade B. (CHALMERS, 1993, p.22).

Vejamos isso melhor. O fato é que não podemos afirmar, somente a partir de um grande número de observações, com toda certeza que amanhã o Sol irá nascer, apesar de isto vir acontecendo há milênios. É claro que, devido à regularidade dos fenômenos do universo, podemos levantar a hipótese de que o futuro será semelhante ao passado, mas não podemos afirmar isto categoricamente. Essa linha de raciocínio é indutiva. No caso dos argumentos dedutivos, eles são válidos porque se a premissa do argumento é verdadeira, obrigatoriamente a conclusão é verdadeira. Contudo, os argumentos indutivos, como os expostos acima, não apresentam esse caráter, isso porque pode acontecer de as premissas serem verdadeiras e ainda assim se chegar a uma conclusão falsa. Neste sentido, é impossível dizer que as teorias da Ciência são verdadeiras e provadas exclusivamente por meio de observação/experimentação (MARTINS, 1999; GIL PEREZ *et al.*; 2001; SALMON, 2000). Neste sentido, Chalmers (1993), destaca que:

Argumentos lógicos válidos caracterizam-se pelo fato de que, se a premissa do argumento é verdadeira, então a conclusão deve ser verdadeira. Os argumentos dedutivos possuem esse caráter. O princípio de indução certamente se justificaria se argumentos indutivos também o possuíssem. Mas eles não o possuem. Os argumentos indutivos não são argumentos logicamente válidos. Não é o caso de que, se as premissas de uma inferência indutiva são verdadeiras, então a conclusão deve ser verdadeira. É possível a conclusão de um argumento indutivo ser falsa embora as premissas sejam verdadeiras e, ainda assim, não haver contradição envolvida. Suponhamos, por exemplo, que até hoje eu tenha observado uma grande quantidade de corvos sob uma ampla variedade de circunstâncias e tenha observado que todos eles são pretos e que, com base nisto, concluo: “Todos os corvos são pretos”. Esta é uma inferência indutiva perfeitamente legítima. As premissas da

inferência são um grande número de afirmações do tipo “Observou-se que o corvo x era preto no período p ”, e nós tomamos todas como sendo verdadeiras. Mas não há garantia lógica de que o próximo corvo que observarei não seja cor-de-rosa. Se for este caso, então a conclusão “Todos os corvos são pretos” será falsa. Isto é, a inferência indutiva inicial, que era legítima na medida em que satisfazia os critérios especificados pelo princípio de indução, teria levado a uma conclusão falsa, a despeito do fato de que todas as premissas da inferência eram verdadeiras. Não há nenhuma contradição lógica em afirmar que todos os corvos observados se revelaram pretos e também que nem todos os corvos são pretos. A indução não pode ser justificada puramente em bases lógicas (CHALMERS, 1993, p. 31).

Como podemos ver, a veracidade das generalizações obtidas por meio de induções não pode ser garantida. Mesmo tendo observado que o Sol nasce todos os dias, não é possível garantir que isto ocorrerá para sempre, o que se pode dizer é que *provavelmente* este fenômeno acontecerá todos os dias. Nesta ótica, o conhecimento científico não pode ser visto como algo definitivo, mas provavelmente verdadeiro. Quanto maior for o número de observações e mais variadas às condições que formam a base da indução, maior a probabilidade de a generalização final ser verdadeira. De qualquer forma, evidências observáveis estão relacionadas a um número finito de possíveis situações, ao passo que generalizações universais necessitam de um número infinito de possíveis situações (CHALMERS, 1993).

Existem duas suposições que são amplamente criticadas no indutivismo ingênuo. Uma é a de que a Ciência se inicia com a observação, e a outra é a de que tal observação produz uma base segura, da qual o conhecimento científico é derivado. No primeiro caso, partindo do pressuposto de que cada observador tem suas concepções iniciais, é possível que duas pessoas observando o mesmo fenômeno cheguem a conclusões diferentes. Isto porque qualquer observação é previamente guiada por alguma teoria, mesmo que ainda vaga, ou seja, uma observação envolve sempre alguma teoria prévia e por isso está sujeita a divergências. Constata-se então que a observação está relacionada à interpretação e não é imparcial. Isso equivale a dizer que qualquer observação está inicialmente alicerçada em conhecimentos oriundos de situações anteriores, ou seja, as proposições de observação pressupõem uma teoria (CHALMERS, 1993).

Por outro lado, no segundo caso, a observação não pode ser vista como uma base totalmente segura para a construção de teorias científicas, pois está impregnada de conhecimentos prévios do pesquisador, não sendo por isso neutra. Além disso, as evidências obtidas por meio da observação possuem um número finito de situações, já em relação a generalizações universais a quantidade de situações é infinitas, não podendo ser consideradas como verdades absolutas, isto porque certamente não conferem uma base completamente segura de evidências (CHALMERS, 1993).

Analisando a história da Ciência é possível constatar que grandes teorias ou princípios fundamentais não surgiram da observação direta do pesquisador; veja-se, para ficar em apenas um exemplo, a evolução dos modelos atômicos. Conforme aponta Chalmers (1993), a própria observação é dirigida por expectativas e hipóteses. Quando o pesquisador vai ao laboratório, ele já sabe a princípio o que vai pesquisar. Portanto, o conhecimento não surge ao acaso e também não é fruto da observação neutra, mas sim de uma modificação acerca do conhecimento anterior.

Nesta perspectiva, não é possível que o ser humano, inclusive os cientistas, se posicionem com total neutralidade em relação a crenças e pré-conceitos oriundos de suas vivências. Deve ser considerado que possuem expectativas, desejos e idiossincrasias, entre outros fatores que descartam a existência de investigadores neutros. Ninguém está, portanto, livre de concepções prévias e teorias durante qualquer atividade, dentre elas a observação científica (OSTERMANN e CAVALCANTI, 2011).

A visão baconiana, embora criticada em vários aspectos desde o século XVIII e também no século XX por filósofos da ciência como Popper, Lakatos, Feyerabend e mais recentemente na década de 1980 por Laudan, ainda é amplamente disseminada e aceita, inclusive nas universidades e escolas de ensino médio. Muitos professores ainda desenvolvem suas metodologias com base em pressupostos empiristas, mesmo que de forma implícita (ARRUDA e LABURÚ, 1996). Muitas vezes, as atividades experimentais propostas se baseiam exclusivamente na observação, anotação criteriosa de fatos, elaboração de hipóteses e apresentação dos resultados, não sendo oferecidos aos alunos oportunidade de conhecerem os fatores históricos que deram origem às teorias estudadas. Os acadêmicos devem seguir rigorosamente os protocolos pré-estabelecidos e chegar aos resultados esperados de forma acrítica e a-histórica.

Um exemplo claro da prática desta metodologia refere-se ao “Experimento da Vela”, desenvolvido na disciplina de Química geral ministrada aos alunos ingressantes dos cursos de graduação em Química da Universidade Estadual de Maringá. Nesta atividade, o aluno é convidado a observar rigorosamente uma vela, anotar tudo o que puder e levantar hipóteses e modelos a partir de suas verificações. Neste tipo de atividade, supõe-se que o aluno estará aprendendo um “método científico” no qual, por meio de observações rigorosas, vai ser capaz de inferir conhecimento verdadeiro, livre de contestações ou questionamentos.

Entretanto, é preciso que o uso da atividade experimental vá além da simples verificação para comprovação de teorias, quando sobressai o demonstrar para acreditar. Esta concepção ingênua mantém a crença em uma ciência neutra e objetiva, na qual as teorias surgem espontaneamente por meio da observação dos fenômenos. Por esse motivo, muitos estudiosos vêm sugerindo que as atividades experimentais sejam organizadas dentro de uma perspectiva histórica, com base na origem da construção dos conceitos e teorias, para que os acadêmicos sejam capazes de significar e humanizar os conteúdos científicos.

A finalidade principal desse trabalho é, pois, propor nova maneira de abordar o experimento da vela, contextualizando as teorias que buscavam explicar a combustão, especialmente aquelas da segunda metade do século XVIII. Para tanto, uma abordagem histórica dessas teorias se faz necessária.

3. ABORDAGEM HISTÓRICA: DA TEORIA DO FLOGÍSTICO À TEORIA DA COMBUSTÃO DE LAVOISIER

3.1 Teoria do Flogístico

Para o efetivo entendimento da teoria do flogístico é preciso derrubar algumas barreiras e destruir alguns preconceitos a seu respeito. Diferentemente do que muitos historiadores fazem ao tecer apenas críticas a esta teoria, argumentando que a mesma sugere explicações comprováveis apenas por seus efeitos, suas explicações possuíam forte embasamento teórico com hipóteses e linhas de raciocínio inovadoras e forte coerência interna jamais vistas até o período em que ela floresceu. Deste modo, apesar de tal teoria apresentar algumas ambiguidades e inconsistências, funcionava e oferecia explicações coerentes para uma gama de fenômenos qualitativos relacionados à combustão. Por isso resistiu por décadas, tendo sido aceita por muitos químicos (FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2001, MAAR, 1999).

De acordo com Bell (2007); Filgueiras (2007) e Ferraz (1991), tal teoria se baseava em argumentos racionais com base em reflexões e experimentações. Sendo uma teoria bem fundamentada, considerando o período histórico em que surgiu, respondia de forma satisfatória a muitas questões relacionadas ao fenômeno da combustão com coerência e legitimidade. Neste sentido, é importante refletir que a Teoria do Flogístico teve e ainda tem sua importância dentro da Química, pois foi a partir dela que surgiram as teorias modernas sobre a combustão. O próprio Lavoisier se debruçou sobre a teoria com seu mestre Guillaume-François Rouelle (1703-1770) para chegar às suas conclusões sobre os processos de combustão. Tal fato é comprovado em suas obras, onde muitas vezes tal teoria é citada e discutida. Rouelle foi químico e farmacêutico francês, tendo iniciado seu curso público em laboratório em 1738. Os estudos de Rouelle tinham suas origens nas teorias de Stahl, sendo o responsável pela popularização da Teoria do Flogístico na França (BELL, 2007).

Ao se pensar no flogístico, antes de qualquer coisa é necessário se retratar o contexto histórico, do ponto de vista filosófico e científico, abandonando as ideias modernas referentes ao processo de combustão e mergulhando nas propostas inovadoras

daquele período histórico. Segundo essa teoria, o flogístico seria um fluido que não poderia ser isolado, mas sua existência seria constatada somente por seus efeitos (FILGUEIRAS, 2007; MAAR, 1999). De acordo com os seguidores de tal teoria, o fato de o flogístico jamais ter sido isolado por meio de experimentos se constituía em um grande problema. De acordo com o professor de Química Richard Watson (1781) citado por Filgueiras (2007):

Certamente os senhores não esperam que a Química seja capaz de apresentar-lhes um punhado de flogisto separado de um corpo inflamável; isso seria tão razoável como pedir um punhado de magnetismo, eletricidade ou gravidade extraído de um corpo magnético, elétrico ou pesado; existem poderes na natureza que não podem absolutamente tornar-se objetos dos sentidos, a não ser pelos efeitos que produzem; e o flogisto é desse tipo (FILGUEIRAS, 2007, p. 78).

Pensando sob esta ótica, os argumentos utilizados pelos defensores da teoria do flogístico eram válidos e permitiram que a mesma se sustentasse por décadas.

Considerado o criador da teoria do flogístico, Georg Ernst Stahl (1660-1734), foi educado e viveu em uma época que se disseminava pela Holanda, Inglaterra e toda a Europa o movimento de reforma da igreja luterana. Stahl estudou medicina na Universidade de Jena e tinha uma crença muito forte na união entre a Medicina e a Química. Tal fato é visível em toda sua obra (MAAR, 1999).

Stahl, a partir dos ensinamentos de Johann Joachim Becher, desenvolveu uma teoria de composição relacionada aos fenômenos de queima. Seu pensamento tinha raízes em correntes diferenciadas, como a iatroquímica e o mecanicismo. Contudo, não se encaixava em nenhuma delas, ora negava alguns aspectos de uma, ora enfatizava os de outra. Segundo ele, os fenômenos fisiológicos eram na verdade reações químicas. Por outro lado, nem todos os fenômenos vitais poderiam ser explicados apenas por transformações químicas, necessitando também das leis mecânicas defendidas por Hoffmann. Por isso, de acordo com sua necessidade, em algumas situações se inspirava e em outras se afastava de várias correntes. Fez, portanto, um recorte próprio e acabou se destacando por sua ousadia, construindo um caminho com muitos seguidores (MAAR, 1999; FERRAZ, 1991).

Na química, Stahl buscou estudar alguns fenômenos conhecidos e considerados relevantes na época. Mesmo sendo um seguidor de Becher, Stahl discordou em vários aspectos das ideias de seu mestre. Becher acreditava que os metais cresciam no seio da terra, por isso estudava especialmente os corpos orgânicos. Posteriormente aplicava tais ideias aos metais, tidos como substâncias inorgânicas. Já Stahl se dedicou especialmente aos aspectos da composição da matéria dentro de seus trabalhos voltados para a Química (FERRAZ, 1991; MAAR, 1999).

Stahl defendia a utilização de atividades práticas, as quais eram importantes por tornarem possível a compreensão de novos fenômenos. Desse modo, não se apoiava em simples especulações (conhecimento inicial), mas em reflexão/experimentação. Segundo ele, era preciso conhecer as propriedades de cada coisa para se dominar a química e isso seria obrigação dos químicos da época (FERRAZ, 1991).

Este pensamento de Stahl pode, *a priori*, conduzir o leitor a interpretar seus experimentos com uma visão mais moderna, acreditando que tais atividades experimentais possuíam uma sólida sustentação teórica e com um planejamento que antecedia a prática. Contudo, naquela época os experimentos, na maioria das vezes, não eram realizados de forma previamente planejada e em muitos casos não se tinha uma intenção pré-estabelecida antes de sua realização. As atitudes de Stahl o colocavam em destaque, isso porque seu pensamento ia ao encontro dos ensinamentos de Francis Bacon, o qual acreditava que para se tornar parte do avanço do conhecimento era preciso aderir ao chamado “Método Científico”, realizando para a comprovação da “verdade”, atividades com ênfase na observação e experimentação (FERRAZ, 1991).

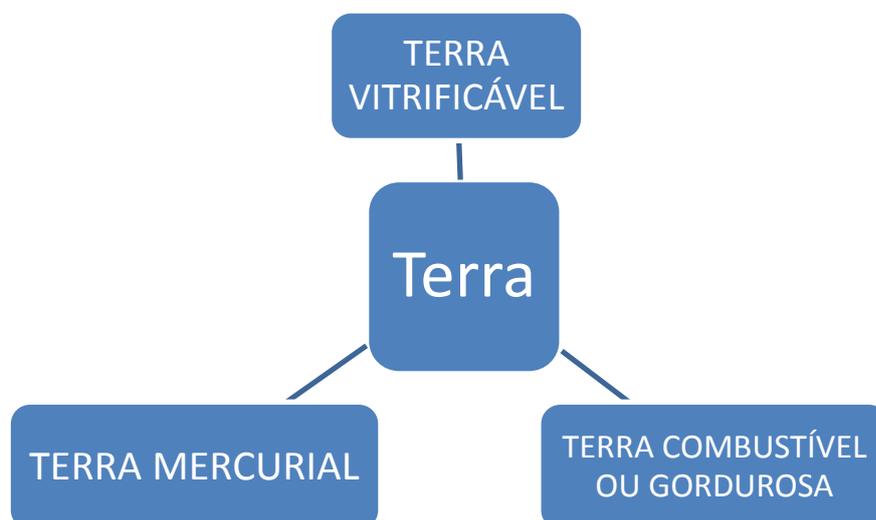
Para compor seu sistema químico e definir seus princípios elementares, Becher e Stahl basearam suas ideias, ou pelo menos parte delas, em seus antecessores. Stahl sendo um seguidor de Becher admitiu como princípios elementares o “ar”, a “água” e a “terra”, tendo sido influenciado pelas ideias de van Helmont³. Contudo, Becher criticou as ideias de van Helmont e postulou que todos os corpos diferentes eram formados pela mistura dos princípios elementares água e terra. Becher parte do conceito paracelsiano dos *tria*

³ De acordo com van Helmont a água era o elemento primordial e dava origem a todos os outros corpos. Ver C. A. L. Filgueiras, Lavoisier- o estabelecimento da Química Moderna -2.ed. –São Paulo, 2007, p.46. M. S. Bell, Lavoisier no ano um- São Paulo, 2007, p. 57.

prima e remove de cena, ao menos *a priori*, o quarto elemento aristotélico, o fogo (BELL, 2007; FERRAZ, 1991).

Para Becher, o princípio elementar “terra” não era único e poderia se apresentar de três formas diferentes, tendo cada uma delas qualidades específicas: “primeira terra” (*terra vítrea*); “segunda terra” (*terra pinguis* ou gordurosa) e “terceira terra” (terra mercurial ou *terra fluida*) (FIGURA 2), sendo que as três terras estariam de certa forma relacionadas ao sal, ao enxofre e ao mercúrio respectivamente, dentro dos princípios de Paracelso.

Figura 2 – Divisão das três terras.



Fonte: Adaptado de Ferraz, 1991.

A denominação de cada terra se baseava na qualidade de cada material. Então, os corpos que apresentassem determinada qualidade deveriam conter o princípio elementar responsável por tal qualidade.

A primeira terra (*terra vítrea*) era considerada por Becher mãe e fonte das demais terras. Este tipo de terra, quando submetida ao fogo se fundia, sendo o princípio de todos os metais e rochas. Becher aceitava a ideia de que os metais cresciam no seio da terra e, por isso, a primeira terra seria uma espécie de semente a se desenvolver no metal. Era

também encontrada nos ossos de animais, nas cinzas dos vegetais e nas pedras minerais (FERRAZ, 1991; MAAR, 1999).

A segunda terra combustível ou “terra gordurosa” (*terra pinguis*) era responsável pela propriedade da fusibilidade dos metais. Ou seja, por meio do aquecimento permitia a passagem dos metais e rochas para o estado líquido. As duas primeiras terras podiam ser preparadas a partir dos vegetais, sendo que a “terra gordurosa” poderia ser encontrada nos sebos, gorduras e banhas dos animais, nos óleos e gomas dos vegetais, no enxofre e no betume, isso por ser responsável pela consistência, cor e sabor dos corpos.

Contudo, Becher percebeu que alguns princípios teóricos não se sustentavam diante de dados empíricos observados. Isto porque através de experimentos/reflexões concluiu que a maioria das substâncias que queimavam não possuía enxofre, por isso o enxofre, agora na sua forma real, não poderia ser responsabilizado pela combustibilidade de certas substâncias. A partir de então, a segunda terra passou a ser denominada de *phlogistos*, porque se manifestava nos corpos dando a eles a propriedade de inflamabilidade. (FERRAZ, 1991). Vale destacar que Becher apenas concebeu uma explicação para a propriedade da combustibilidade, não formulando uma teoria abrangente para o fenômeno da combustão, talvez devido à falta de uma bagagem teórica mais profunda. Foi então Stahl quem deu sequência às ideias de Becher, sendo capaz de elaborar uma teoria unificadora da Química, a Teoria do Flogístico (MAAR, 1999).

No caso da terceira terra, a “terra mercurial”, encontrada especificamente nos metais, ela conferia aos mesmos uma característica que os diferenciava dos demais corpos, de natureza maleável e extensível, sendo considerada a essência do metal (FERRAZ, 1991).

O flogístico era considerado por Stahl o princípio que conferia a propriedade de inflamabilidade aos corpos dos quais fazia parte, sendo liberado no ar durante os processos de combustão. Deste modo, quando uma substância arde, perde flogístico (BELL, 2007; FERRAZ, 1991; MAAR, 1999). Nesse modelo, os metais seriam materiais compostos, constituídos de *calx*⁴ e flogístico, sendo este último liberado quando o metal

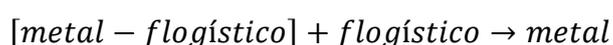
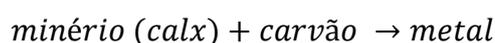
⁴ Optamos pela utilização do termo *calx* em detrimento do termo *cal*, para designarmos o produto da calcinação de um metal, isto porque o primeiro apresenta significado conceitual diferente do segundo em termos modernos.

se transformava, por aquecimento, em *calx*. Essa transformação chamava-se calcinação conforme abaixo.



Stahl se debruçou sobre os processos que envolviam o uso do fogo, como por exemplo, a calcinação e redução dos metais e a combustão. Ele explicava tais reações por meio do desprendimento ou absorção do flogístico, denominado por ele como princípio inflamável. Stahl classificou os materiais como ricos ou pobres em flogístico. Classificou igualmente os processos de calcinação e de combustão pelo fato de ambos os casos envolverem a queima, ou seja, a perda do princípio inflamável (FERRAZ, 1991; FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007; MAAR, 1999).

Em seu texto “*Tratado do Enxofre*”, onde expõe suas ideias sobre a composição e transformação química dos metais, Stahl assegura que todos os corpos que queimam possuem flogístico, o qual é liberado por meio da combustão. Substâncias como carvão e óleos eram ricos em flogístico, liberado ao ar durante a queima. Nesta perspectiva, o flogístico poderia ser transferido de um corpo com mais flogístico para outro com menos (FERRAZ, 1991; FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007). Assim, reagindo a *calx* do metal (pobre em flogístico) com o carvão (rico em flogístico), se reconstituía o metal:



Nesta ótica, Stahl lançou uma teoria que teria sido capaz, por mais de cem anos, de fazer previsões acerca de fenômenos que discutia e foi a partir de suas considerações que foi possível a realização de outros trabalhos voltados para a área de mineração e metalurgia (FERRAZ, 1991; FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007).

Ainda nessa obra, Stahl discutiu a importância da realização dos experimentos como verificadores de fatos. Seguindo os preceitos de Becher, defendia que a atividade experimental esclarece o espírito, não apenas quando se tem êxito, mas também quando se tem resultados totalmente diversos dos esperados. Por isso, ele alerta no sentido de não se publicar nada antes de se ter verificado claramente a autenticidade das coisas (FERRAZ, 1991).

Para se compreender o pensamento flogístico e sua importância dentro da história da Química, é preciso entender a questão da composição da matéria e suas constantes modificações durante o séc. XVIII. Isto porque o flogístico era considerado por Stahl e seus seguidores como um “elemento” presente nos chamados “corpos compostos” ou “mistos” (FERRAZ, 1991).

Stahl destacava a Química como a arte de resolver os corpos mistos, compostos e agregados em seus princípios. Enfatizava os aspectos da composição da matéria e destacava a água e a terra como ingredientes em tal composição, isto por participarem da constituição dos corpos materiais. O ar era considerado apenas como princípio elementar, pois não tinha a propriedade de se combinar com os outros dois princípios, apenas participava como instrumento e não como ingrediente. O fogo atuava como agente na comunicação do movimento entre as partículas, apesar de o ar e a água também poderem exercer essa função (FERRAZ, 1991).

A água e as três terras eram consideradas como ingredientes dos corpos, ao passo que o ar e o fogo apenas agentes físicos durante as transformações da matéria. Rouelle era um seguidor de Stahl, mas dele se afastou por defender que o ar não era apenas um instrumento, mas que seria quimicamente ativo e poderia se combinar com outras substâncias. Demonstrou que o ar estava presente de forma fixa na matéria e mediu o ar de inúmeras substâncias liberado por destilação, fermentação e combustão (BELL, 2007).

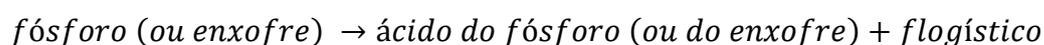
O flogístico de Stahl era o ingrediente material sobre o qual agia o fogo nas teorias da combustão, calcinação e enferrujamento. Esta última era interpretada por Stahl como uma combustão lenta; isto porque ao enferrujar ou se queimar, a substância perdia parte do seu flogístico. A mesma explicação era dada para a calcinação, na qual o metal, após o aquecimento, se transformava na cal do metal. Sob essa ótica, como já foi dito, ao se fundir minério (*calx*) na presença de carvão, rico em flogístico, o mesmo era transferido do carvão para a cal regenerando o metal refinado (BELL, 2007).

Para Stahl, o final da queima e desaparecimento da chama se davam porque o material queimava até liberar todo o seu flogístico, saturando o ar circundante. O material liberado era absorvido pelas plantas, daí a explicação de que os materiais orgânicos em geral e a madeira continham grande quantidade de flogístico, o que os tornava altamente combustíveis (BELL, 2007).

Os defensores da teoria do flogístico tinham algumas dificuldades para explicar os produtos de uma reação química e faziam uso de algumas analogias. Na reação dos ácidos com os metais, com base na explicação de que semelhante atrai semelhante. Stahl explicava que, o ácido nítrico, por exemplo, por conter grande quantidade de flogístico, tinha a capacidade de dissolver os metais formados por grande quantidade de flogístico. Já o enxofre (rico em flogístico), não dissolvia as cais metálicas, porque as mesmas durante o processo de calcinação perdiam todo seu flogístico, passando a não conter mais seu princípio inflamável. Nesta ótica, a cal não poderia ser dissolvida pelo enxofre por não conter o material semelhante. Em muitos casos essas analogias traziam problemas ao tentar interpretar dados em laboratórios. Mesmo assim, por meio dela era possível se conhecer a composição dos corpos e também prever algumas reações (FERRAZ, 1991).

As ideias de Stahl tiveram grande repercussão em sua época, porque ele se preocupou em dar explicações para os fatos observados em laboratório. Para ele, os químicos deveriam se preocupar com investigações úteis, ao invés de falar demais sobre transmutação de metais e prolongação da vida. Stahl se preocupava muito com a relação entre a ciência e a técnica, apresentando explicações razoáveis para processos de combustão e calcinação, fatores que contribuíram para o sucesso de seu pensamento químico (FERRAZ, 1991).

De acordo com a teoria de Stahl, o fósforo e o enxofre eram considerados materiais ricos em flogístico. Suas combustões eram explicadas como uma perda de flogístico, com transformação do material em ácido:



Analisando a reação, constata-se que o fósforo e o enxofre não eram considerados como substâncias simples, mas uma combinação do flogístico com algum material com propriedades ácidas. Vale ressaltar que o termo “ácido” empregado à época não se refere à sua concepção atual.

O processo de enferrujamento era considerado como uma combustão lenta, pois o ferro, em contato prolongado com o ar perdia lentamente seu flogístico.



Na reação inversa, o ferro poderia ser regenerado ao ser aquecido em contato com materiais ricos em flogístico, como por exemplo, o carvão. Isto explicava a obtenção do ferro a partir de seus minérios.

ferro enferrujado + carvão (rico em flogístico) → ferro metálico

Todas as reações apresentadas, seguindo as concepções flogistonistas, apontam para o fato de que todo material, ao se queimar, perde flogístico e o transfere para outro material, que pode ser o ar. Quanto maior a facilidade em se queimar um material, mais flogístico ele apresenta, por isso, materiais como carvão, óleos e madeira eram ricos em flogístico, ao passo que os metais eram pobres em flogístico. Contudo, o pouco flogístico contido nos metais eram perdidos quando estes eram calcinados (SANTIN FILHO, 2013).

A teoria do flogístico foi capaz de unir fatos que até o momento não continham correlações. Ao explicar a perda do princípio inflamável para o ar, Stahl estabeleceu uma teoria que foi capaz de se sustentar até a época de Lavoisier, por se apresentar até o momento como a melhor explicação para os fenômenos de combustão e calcinação. Com o passar do tempo, devido ao surgimento da nova química francesa, a teoria do flogístico foi perdendo força. Contudo, o próprio Lavoisier salienta que duas verdades de Stahl são eternas. A primeira, de que os metais são corpos combustíveis e que a calcinação é uma verdadeira combustão, e a segunda, na qual afirma que a propriedade de ser inflamável pode ser transferida de um corpo para outro (FERRAZ, 1991).

Uma das principais críticas ao modelo de Stahl refere-se ao fato de que na época já se sabia que nem a combustão nem o processo de enferrujamento ocorriam sem a presença do ar; então, porque não associar o ar a esses processos, ao invés do misterioso flogístico? E porque no processo de enferrujamento (semelhante à combustão) não se observava o desprendimento de calor?

Stahl buscava explicar tais fenômenos sempre com base em seu arcabouço teórico. Segundo ele, o ar era essencial no processo, pois servia como transportador do flogístico de uma substância para a outra. De acordo suas ideias, o ar atmosférico era inerte e por isso não era capaz de participar de reações químicas. Quando um material queimava em espaços fechados, suas chamas cessavam porque o material havia liberado flogístico,

saturando o ar circundante que, por isso, não mais suportava a combustão (FERRAZ, 1991; FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007).

Quanto ao enferrujamento, ele argumentava ser um processo similar à combustão, contudo ambos aconteciam com velocidades distintas. Durante o enferrujamento, o flogístico era liberado aos poucos e por isso não se percebia a liberação de calor. Já na combustão, o flogístico era liberado com tal velocidade que aquecia o ar e se manifestava na forma de chama. Em relação ao flogístico nunca ter sido detectado em algum experimento, os defensores dessa teoria diziam que apresentar um punhado de flogístico separado de um corpo inflamável seria semelhante a pedir que se isolasse um punhado de magnetismo ou eletricidade. Deste modo, Stahl defendia que a existência do flogístico só poderia ser confirmada através de seus efeitos durante os processos de combustão, calcinação e corrosão (FERRAZ, 1991; FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007).

A teoria de Stahl deu conta de explicar de forma convincente muitas reações químicas do ponto de vista qualitativo, contudo, quando se queria determinar as massas envolvidas no processo, as explicações deixavam a desejar. Um dos principais questionamentos daquela época seria: Como era possível um corpo (no caso os metais) perder seu flogístico durante a calcinação e ao final ter sua massa aumentada? Uma das explicações era de que o flogístico podia às vezes ter massa positiva e outras vezes negativa. Percebendo a fragilidade de tal explicação, em algumas situações se levantava a hipótese de que o flogístico era uma substância imponderável, tal como a eletricidade, a gravidade ou magnetismo, não sendo possível a determinação de seu peso (FERRAZ, 1991; FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007).

Os estudos de Stahl significaram um grande avanço para a Química porque sua teoria se apoiava em explicações racionais e não em ideias com base em misticismo (FILGUEIRAS, 2007). Neste sentido, ela alavancou a busca por novos conhecimentos na área da química, especialmente no que se refere aos trabalhos de Scheele, Priestley e Lavoisier, consistindo num marco inicial para o surgimento das explicações modernas. Antes de abordarmos os trabalhos destes estudiosos, vejamos um pouco dos métodos adotados por eles.

Evidentemente as teorias atômicas ainda não existiam. Sendo assim, os nomes das substâncias, por exemplo, do moderno *gás carbônico* ou do *carbonato de magnésio*, ou

do *etanol* não poderiam ser esses naquela época, uma vez que guardam aspectos vinculados à sua estrutura molecular. Sendo assim, os nomes de novos ares que eram identificados estavam associados às suas propriedades macroscópicas e reatividades. Vejamos dois exemplos.

O químico inglês Henry Cavendish (1731-1810), obteve um ar pela reação entre ácidos e metais. O ar era dotado de altíssima inflamabilidade. Diante disso, Cavendish chamou-o de “ar inflamável”. O “ar inflamável” possuía tal capacidade de se inflamar que foi reconhecido por algum tempo como sendo flogístico puro, cuja possibilidade de isolamento foi motivo de longos debates.

Por sua vez, o químico escocês Joseph Black (1728-1799), interessou-se em estudar a *magnésia alba* (hoje carbonato básico de magnésio), substância usada no tratamento de doenças estomacais. Black notou que ao aquecer a magnésia alba havia desprendimento de um tipo de ar. Posteriormente ele constatou que o mesmo ar poderia ser obtido a partir de diversos outros processos, inclusive da respiração. Ele isolou o referido ar em estado relativamente puro e o fez reagir com o resíduo que restara da magnésia alba após seu aquecimento. Surpreendentemente ele notou a regeneração desta última. Black imaginou então que o ar estaria inicialmente “fixado” na magnésia e dela havia sido removido por aquecimento. Ao contato com o resíduo, ele voltara a se “fixar” no sólido. Black deu a ele, então, o nome de “*ar fixo*”.

Outro aspecto importante está vinculado à noção de “descobrimento” de um ar. Como saber se os ares acima são diferentes? A maneira de se verificar isso é por comparação de seu comportamento frente a um sistema, o que permite descobrir suas propriedades. As principais propriedades investigadas à época eram a solubilidade em água, a inflamabilidade, a respirabilidade e o turvamento da água de cal. Nos exemplos acima, o “ar” de Cavendish se distingue do “ar” de Black, pois o primeiro é inflamável e o segundo não é. O segundo se dissolve na água e o primeiro não, e por aí vai. Vale lembrar que na época os gases recebiam o nome genérico de “ares”, termo usado à época para nomear diferentes fluidos aeriformes e que será conservado aqui.

No texto histórico que segue teremos oportunidade de verificar como foram investigadas diversas dessas propriedades, que permitiram a distinção entre novos ares e os diversos já conhecidos.

3.2 O Ar de Fogo de Carl Wilhelm Scheele

Scheele foi um químico sueco de muito destaque no século XVIII, devido à sua exaustiva produção experimental. Sendo um adepto fiel da teoria do flogístico, se recusou a aceitar qualquer uma das explicações de Lavoisier para seus experimentos, mantendo suas interpretações sempre à luz da teoria do flogístico (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAAR, 1991).

Scheele era um homem simples e desempenhava o papel de farmacêutico. Nasceu na cidade de Stralsund, em 1742, atualmente parte da costa nordeste da Alemanha. Naquela época, essa região era a Pomerânia sueca, sendo conquistado um século antes por meio da guerra dos Trinta Anos. Por isso, apesar de seu nome alemão, Scheele se considerava um sueco e escrevia seus artigos nessa língua. Durante sua curta vida desenvolveu trabalhos interessantes relacionados a obtenção de muitos elementos, mais que qualquer outro pensador da época, mas dos sete elementos que conseguiu isolar, não teve qualquer benefício. Contudo, não demonstrava se importar em receber algum mérito por suas pesquisas, pois era um homem modesto e de origem humilde. Além disso faleceu ainda jovem, aos 44 anos (STRATHERN, 2002).

Scheele tinha dez irmãos e por ser de família humilde não tinha dinheiro para investir nos estudos, tornando-se aos 14 anos aprendiz do boticário Martin Andreas Bauch, oportunidade em que adquiriu sua formação em química, e não demorou muito para obter um cargo como assistente de boticário. Sua primeira publicação, em 1770, refere-se a um trabalho sobre o ácido tartárico. No mesmo ano conseguiu produzir o ar que hoje reconhecemos como o cloro. Contudo, não o reconheceu como um corpo simples e defendia a ideia de que o ar que havia produzido continha parte do ar. Tal reconhecimento só ocorreu trinta anos depois pelo químico inglês Humphry Davy. Scheele teve outro trabalho experimental importante, conseguiu isolar o bário e o distinguiu da barita (atual hidróxido de bário). Da mesma forma, somente trinta anos depois Davy isolou o metal branco-prateado bário (do grego *barys*, pesado), recebendo o mérito por tal achado (STRATHERN, 2002).

Outros ocorridos semelhantes aconteceram, como o caso da obtenção do molibdênio, o qual seria futuramente utilizado como um importante ingrediente do aço na

produção de armamentos. Neste estudo, Scheele conseguiu obter uma substância que continha um novo elemento, o qual provavelmente poderia ser isolado em altas temperaturas. Como Scheele não possuía um forno, passou sua ideia a seu amigo, o jovem químico Peter Hjelm, ao qual foi atribuído o mérito de tal obtenção. Na mesma época Scheele revelou ao mineralogista Johan Gahn os procedimentos necessários para a produção do manganês, ao qual deu o nome de *magnes*, nome em latim para magneto, o qual, equivocadamente, teria propriedades de dissolver a água. Em meio a tantos pesquisadores químicos competentes, a Suécia se mostrava desenvolvida e avançada para a época, tendo desempenhado um papel fundamental para o desenvolvimento da química, além de contribuições também em outras áreas. Em 1775, Scheele ingressa, aos 32 anos, na Academia Sueca de Ciências sem nenhuma formação acadêmica, sendo o único assistente de boticário a alcançar tal honra (STRATHERN, 2002).

Após algum tempo Scheele se mudou para uma pequena cidade provinciana chamada Koping. O farmacêutico que ali residia havia morrido e Scheele comprou a farmácia da viúva Sara Pohl. Neste ambiente, Scheele instalou um laboratório para desenvolver suas pesquisas, se dedicando incansavelmente a este trabalho. Por muitos anos sofreu de reumatismo crônico, dentre outros males, doenças provavelmente ocasionadas devido a atividades práticas de laboratório. Eram muitos os convites para trabalhos, mas Scheele desejava apenas um local tranquilo para trabalhar, recusando muitos destes convites, até porque não desejava abandonar Koping. Scheele, mesmo não tendo os conhecimentos acadêmicos de muitos de seus contemporâneos, foi admirado por muitos devido ao seu alto desempenho intelectual no campo da experimentação (MAAR, 1991, FILGUEIRAS, 2007, STRATHERN, 2002).

Em Koping Scheele continuou desenvolvendo suas investigações sobre os elementos químicos, inclusive a química sueca já estava atraindo olhares de visitantes do exterior. Os irmãos Dom José e Dom Fausto d'Elhuyar, estudantes espanhóis, em visita a Scheele puderam ter acesso às suas explicações sobre como conseguiu isolar da substância scheelita, assim denominada em sua homenagem, o chamado “ácido tungstico”. Aproximadamente dois anos depois esses irmãos conseguiram obter a partir desta substância o elemento tungstênio, que significa em sueco “pedra pesada”, tal elemento seria no futuro utilizado em filamentos de lâmpadas (STRATHERN, 2002).

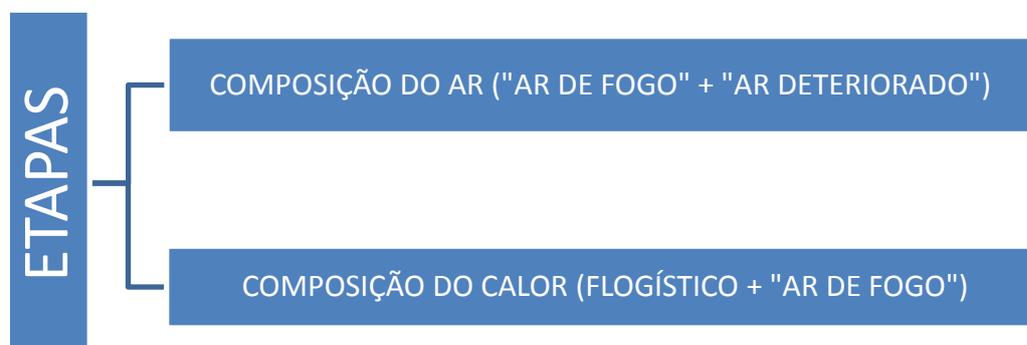
Os trabalhos de Scheele eram bastante originais e estavam muito à frente de seu tempo. Em suas detalhadas investigações notou o efeito da luz em substâncias que continham prata. Meio século depois, o francês Louis Daguerre utilizou tal efeito para desenvolver a fotografia (STRATHERN, 2002). Infelizmente, aos 40 anos Scheele adoece gravemente, as suspeitas foram relacionadas a contaminação por mercúrio. Nesse período acaba se casando com a viúva Sara Pohl para que ela pudesse herdar sua farmácia, alguns dias depois veio a óbito. De forma espontânea o humilde e célebre pesquisador se correspondeu com muitos pensadores em toda a Europa. Talvez devido à sua generosidade e humildade, boa parte de suas importantes contribuições para o desenvolvimento da Química, foram e continuam a ser ignoradas pela comunidade científica.

Certamente o trabalho mais importante de Carl Scheele está relacionado ao estudo dos ares. Entre os anos de 1771 a 1773 se empenhou em desenvolver pesquisas referentes à composição do ar atmosférico. Isto pelo fato de acreditar que ele era vital no processo de combustão/calцинаção. Seu objetivo inicial era estudar o fogo, mas logo percebeu que era necessário antes estudar a composição do ar (STRATHERN, 2002; BELL, 2007). Apoiando-se em ideias flogistonistas, tinha como hipótese a seguinte composição para os combustíveis:

$$\text{combustível} = \text{ácido} + \text{flogístico}$$

Existem duas etapas relevantes nos estudos de Scheele que merecem maior atenção, que são (Figura 3).

Figura 3 - Etapas dos estudos de Scheele.



Fonte: Adaptado de Santin Filho (2013).

Scheele realizou experimentos utilizando uma campânula na qual inseriu certa quantidade de ar atmosférico e uma substância rica em flogístico, portanto com tendência para liberá-lo. Dentre as substâncias, pode-se citar o enxofre, o fósforo, sulfetos e óleos. Após a queima, ele observou diminuição de aproximadamente 20% do volume do ar sob a campânula. Segundo sua hipótese flogistonista, ao queimar, o material liberava flogístico que, por sua vez, reagia com parte do ar atmosférico e produzia calor e chamas. Devido a esses efeitos, Scheele entendeu que a atmosfera era constituída por 20% de um ar propício à queima, ao qual deu o nome de “ar de fogo”, e uma parte inerte (80%), incapaz de sustentar uma combustão, ao qual deu o nome de “ar gasto” (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Scheele desenvolveu onze diferentes métodos de obter ar de fogo, e foi capaz de caracterizá-lo como uma nova substância. Assim, muitos historiadores atribuem a ele a descoberta do oxigênio (MAAR, 1999; FILGUEIRAS, 2007). De acordo com Kuhn (2011), essa atribuição é questionável, pois o oxigênio, tal qual o conhecemos hoje, é fruto de uma longa construção de conceitos, sendo impróprio atribuir tal “descoberta” a um ou a outro pesquisador.

Para tirar suas conclusões de que o calor é resultado de uma combinação entre o ar de fogo e o flogístico, Scheele queimou ar inflamável (modernamente o gás hidrogênio), considerado flogístico puro, na presença de “ar de fogo” no interior de uma campânula isolada com água. Ele notou subida do nível de água e concluiu que o ar inflamável havia se combinado e consumido o ar de fogo, gerando como único produto o calor. Scheele não constatou a formação de água, inclusive por que não tinha como hipótese que ela se formaria, o que não lhe abriu caminhos para a compreensão de sua composição. (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007). Com este experimento, Scheele foi capaz de comprovar sua hipótese de que a reação entre o ar de fogo e o ar inflamável (flogístico) tem como resultado a formação de calor, isto é:

$$\textit{calor} = \textit{ar de fogo} + \textit{flogístico}$$

Em carta enviada a Lavoisier em 15 de outubro de 1774, Scheele descreve suas novas conclusões e relata especialmente a formação do ar de fogo a partir do aquecimento do carbonato de prata. Ele sugere a Lavoisier que produza o ar de fogo a partir de suas

lentes ardentes, decompondo o carbonato de prata em ar de fogo e ar fixo e posteriormente passando os gases em uma solução de cal, na qual o ar fixo seria absorvido. O pesquisador pede para que Lavoisier o informe sobre os resultados obtidos, sobre o ar formado e sua capacidade de sustentar a chama de uma vela e se prolongava ou não a respiração de animais. Contudo, esta carta nunca foi respondida (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAAR, 1999).

Scheele publicou um único livro, o “Tratado do Ar e do Fogo” em 1777, escrito em 1775. Na obra ele relata a obtenção do ar de fogo, ocorrida em 1771. Isolou o ar de fogo a partir de várias cais diferentes, tais como carbonato de prata, nitrato de magnésio e nitrato de potássio (nomenclatura moderna). Sendo que alguns anos à frente de Lavoisier e Priestley, isolou o ar de fogo a partir da redução do *mercurius calcinatus* (óxido de mercúrio). Sendo adepto da teoria do flogístico, mesmo conhecendo as propriedades do novo ar, buscou explicá-las dentro das concepções que defendia. Contudo, relata que o novo ar tinha características diferentes dos demais, isto porque em contato com uma brasa ela arde até ser completamente consumida, e o carvão em pó incendeia de forma espontânea. Os estudos de Scheele foram fundamentais para o surgimento de novas teorias (MAAR, 1999, BELL, 2007).

Certamente Scheele trabalhou com o ar de fogo por volta de 1772, um pouco antes de Priestley em 1774. Os dois pensadores, mesmo estando em lugares diferentes e um não tendo acesso aos escritos do outro, conseguiram demonstrar a existência de um novo ar na mesma época (MAAR, 1999).

3.3 O Ar Desflogisticado de Joseph Priestley

Joseph Priestley foi um admirado pneumaticista (nome dado aos estudiosos de “ares” à época) inglês. Nasceu em 13 de março de 1733 em Fieldhead, nas proximidades de Leeds na Inglaterra e faleceu em 6 de fevereiro de 1804 nos Estados Unidos, em Northumberland, Pensilvânia. Era filho de um alfaiate de condição simples; seus pais eram calvinistas, membros de uma igreja não aliada com a Igreja Anglicana Oficial e, devido a isto, encontrou muitas dificuldades na sua vida acadêmica. Priestley nasceu

apenas dois anos depois de Cavendish e perdeu sua mãe quando ainda era criança (MAAR, 1999; STRATHERN, 2002).

Priestley era um homem religioso e se mostrava preocupado com os problemas da humanidade. Priorizava o trabalho religioso frente ao científico. Apesar de suas contribuições para a Química terem sido fundamentais, sua compaixão pelas pessoas se sobressaiu. Inicialmente ele praticava Ciência apenas como *hobby*, mas, em 1756, teve contato com o americano Benjamin Franklin, pensador com fortes crenças religiosas, o qual entusiasmou Priestley a se interessar mais pela atividade científica (STRATHERN, 2002).

A vida científica de Priestley teve início em 1758 em Nantwich. Em 1765 recebeu o título de Doutor em Letras da Universidade de Edinburgh. Parte deste ano residiu em Londres com o intuito de se reunir com outros pesquisadores e em 1776 foi eleito para a *Royal Society*, não sendo muito bem visto por todos os acadêmicos devido a sua ideologia religiosa de “livre pensador” (MAAR, 1999).

Em Leeds, Priestley assumiu uma paróquia e passou a morar próximo a uma cervejaria. A partir de 1771, se interessou em investigar o ar desprendido durante a fermentação da cerveja, testando suas propriedades. Após experimentos notou que tal ar tinha características iguais ao identificado anteriormente por Joseph Black. A partir de então se interessou em estudar as propriedades desse ar, especialmente no que se refere a sua dissolução em água e o papel deste ar na respiração de plantas e animais (BELL, 2007, MAAR, 1999; STRATHERN, 2002).

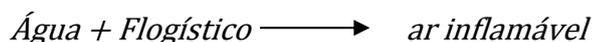
Priestley percebeu que um camundongo em contato com tal ar logo morria e que, de forma semelhante, uma chama se extinguia; constatou também que esse ar era mais pesado que o vapor de água. Permitiu a entrada deste ar através de um tubo sob um vaso com água e notou que o mesmo penetrava borbulhando e deslocando a água, constatou também que parte do ar se dissolvia na água. O resultado foi uma água efervescente e de sabor agradável. Priestley percebeu a semelhança entre esta água e as águas minerais gasosas provenientes de fontes naturais da Europa. A partir de então, a água com gás ganhou popularidade (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007, STRATHERN, 2002).

Seguindo as orientações de Cavendish, Priestley passou a coletar diversos ares em uma cuba com mercúrio, ao invés de água. Isto porque vários ares se dissolviam em água, impossibilitando assim a investigação. Tal ideia permitiu o isolamento de vários novos ares, levando Priestley em 1774, a isolar o chamado “ar desflogisticado”. Além disso, Priestley notou também que, ao misturar o “ar desflogisticado” com o “ar inflamável” de Cavendish em um balão, havia a formação de certa umidade no vidro. Cavendish, a partir desta informação e com a autorização de Priestley, repetiu os experimentos e passou a produzir uma quantidade maior de umidade e observou que o produto formado era de fato a água (MAAR, 1999; STRATHERN, 2002).

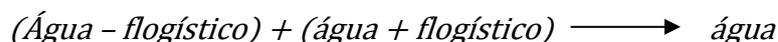
Como Priestley e Cavendish eram seguidores flogistonistas a hipótese levantada a princípio foi:



Porém, a explicação de Cavendish a partir de seus procedimentos era diferente. Para ele a reação entre o “ar inflamável” e o “ar desflogisticado” não formaria água, isto porque a água já pré-existiria nos dois ares. Nesta ótica a reação seria:



Sendo que a reação entre os ares apenas redistribui o flogístico:



Tais conclusões de Cavendish sobre a composição da água devem ter sido obtidas entre 1782 e 1783. Nesse meio tempo, Priestley comunica seus experimentos para James Watt (1736 - 1819) que, por sua vez, em 1783 lhe apresenta uma explicação para os dados obtidos. Segundo ele a água seria o “ar desflogisticado” mais o flogístico que havia perdido seu calor latente na forma de calor. Deste modo, para Watt, o “ar inflamável” era flogístico puro. As conclusões de Watt, certamente surgiram a partir das ideias de Priestley, tendo Watt se destacado como inventor da primeira máquina a vapor, a partir da qual se tornou possível a Revolução Industrial. Em sua homenagem seu nome foi dado a unidade de potência de energia - o Watt. Contudo, não seria nenhum dos três pensadores

que daria ao chamado “ar inflamável seu nome moderno, que seria “hidrogênio” (do grego *hydro* “água” e *-gen* para “gerador, criador” só seria concebido pelo químico francês Lavoisier uma década depois, a partir de suas novas explicações para a síntese da água (FILGUEIRAS, 2007; MAAR, 1999; STRATHERN, 2002).

Tais fatos apontam que a ciência se desenvolve por meio de um corpo de conhecimentos que muitas vezes conduzem a uma mesma direção. Neste segmento, um pesquisador sempre desenvolve sua investigação a partir de conhecimentos que já estavam em andamento. Isso pode ser evidenciado analisando o trabalho colaborativo entre Priestley e Cavendish e entre Priestley e Watt. Nesta concepção, a ciência pode ser vista como algo histórico-cultural e não simplesmente como descobertas isoladas de gênios trabalhando sem a colaboração de seus pares (STRATHERN, 2002).

A curiosidade de Priestley o permitiu isolar, caracterizar e diferenciar inúmeros tipos de ares. Em suas explicações, todos, com exceção do “ar alcalino”, quando dissolvidos em água, tornavam-se acidíferos (STRATHERN, 2002). Priestley isolou e caracterizou três óxidos de nitrogênio (os modernos NO, NO₂ e N₂O), o “ar ácido marinho” (HCl), o “ar alcalino” (NH₃), o “ar vitriólico volátil”, dentre outros, além do “ar desflogisticado”, o que mais nos interessa neste trabalho. Ao reagir, o “espírito de nitro” (HNO₃) com metais, conseguiu isolar o “ar nitroso” (NO). Percebeu que a união deste ar com o ar atmosférico gerava um certo “ar vermelho” e que ocorria uma diminuição do volume do ar atmosférico. Constatou também que esta redução do volume de ar era proporcional a fração respirável e que promovia a combustão dos corpos. Registrou cuidadosamente os volumes dos ares envolvidos na reação entre o ar atmosférico e o “ar nitroso” com um aparelho que ele próprio inventou, o *eudiômetro* e pôde assim quantificar a fração respirável do ar (MAAR, 1999; BELL, 2007). Esse equipamento estabeleceu o que Priestley viria a chamar de “bondade” dos ares, ou seja sua respirabilidade.

Em 1774, ao visitar Paris, Priestley participou de um jantar com outros pensadores, inclusive Lavoisier, e transmitiu a ele suas explicações sobre o ar desflogisticado. Ele relatou que, ao realizar a redução de *mercurius calcinatus*, o ar despreendido possuía propriedades diferentes do ar fixo. Tal ar era insolúvel em água e estimulava a chama de uma vela (BELL, 2007, STRATHERN, 2002). A princípio achou que havia produzido o ar nitroso. Ao realizar o experimento com uma amostra mais pura

de *mercurius calcinatus*, notou que o ar despreendido apresentava propriedades diferentes do ar nitroso e o chamou de “ar desflogisticado” (CONANT, 1957). De acordo com Priestley:

Uma vela ardia nesse ar com uma assombrosa força de chama; e um pedacinho de madeira ao rubro crepitou e queimou com prodigiosa rapidez, exibindo uma aparência algo semelhante à do ferro, fulgurando com um calor branco e lançando faíscas em todas as direções. Mas para completar a prova da qualidade superior desse ar, introduzi nele um camundongo; e numa quantidade em que, fosse isso ar comum, ele teria morrido em cerca de um quarto de hora, ele viveu...uma hora inteira (PRIESTLEY *apud* STRATHERN, 2002 p. 191)

Para comprovar a respirabilidade do novo ar, ele realizou o teste em si próprio, inalando parte deste por meio de um sifão e comprovou aquilo que chamou de *bondade* do ar. De acordo com Priestley:

A sensação que provocou em meus pulmões não foi sensivelmente diferente da provocada por ar comum, mas tive a impressão de sentir meu peito peculiarmente leve e aberto por algum tempo (PRIESTLEY *apud* STRATHERN, 2002, p.191)

Para Priestley o ar desflogisticado possuiria menos flogístico que o ar atmosférico e por isso era capaz de receber maior quantidade desta substância durante a combustão e por isso o absorvia de forma rápida (FILGUEIRAS, 2007, STRATHERN, 2002). A reação resultante do experimento de Joseph Priestley é a seguinte:



Com base na teoria do flogístico, Priestley argumentava que, durante a queima, uma vela liberava certa quantidade de flogístico, o qual reagia com parte do ar atmosférico, que possuía pouca quantidade de flogístico (seria um “ar desflogisticado”). A vela iria queimar totalmente, isto porque no ar atmosférico havia abundância desse ar para receber o flogístico liberado na combustão. Contudo, em ambiente fechado, a chama iria se apagar na medida em que o ar ficasse saturado desse fluido e não pudesse mais recebê-lo (SANTIN FILHO, 2013).

Em 1780 Priestley fixou residência em Birmingham, grande centro fabril surgido no século XVIII a partir da Revolução Industrial. Neste local teve um período de grande

produção intelectual. Contudo, Priestley, sendo inimigo da ordem política e religiosa ali estabelecida, acabou sendo expulso da cidade pela população que, enfurecida, acabou incendiando sua casa, biblioteca e laboratório em Fair Hill em Birmingham (MAAR, 1999; STRATHERN, 2002).

Depois de morar por algum tempo em Hackney, novamente criticado pela população, mudou-se em 1794 para Nova York nos Estados Unidos juntamente com a mulher, local onde já residiam três dos seus quatro filhos. Recebeu o convite para a cadeira de Química da Universidade da Pensilvânia, mas devido a seus ideais, recusou a qualquer cargo. Até o fim de seus dias, continuou convencido de que o flogístico explicava o fenômeno da combustão, mesmo em meio a questionamentos. Fixou residência em Northumberland/PA onde morreu em 6 de fevereiro de 1804 (MAAR, 1999; STRATHERN, 2002).

A partir de um olhar sobre a História da Química, é possível constatar a imensa contribuição que os estudos realizados pelos químicos Scheele e Priestley trouxeram para as novas constatações de Lavoisier. Todo este caminho percorrido para a construção do oxigênio no decorrer do século XVIII aponta que o verdadeiro papel do oxigênio na química não foi simplesmente uma ideia genial de Lavoisier, mas sim uma articulação de dados empíricos anteriores, especialmente os elucidados por Scheele e Priestley, o que tornou possível o desenvolvimento de uma teoria capaz de explicar de forma mais coerente o papel do novo ar nos processos de combustão e respiração. Então é possível dizer que todo esse caminho resulta em um grande processo de transformação na química. Fruto não apenas de ideias isoladas de Lavoisier, mas de toda uma bagagem de conhecimentos desde os estudos de Stahl até as teorias modernas sobre o fenômeno da combustão.

3.4 O Oxigênio de Antoine Laurent Lavoisier

Lavoisier nasceu em 26 de agosto de 1742 em uma família de posses, e ainda com 5 anos perdeu sua mãe Emilie Lavoisier, tendo sido criado por uma tia, Constance. Antoine Lavoisier teve sua infância marcada por muitas perdas e não teve filhos. Quando

tinha 11 anos começou a estudar no Collège des Quatre Nations, o Collège Mazarin, e se formou em Ciências Físicas e Matemáticas. Os primeiros contatos de Lavoisier com a Química se deram na sua adolescência, ainda no Collège Mazarin, por meio de um curso de química ministrado por Louis de La Planche (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Após concluir seus estudos no Mazarin, Lavoisier frequentou muitos cursos de Química no Jardin du Roi, ministrados por Rouelle. Lavoisier se entusiasmou com os ensinamentos de Rouelle, numa época em que a teoria do flogístico era aceita praticamente sem contestações por toda a comunidade científica, já que conseguia interpretar relativamente bem um grande número de reações químicas. Contudo, Lavoisier começou a perceber algumas interpretações confusas nas explicações de seu mestre (BELL, 2007).

Demonstrando estar inconformado com as ideias obscuras de Rouelle, Lavoisier afirmava que teria que recomeçar seus estudos na química, atitude que se mostrou um tanto quanto radical, na medida em que dava a impressão de que tudo o que havia sido construído até ali perdera seu valor (BELL, 2007). Segue a objeção de Lavoisier:

Consegui adquirir uma ideia clara e precisa do estado em que a química chegou naquela época. Mesmo assim, era verdade que eu passara quatro anos estudando uma ciência que se compunha de ideias absolutamente incoerentes e suposições não provadas, que não tinha um método de instrução, e que não havia sido afetada pela lógica da ciência. Foi àquela altura que percebi que teria de começar todo o estudo da química de novo (LAVOISIER *apud* BELL, p. 40).

Contudo, muitas das conclusões de Lavoisier só foram possíveis graças às ideias de Stahl, enunciadas a partir da teoria do flogístico, de tal modo que esta tem uma ligação direta com Lavoisier (FILGUEIRAS, 2007).

Mesmo frente aos anseios em se aprofundar em estudos de ciências, sua família almejava que seguisse a carreira do pai, em direito, pois argumentava que as ciências eram uma atividade de lazer, e não era considerada como uma profissão. Em 1761 se matriculou na Faculdade de Direito de Paris e se diplomou em 1764. Já nesta época almejava ingressar na Academia de Ciências, a qual funcionava como uma meritocracia,

em que conseguiam se promover aqueles que apresentassem as contribuições mais fortes à ciência francesa. Lavoisier queria desenvolver algo mais formal para a comunidade científica da França (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Ele se envolveu em uma ampla variedade de estudos, especialmente na área de ciências, estudou Botânica, Eletricidade, Matemática, Astronomia, Mineralogia e Geologia, Química e Anatomia. Em 1764 se dedicou a um projeto que versava sobre a iluminação das ruas de Paris, tendo se isolado em um quarto escuro por seis semanas para realizar seus estudos, testando diversos tipos de lanternas e combustíveis. Recebeu medalha de ouro por seu trabalho na área (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

De acordo com Filgueiras (2007), para ganhar reconhecimento como cientista era necessário conseguir ingressar na Academia Real de Ciências. Em 1766, disputou uma vaga na academia, mas perdeu a disputa para Gabriel Jars, que tinha mais idade. Em 1768 foi aceito pela Academia e tornou-se membro da seção de Química como assessor extranumerário. Somente no ano seguinte, devido à morte de Jars, Lavoisier conseguiu sua vaga como membro adjunto da Academia.

Filgueiras (2007) e Bell (2007) discorrem que, dentre os primeiros experimentos de Lavoisier, um dos mais conhecidos foi desenvolvido com a intenção de contestar as publicações do químico belga Jan Baptist van Helmont, quase um século antes (1577-1644). Durante cinco anos van Helmont regou com água pura de chuva um salgueiro que pesava inicialmente 5 libras numa tina com 200 libras de terra. Após este período o salgueiro passou a pesar 260 libras e três onças e a quantidade de terra permaneceu praticamente constante. Van Helmont atribuiu o aumento de peso da planta à água da chuva que havia se transformado em sólido. Esta ideia já vinha de outros químicos que alegavam a formação de um sólido branco após ferver a água por vários dias em um frasco de vidro. Tratava-se de heranças claras do modelo aristotélico dos quatro elementos e suas transmutações.

Em 1768, Lavoisier interessado pela questão da transmutação, realizou um experimento, fervendo água por 101 dias em um frasco denominado pelicano⁵. Neste frasco era possível ferver a água pelo tempo que se quisesse sem qualquer perda de

⁵ Pelicano era uma espécie de alambique de vidro ou cerâmica muito usado na época. Neste frasco não se perdia material, pois ocorria uma condensação devido aos seus tubos laterais pelos quais a água retornava ao balão (FILGUEIRAS, 2007).

material. Os estudos de Lavoisier mostraram que o resíduo era resultado do material perdido pelo frasco devido à sua má qualidade, contrariando a crença da época e mostrando que não ocorria uma transformação de água em outro material. Isto porque, utilizando uma de suas balanças de precisão, pesou o conjunto antes e depois do experimento e demonstrou que o peso era o mesmo no início e no final do processo (FILGUEIRAS; 2007; BELL, 2007)

É interessante perceber que a hipótese de conservação da matéria, já era utilizada nas pesquisas de muitos pensadores, conforme aponta o relato de van Helmont. Contudo, Lavoisier em seu *Tratado Elementar de Química*, explicou de forma mais refinada tal hipótese (FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007). Somente em 1785, o postulado que envolvia a conservação da matéria conhecido como *conservação da massa*, foi expresso formalmente por Lavoisier:

Nada é criado, quer nas operações da arte, quer naquelas da natureza, e pode-se considerar um princípio geral que em toda operação existe uma quantidade igual de matéria antes e após a operação; que a qualidade e a quantidade dos constituintes são os mesmos, e que o que acontece são apenas mudanças, modificações. É nesse princípio que se baseia toda a arte de realizar experimentos químicos; em todos eles se deve pressupor uma igualdade verdadeira entre os constituintes das substâncias examinadas e os resultados de sua análise (LAVOISIER, *apud* Bell, 2007 p. 58)

Em 16 de dezembro de 1771, aos 28 anos, Lavoisier se casa com Marie-Anne Pierrette Paulze, que contava então com 13 anos. O casal não teve filhos, e Madame Lavoisier se dedicou inteiramente ao marido como uma auxiliar de laboratório muito eficiente. Lavoisier lhe ensinou alguns conhecimentos sobre a química, vindo a se aprofundar nos estudos com Jean-Baptiste Bucquet. Mesmo com toda essa dedicação, acabou iniciando em 1781, um relacionamento amoroso com Pierre Dupont, um dos colegas de seu marido, que viria a fundar um vasto império industrial. Os dois mantiveram discrição e ninguém desconfiou do caso até a morte de Lavoisier (BELL, 2007).

O papel de Madame Lavoisier não era pequeno na vida do pesquisador. Ela anotava acontecimentos importantes dos experimentos e redigia inúmeros textos de Lavoisier. Tinha conhecimentos de latim e inglês, traduzia artigos e, em alguns casos livros inteiros, sendo considerada um membro ativo da equipe do laboratório. Foi também responsável pelos desenhos que ilustram o *Tratado Elementar de Química* (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Em 1776, Lavoisier foi nomeado administrador geral da *Administração da Pólvora e do Salitre*. Isto porque a partir de seu ingresso como um dos diretores em 1775, os preços da pólvora baixaram e a qualidade aumentou, possibilitando a França alimentar o exército de Washington durante a Guerra das colônias inglesas da América (FILGUEIRAS, 2007). De acordo com Bell (2007), Lavoisier, sendo o inspetor do imposto sobre o salitre, percebeu muitas ineficiências no método de produção da pólvora e relatou tais problemas a Turgot (primeiro ministro - controlador geral das finanças).

A partir de então Turgot rescindiu a concessão da pólvora e Lavoisier passou a exercer autoridade executiva, eliminando dos coletores de pólvora o direito de busca e apreensão. Com total apoio do governo, as pesquisas voltadas para a melhoria da qualidade da pólvora passaram a ser um processo militar e Lavoisier procurou métodos melhores para a extração do salitre, bem como desenvolveu técnicas mais eficientes para a produção do salitre artificial. Daí o aumento na qualidade e a queda nos preços. Lavoisier construiu um prédio no Arsenal e para lá se mudou com sua esposa. Instalou seu laboratório, que continha os mais avançados instrumentos da época, tudo custeado com recursos próprios (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

As primeiras linhas de investigação de Lavoisier relacionadas à combustão referem-se aos processos de queima do fósforo e do enxofre e também de diamantes. Lavoisier se queixava da falta de unificação de resultados devido à diversidade de trabalhos voltados para o estudo dos ares (fluidos elásticos), os quais se unem ou escapam dos corpos durante os processos químicos (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAGALHÃES e COSTA, 1994). Isto porque naquela época vários tipos de ares já haviam sido isolados, porém, ainda não apresentavam uma terminologia e uma compreensão efetiva sobre a sua natureza, sendo ainda considerados inertes e sem se combinarem a outras substâncias durante as reações químicas. A teoria de Stahl, a mais avançada para aquela época, considerava o ar apenas como instrumento ao redor das

reações químicas, servindo para transportar o flogístico de uma substância para outra, sem participar como um ingrediente ativo, pois era inerte. Por outro lado, seu mestre Rouelle inicialmente seguidor de Stahl, afastou-se deste por afirmar que o ar era quimicamente ativo e participava das reações, sendo considerado ingrediente e não apenas intermediário da combustão, conforme defendia Stahl (BELL, 2007).

A partir de 1772, Lavoisier iniciou uma série de estudos sobre a queima de diamantes. Eles chamavam particularmente a atenção pelo fato de, ao serem queimados em presença de ar abundante, eram totalmente consumidos, sem deixar resíduos sólidos. Lavoisier e alguns de seus colaboradores aqueceram diamantes durante três horas em uma retorta e notaram formação de uma cor opaca e diminuição no seu peso. Contudo, em experimento realizado na ausência do ar, os diamantes ficaram ilesos e seu peso se conservava (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAGALHÃES e COSTA, 1994). A queima na presença de ar atmosférico gerava abundante volume de “ar fixo” (previamente caracterizado por Black). Segundo observações de Lavoisier



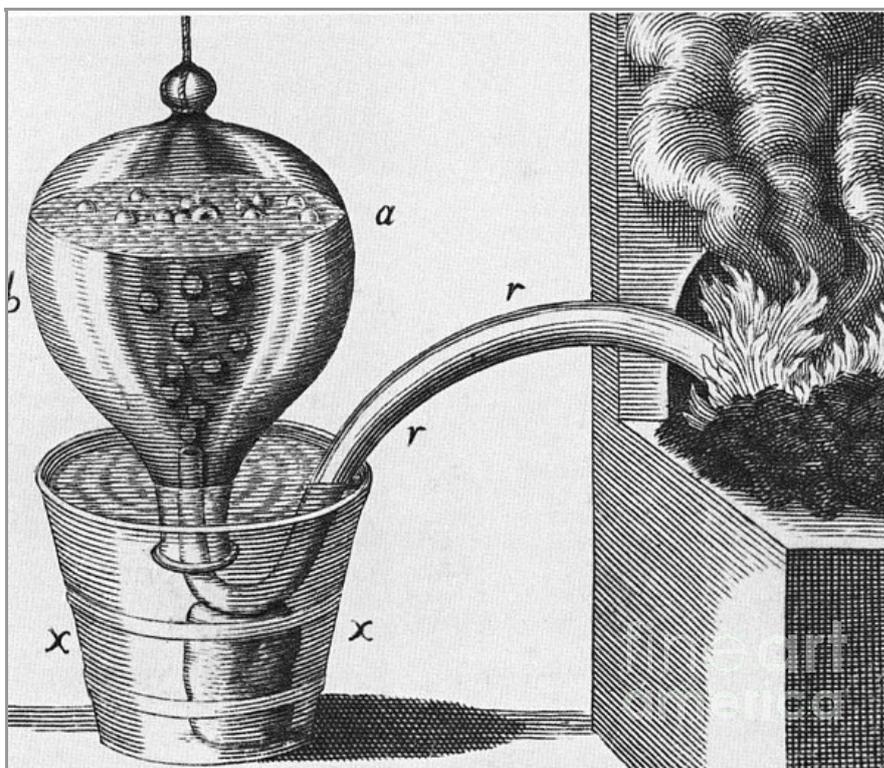
Com base nos experimentos e conclusões de seu colega Guyton de Morveau, publicados em 1772, Lavoisier se inspirou a escrever um resumo sobre a calcinação de metais. Morveau percebeu o aumento de peso na calcinação de inúmeros metais e demonstrou também que o processo não ocorre em recipientes sem a presença de ar (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

As ideias flogistonistas de Stahl prevaleciam na época e Lavoisier iniciou uma investigação voltada para a calcinação de metais. Já era fato bem conhecido que durante a calcinação diversos metais ganhavam peso, fato observado por Lavoisier e por Morveau. Por outro lado, na ausência de ar os metais aquecidos não apresentavam qualquer mudança em seu peso. Embora contrariasse a hipótese de haver perda de material (flogístico), o ganho de peso tinha seus argumentos. Tal fato deixou Lavoisier intrigado, pois como poderia ter ocorrido aumento de peso se a substância inicial havia perdido flogístico? Tais incoerências deixavam o pensador cada vez mais intrigado e o estimulavam na busca por novas respostas (BELL, 2007).

De acordo com Bell (2007), Diderot apresentou a seguinte explicação para o aumento de peso dos óxidos metálicos: Tal aumento decorre do ar que se combinou com a terra metálica e substituiu o flogístico que foi queimado, o qual é menos pesado que o ar por conter menos matéria. Atento a essa e a diversas outras explicações para o fenômeno, Lavoisier iniciou novas pesquisas na busca de sua explicação. Neste sentido, trabalhou mais como um teórico do que como um descobridor de fatos. Lavoisier não ofereceu novos experimentos, mas trabalhou nos que já eram de conhecimento da comunidade científica, porém sob um novo olhar, buscando explicações mais plausíveis (FILGUEIRAS, 2007).

Lançando mão do uso das cubas pneumáticas desenvolvidas por Stephen Hales (figura 4), Lavoisier recolheu os ares produzidos durante a queima de diversas substâncias por meio das lentes ardentes (utilizadas para concentrar os raios solares e aquecer fortemente as substâncias a serem analisadas). As queimas eram promovidas no interior das cubas, contendo quantidade definida de ar, e o consumo de parte dele ou o surgimento de gases alterava o nível de água no interior da cuba, permitindo algumas determinações quantitativas de gases (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Figura 4 - Cuba Pneumática



Fonte: Wikimedia, 2015.

Em outubro de 1772, Lavoisier aqueceu uma amostra de chumbo e obteve como produto o m\u00ednio (\u00f3xido de chumbo), notou tamb\u00e9m a diminui\u00e7\u00e3o do volume de ar sobre a \u00e1gua na cuba e a eleva\u00e7\u00e3o do n\u00edvel de \u00e1gua. Na sequ\u00eancia fez o inverso, reduziu a chumbo met\u00e1lico certa quantidade de m\u00ednio misturado com carv\u00e3o. Houve regenera\u00e7\u00e3o do chumbo e forma\u00e7\u00e3o de uma grande quantidade de ar, o qual foi recolhido sobre a \u00e1gua previamente coberta com uma camada de \u00f3leo, a fim de evitar a dissolu\u00e7\u00e3o do mesmo (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAGALH\u00c3ES e COSTA, 1994).

Segundo Filgueiras (2007) e Bell (2007), Lavoisier notou que o flu\u00eddo el\u00e1stico formado na rea\u00e7\u00e3o entre o m\u00ednio e carv\u00e3o n\u00e3o era capaz de sustentar a respira\u00e7\u00e3o e que pequenos animais colocados sob uma camp\u00e2nula que o continha n\u00e3o conseguiam sobreviver. O referido ar extinguiu tamb\u00e9m a chama de uma vela. Tais caracter\u00edsticas relacionavam tal ar ao ar fixo de Black. Utilizando balan\u00e7as de alta precis\u00e3o, Lavoisier constatou que a varia\u00e7\u00e3o no peso do ar antes e depois da rea\u00e7\u00e3o era proporcional ao aumento de peso na cal met\u00e1lica, concluindo que apenas uma parte do ar atmosf\u00e9rico se fixava nos metais. \u00c0 essa fra\u00e7\u00e3o de ar Lavoisier nomeou de “flu\u00eddo el\u00e1stico particular”. Neste momento Lavoisier notou que poderia dar explica\u00e7\u00f5es mais satisfat\u00f3rias para este e outros fen\u00f4menos da natureza. Em suas palavras:

Comecei a suspeitar de que o ar da atmosfera, ou um flu\u00eddo el\u00e1stico qualquer contido no ar, fosse suscept\u00edvel num grande n\u00famero de circunst\u00e2ncias, de se fixar, de se combinar com os metais; que era \u00e0 adi\u00e7\u00e3o desta subst\u00e2ncia que eram devidos os fen\u00f4menos da calcina\u00e7\u00e3o, o aumento de peso dos metais convertidos em cais e talvez muitos outros fen\u00f4menos dos quais os f\u00edsicos n\u00e3o haviam ainda dado nenhuma explica\u00e7\u00e3o satisfat\u00f3ria (LAVOISIER, *apud* FILGUEIRAS, 2007, p.78-79).

Conforme destaca Filgueiras (2007), Lavoisier refez o mesmo experimento com o f\u00f3sforo para que pudesse verificar se suas conclus\u00f5es poderiam ser generalizadas. Ao queimar a subst\u00e2ncia em volume conhecido de ar, observou a forma\u00e7\u00e3o do composto calcinado e que o volume de ar havia diminuído cerca de um quinto do inicial. Tais fatos levaram a hip\u00f3tese de que o f\u00f3sforo tinha absorvido o flu\u00eddo el\u00e1stico como tinha acontecido na queima do chumbo. Resultado similar era alcan\u00e7ado com a queima do enxofre.

fósforo (ou enxofre) + ar atmosférico → ácido fosfórico (ou sulfúrico)

Bell (2007) e Filgueiras (2007), salientam que os trabalhos de Lavoisier uniam as análises qualitativas às quantitativas, por meio de métodos rigorosos. As massas eram medidas antes e depois das reações de forma minuciosa. Tais fatos conferiram à Química uma nova dimensão, com mudanças radicais. Nesse aspecto, a teoria do flogístico começava a se desmoronar, isso porque o princípio de inflamabilidade defendido por seus seguidores incomodava Lavoisier e o fazia investigar problemas já existentes, mas que muitas de suas reais resoluções ainda não haviam sido exploradas. De acordo com Bell (2007) e Filgueiras (2007), em nota lacrada à Academia em 1º de novembro de 1772, Lavoisier relata os resultados obtidos dos experimentos com fósforo, enxofre e mínio, em que destaca que, ao invés de liberar algo durante a combustão, o absorvem:

Faz cerca de oito dias desde que descobri que o enxofre, ao queimar, longe de perder algum peso, pelo contrário, o adquire; isso quer dizer que de uma libra de enxofre se pode extrair bem mais que uma libra de ácido vitriólico, sendo a extração realizada na umidade do ar. O mesmo acontece com o fósforo. O aumento de peso resulta de uma quantidade prodigiosa de ar que se fixa durante a combustão e que se combina com os vapores. Essa descoberta que confirmei por alguns experimentos que considero decisivos, me fizeram pensar que o que se observa na combustão do enxofre e do fósforo poderia muito bem ocorrer com todos os corpos que adquirem peso pela combustão e calcinação, e estou persuadido de que o aumento de peso de gizes metálicos tem a mesma causa. O experimento confirmou completamente minhas conjecturas. Fiz a redução do litargírio em recipientes fechados com o aparelho do Sr. Hales e observei que, no momento da passagem ácido metálico para o metal, é liberada uma quantidade considerada de ar que forma pelo menos um volume mil vezes maior que a quantidade de litargírio usada. Essa descoberta me parece umas das mais interessantes realizadas desde Stahl e, como é difícil não deixar escapar para nossos amigos na conversa algo que poderia coloca-los no caminho da verdade, acreditei que devesse fazer o presente depósito nas mãos do Sr. secretário da academia enquanto aguardo o momento de tornar públicos os meus experimentos (LAVOISIER *apud* BELL, 2007, p. 65-66).

Tentando explicar os fenômenos da combustão, o físico inglês Robert Boyle (1627-1691), também havia aquecido amostras de metais a altas temperaturas em tubos de vidros selados e notou um considerável aumento de massa após a combustão. Boyle atribuiu tal aumento às partículas de fogo que atravessaram os tubos para reagir com o metal. A fim de mostrar que Boyle estava equivocado em suas observações, Lavoisier em

1774, realizou novamente os experimentos utilizando chumbo e estanho. Contudo, tomou o cuidado de pesar os tubos antes e após o aquecimento, isto é, depois que o tubo resfriasse. Raciocinou que ocorreu um pequeno aumento na massa resultante da combinação do metal com parte do ar previamente existente no recipiente (FILGUEIRAS, 2007).

A partir daí a conclusão de Boyle foi refutada, contrariando a hipótese de que partículas de fogo ou de que outra substância havia atravessado o tubo. Por outro lado, ao abrir os tubos ainda quentes, a massa aumentava consideravelmente, sendo que esses aumentos eram iguais às massas adquiridas pelos metais durante a calcinação em ambiente aberto, confirmando as hipóteses de Lavoisier de que durante a combustão uma parte particular de fluido elástico se fixava nos metais (FILGUEIRAS, 2007).

Lavoisier concluiu que o experimento realizado para a redução do minio liberava um ar fluido elástico e nas reações de queima com fósforo e enxofre na presença de ar tal fluido era fixado. Acreditou ter explicado a existência de tal fluido nas duas extremidades. Contudo, havia uma confusão a respeito desse fluido, pois aparentemente ora ele apagava a chama e matava animais, ora sustentava a chama de uma vela e se mostrava adequado à respiração, quando comparado com o ar atmosférico (BELL, 2007).

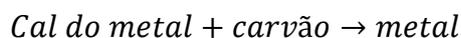
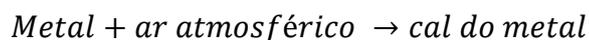
Tal contradição ocorria porque Lavoisier ainda não reconhecia a diferença entre o ar fixo e ao ar que intitulou “ar eminentemente respirável”. Apoiando-se em estudos realizados por outros pesquisadores, repetiu e ao mesmo tempo ampliou a quantidade de experimentos que absorviam ar, para que pudesse compreender a origem da substância e seus efeitos em diferentes combinações (BELL, 2007).

O fato é que os experimentos realizados, algumas vezes produziam ar fixo, em outras o “ar eminentemente respirável” ou outros ares. Estes ares ainda não eram bem diferenciados por Lavoisier, que não conseguia distingui-los com sua teoria desenvolvida até aquele momento (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Por volta de 1773, Lavoisier apelou para a colaboração de colegas, que propuseram algumas mudanças metodológicas (BELL, 2007). Dentre essas mudanças estava a medição do ar liberado na redução do minio na presença de carvão e a constatação de que tal ar não mantinha a chama de uma vela, matava pequenos animais e

precipitava na água de cal. Por outro lado, com o ar atmosférico comum não ocorria a precipitação (BELL, 2007). Em outubro do mesmo ano, Lavoisier concluiu que parte do ar utilizado na respiração não se combinava com os óxidos metálicos, mas existia na atmosfera certa quantidade de um fluido elástico, sem o qual a calcinação não poderia ocorrer (LAVOISIER *apud* BELL, 2007). Ao se provocar reações sob campânula fechada, a calcinação só iria acontecer enquanto existisse esse fluido elástico que, ao se esgotar, a reação seria interrompida.

A partir de fevereiro de 1773, Lavoisier inicia uma revisão de alguns experimentos e teorias sobre a liberação e absorção dos ares em sólidos, disseminadas por Black, Hales e Priestley, dentre outros, alegando que era preciso explorar questões ainda não levantadas e outras ainda não respondidas de forma satisfatória (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007). Desenvolveu, então experimentos com carbonatos (ação de ácidos e precipitação com hidróxidos) alcalinos e com os óxidos (cais) metálicos, utilizando o carvão para a redução e formação das cais pelo aquecimento:



Em 1774, Pierre Bayen (1725-1798), químico francês e farmacêutico militar, acostumado a produzir diferentes cais de mercúrio para uso prático, demonstrou que o *mercurius calcinatus* poderia ser reduzido sem a presença de carvão, invalidando cada vez mais a teoria do flogístico. Lavoisier e seus colegas não conseguiam explicar a diferença do ar formado nesta redução em relação ao ar fixo de Black (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Conforme salientam Bell (2007) e Filgueiras (2007), ainda em 1774 Joseph Priestley participou de um jantar no qual Lavoisier estava presente. Priestley relatou a ele todas as suas observações a partir de seu experimento com o *mercurius calcinatus*. Priestley havia realizado a redução do mercúrio com e sem a presença de carvão e percebeu que quando não utilizava o carvão obtinha um ar com propriedades diferentes do ar fixo, pois era insolúvel em água e sustentava a chama de uma vela, tendo a princípio o confundido com o ar nitroso. Ao retornar para a Inglaterra, de posse de uma amostra mais pura do *mercurius calcinatus*, constatou que o novo ar tinha propriedades distintas

do ar nitroso, pois sustentava com um vigor espetacular a chama de uma vela. Priestley deu a ele o nome de ar desflogisticado, atribuindo-lhe maior “bondade” (propriedade associada à respirabilidade) que ao ar atmosférico, conforme já vimos em seção anterior.

Lavoisier demonstrou surpresa frente aos relatos de Priestley e certamente se arrependeu por não ter buscado investigar melhor o ar produzido no mesmo experimento utilizado para resolver o impasse entre Baumé e Cadet (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MARTINS 2009; MAGALHÃES E COSTA, 1994).

A partir de 1775, Lavoisier realizou seus próprios experimentos com o aquecimento do *mercurius calcinatus* e percebeu a diferença da calcinação com e sem o uso do carvão, conforme segue:

Mercurius calcinatus → mercúrio + ar eminentemente respirável

Mercurius calcinatus + carvão → mercúrio + ar fixo

Lavoisier verificou que o novo ar possuía as mesmas propriedades anteriormente descritas por Priestley, podendo ser diferenciado do ar comum por manter ainda mais viva e mais clara a chama de uma vela. Ele salientou que a calcinação do *mercurius calcinatus* havia produzido um ar que se diferenciava do ar comum presente na atmosfera, dando a ele o nome de “*ar eminentemente respirável*” (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007, MAGALHÃES e COSTA, 1994).

Os novos resultados foram relatados em 26 de Abril de 1775, na famosa Memória de Páscoa:

Todas essas circunstâncias convenceram-me plenamente que esse ar (gerado pelo aquecimento da cal de mercúrio), longe de ser ar fixo, estava em um estado mais respirável, mais combustível e, por conseguinte, que era mais puro que o próprio ar no qual vivemos [...]. Parece provado [...] portanto, que se ele é obtido no estado de ar fixo em todas as reduções metálicas onde se emprega o carvão, é à combinação deste último com a porção pura do ar que é devido esse efeito e é muito possível que, se pudesse reduzir todas as cais metálicas com se reduz o *mercurius calcinatus*, sem adição de carvão, obter-se-ia ar eminentemente respirável (LAVOISIER *apud* SANTIN FILHO, 2013 p. 13).

Ao final de março de 1775, após ter suas conjecturas confirmadas, acreditou que seus experimentos com o *mercurius calcinatus* deixavam claras as diferenças entre o ar fixo e o ar eminentemente respirável. O ar produzido pela redução do *mercurius calcinatus* com carvão se dissolvia em água, precipitava a cal viva, apagava a chama de uma vela e causava a morte de pássaros e camundongos. Era o mesmo ar descrito por Priestley e Black. Já na ausência de carvão, o ar produzido sustenta a chama de uma vela e a respiração de animais, não se dissolve em água e não precipita a cal viva. Era na verdade o mesmo ar investigado por Priestley, o ar desflogisticado (FILGUEIRAS, 2007; BELL, 2007). Tais conclusões foram escritas e encaminhadas em envelope lacrado à Academia de Ciências sem mencionar o nome de outros pesquisadores. Lavoisier anunciou que:

O princípio que se une aos metais durante sua calcinação e que aumenta seu peso e os constitui no estado de óxido metálico não é nenhuma das partes constituintes do ar, nem um ácido particular espalhado pela atmosfera; é o próprio ar, inteiro, sem alterações, sem decomposição (LAVOISIER *apud* BELL, 2007 pg. 100).

O fato é que Lavoisier continuava equivocado em suas conclusões, pois ainda não havia percebido que o novo ar era na realidade uma parte constituinte do ar, mas não sua totalidade. Contudo, em seus escritos também afirmou que o novo ar era mais puro e mais respirável do que o ar atmosférico e sustentava mais intensamente a queima de corpos. O jovem e ambicioso Lavoisier tinha como meta se sobrepor ao máximo a seus colegas, buscando sempre se destacar. Em seus escritos à Academia não citou em nenhum momento o nome de Priestley, que em visita a Paris relatou muitas de suas observações e certamente contribuiu para as novas constatações de Lavoisier. Esta situação deixou Priestley bastante desapontado, tendo reclamado que Lavoisier se apropriou de suas ideias, as quais foram relatadas em sigilo e com confiança durante uma reunião. Após isso, Priestley, em 1775 aponta uma falha para a interpretação de Lavoisier, pois segundo ele os óxidos não absorviam o ar atmosférico no todo, mas em parte (FILGUEIRAS, 2007). Priestley, demonstrando irritação, após a publicação de Lavoisier intitulada como “Sobre a natureza do princípio que se combina com metais durante calcinações e aumenta seu peso”, teceu os seguintes comentários sobre tais escritos:

Depois que deixei Paris, onde obtive o *mercurius calcinatus* supramencionado, e falara dos experimentos realizados, e que pretendia realizar com ele, ele Lavoisier iniciou seus experimentos com a mesma substância, e acabou encontrando o que denominei de ar desflogisticado, mas sem investigar sua natureza, e de fato sem se informar plenamente do grau de sua pureza. E embora afirme que parece mais adequada a respiração do que o ar comum, ele não diz que realizou algum teste para verificar quanto tempo um animal conseguiria viver nele. Ele, portanto, inferiu como eu disse ter feito certa vez, que esta substância havia, durante o processo de calcinação, absorvido ar atmosférico, não em parte, mas no todo. Porém ele estende sua conclusão e, ao que me parece, sem nenhum indício, a todos os óxidos metálicos; dizendo que, provavelmente, todos eles produziram apenas ar comum, se, como o *mercurius calcinatus*, pudessem ser reduzidos sem acréscimo (PRIESTLEY *apud* BELL, 2007 p. 101).

Mesmo tendo de certa forma descartado o trabalho de Priestley e criticado suas conclusões, Lavoisier reconheceu de forma um tanto quanto irônica a importância de seus estudos, contudo reforçou que, ainda que os experimentos não tenham sido inicialmente ideias dele, reivindicava fortemente o mérito pelas interpretações totalmente opostas a que chegou Priestley. De acordo com Lavoisier:

Uma parte dos experimentos contidos nesta dissertação não pertence propriamente a mim; talvez, para ser exato, existam até alguns dos quais o Sr. Priestley possa reivindicar a ideia inicial; mas, à medida que os mesmos fatos nos levaram a conclusões diametralmente opostas, espero que, se alguém me acusar de ter me apropriado dos trabalhos desse físico célebre, pelo menos ninguém me conteste o direito às conclusões (LAVOISIER *apud* BELL, 2007 pg. 102).

Lavoisier enfrentou por mais de três anos a dificuldade em diferenciar o ar em discussão do ar atmosférico, contudo no decorrer de seus estudos conseguiu mostrar que durante o processo de respiração o “ar eminentemente respirável” era substituído aos poucos por ar fixo. Outro aspecto a ser destacado no ano de 1776 é que, ao analisar de forma mais detalhada a reação de calcinação do mercúrio sem o carvão, constatou a existência de um ar residual após a absorção do oxigênio pelo óxido metálico, tendo inicialmente o denominado de *mofette*. Lavoisier também foi capaz de relacionar o peso perdido pelo ar ao peso ganho pelo óxido metálico. No caso da reação inversa, pode concluir também que o ar liberado durante a queima do óxido metálico era igual à perda de peso do óxido metálico. Ao final, combinou o ar eminentemente respirável ao *mofette*

e percebeu que o ar atmosférico havia sido reproduzido, relatando ter sido esta a prova mais completa que conseguiu chegar, ou seja, a decomposição e recomposição do ar. Além disso, também conseguiu demonstrar que o ar eminentemente respirável estava presente como componente no ácido carbônico, ácido vitriólico, ácido oxálico, dentre outros (BELL, 2007; MAGALHÃES e COSTA, 1994).

É importante lembrar que, por volta de 1772, ou até antes, Carl Scheele, aquecendo fortemente a cal de manganês, já havia percebido a liberação de um ar, denominado por ele de “*Ar de fogo*”. Em outros experimentos notou o desprendimento do mesmo ar ao aquecer amostras de óxido de manganês e carbonato de prata (nomenclatura atual). Constatou algumas características importantes neste ar, as quais o diferiam dos outros gases, tais como: a brasa ardia até ser totalmente consumida e o carvão na forma de pó se inflamava naturalmente (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Antes de Priestley e de Lavoisier, Scheele já havia isolado o ar comum aos trabalhos dos três, por meio da redução do *mercurius calcinatus*. Embora conhecesse as propriedades do novo ar, buscou explicações para ele com base na teoria do flogístico. Os trabalhos de Scheele já eram em parte conhecidos por Lavoisier, apesar da distância e de dominarem idiomas diferentes (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAGALHÃES e COSTA, 1994).

Ao enviar carta dos *Opuscules* à Academia em abril de 1774, Lavoisier enviou também uma cópia para Scheele, cumprimentando o sueco. Em 30 de setembro de 1774, Scheele respondeu a carta a Lavoisier, relatando toda sua pesquisa. Apesar de sua dificuldade com a língua francesa, conseguiu escrever de forma bastante clara suas ideias, fornecendo a Lavoisier um ótimo procedimento para se isolar o ar de fogo. Scheele pede para que Lavoisier utilize suas lentes ardentes para realizar o experimento e obter o gás (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAGALHÃES e COSTA, 1994).

Na carta, Scheele propunha que Lavoisier fizesse a decomposição do carbonato de prata utilizando o calor obtido pelas lentes. Atualmente, sabe-se que tal reação produz prata, gás carbônico e oxigênio. Ao passar a mistura de gases por uma solução de cal, retira-se o gás carbônico restando apenas o oxigênio. Scheele pede à Lavoisier que o comunique sobre os resultados, alertando que uma grande quantidade de ar é produzida, no qual a chama de uma vela é sustentada e animais podem viver nele, porém a carta

jamais foi respondida. Historiadores afirmam que não existe nenhuma evidência de que Lavoisier tenha realizado o experimento descrito por Scheele, mas de qualquer forma, tais revelações foram importantes para clarear as ideias de Lavoisier a respeito das propriedades do oxigênio e do gás carbônico. Até hoje Lavoisier recebe críticas por não ter feito menção ao importante pesquisador Scheele em seus trabalhos (FILGUEIRAS 2007; BELL, 2007).

O filósofo da Ciência Thomas Kuhn (2011), argumenta que se Scheele e Priestley não tivessem isolado antes o “novo ar” Lavoisier teria que tê-lo inventado. Até mesmo o próprio Lavoisier relata que uma parte dos experimentos contidos na sua dissertação não pertencia a ele, mas que pelo menos as conclusões opostas a que ele havia chegado a ele pertenciam. Lavoisier discorre que poderia até ser acusado de ter utilizado provas de trabalhos de Priestley em sua pesquisa, mas que ninguém poderia contestar suas novas conclusões sobre a mesma substância (BELL, 2007). Embora Lavoisier não tenha sido o primeiro a produzir o atual oxigênio, foi o único capaz de propor um novo papel desta substância nas reações químicas naquele período, derrubando algumas concepções flogistonistas na França e fornecendo subsídios para o estabelecimento da Química moderna (FILGUEIRAS, 2007).

A partir de 1777, Lavoisier já tinha certeza de que a teoria do flogístico estava condenada a ruir e fez questão de mostrar para a comunidade científica que suas explicações faziam com que seus alicerces fossem afetados. Isto porque era capaz de descrever qualitativamente e quantitativamente os fenômenos da combustão por meio de medidas das quantidades dos materiais envolvidos no início e no final das reações. Para tanto, repetiu várias vezes seus experimentos de forma rigorosa com o intuito de desvendar suas suspeitas em relação ao ar. Dentre eles destaca-se a calcinação do mercúrio e a redução de sua cal. Tinha o cuidado de medir constantemente a quantidade de materiais que participavam da reação (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

De acordo com Magalhães e Costa (1994), nesta mesma época, após reunir informações consistentes, Lavoisier enunciou em uma de suas memórias intitulada como *Sur la Combustion en Général*, quatro princípios básicos relacionados a combustão:

1. Durante a combustão ocorre liberação de matéria na forma de luz ou de fogo;

2. Só existe a possibilidade de um corpo arder se estiver na presença de uma quantidade mínima de ar, sendo que a combustão só acontece na presença de ar puro.
3. Durante a combustão ocorre a destruição de uma parte do ar puro, sendo que o corpo que arde aumenta seu peso de forma proporcional a quantidade de ar puro destruído;
4. Em toda combustão, os corpos se transformam em ácidos, devido a adição da substância que aumentou o seu peso;

Em seus escritos Lavoisier considera a calcinação dos metais como uma combustão. Neste caso, ao invés de se obter um ácido como produto da reação, se obteria uma cal metálica. De acordo com ele, o fluido era o resultado da combinação de um corpo com a matéria do fogo ou da luz. Nesta ótica, o ar vital seria uma combinação entre um princípio com a matéria do fogo, a qual se escapava na forma de luz e calor (MAGALHÃES e COSTA, 1994). Posteriormente Lavoisier nomeou-o de *principe oxygine*, acreditando que tal princípio se fazia presente em todos os ácidos.

Em 5 de setembro de 1777 ele apresenta à Academia uma nota na qual afirma que,

De agora em diante designarei o ar desflogisticado ou ar eminentemente respirável, no estado de combinação ou fixidez, pelo nome de princípio acidificante ou, se se prefere o mesmo significado, com um nome grego pelo de *principe oxygine* (LAVOISIER *apud* BELL, 2007, pg. 103).

Os processos de combustão e calcinação são acompanhados de luz e calor. Conforme explica Lavoisier, nestas reações há emissão de matéria de luz e calor. Então ele considerava que o ar “eminentemente respirável” era constituído dessas entidades mais simples.

Ar vital = principe oxygine + luz + calor

Durante o processo de calcinação, o metal absorve o “ar vital” presente na atmosfera. Tal ar se fixa no metal e forma-se a cal do metal. Ao ser submetida ao aquecimento e na presença de carvão, a cal do metal se regenera no metal. O carvão se combina com o oxigênio antes presente na cal, formando o ar fixo de Black (SANTIN FILHO, 2013).

Metal + ar vital → cal do metal + luz + calor

Cal do metal + carvão → metal + ar fixo

A partir de 1777, Lavoisier já possuía ferramentas o suficiente para refutar a teoria do flogístico e buscou mostrar para toda a comunidade científica que a mesma apresentava inconsistências e ambiguidades em seus fundamentos e que, por isso, apresentava um círculo vicioso, pois segundo ela “ora os corpos combustíveis ardem porque tem flogístico e ora têm flogístico porque ardem”. Ele destaca que a existência do flogístico seria apenas uma hipótese, que ao ser admitida, conseguia explicar alguns fenômenos da calcinação e da combustão. Contudo, argumenta que poderia explicar os fenômenos da combustão de uma maneira totalmente natural, sem supor a existência de flogístico nos materiais combustíveis. Suas ideias foram apresentadas em três memórias, inicialmente lidas pela academia e publicadas entre 1777 e 1785 (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

As considerações de Lavoisier, por se apoiarem em experimentos rigorosos, foram ganhando adeptos e com o passar do tempo sua nova visão foi sendo aceita. Alguns estudiosos resistiram e não aderiram às novas conclusões de Lavoisier, um exemplo seria Priestley, que continuou defendendo as ideologias de Stahl até a sua morte (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Em relação à síntese da água realizada por Lavoisier, conforme mencionado anteriormente, Priestley já havia percebido que a mistura entre o “*ar inflamável*” e o “*ar desflogisticado*” resultava na formação de água. Cavendish, em 1775, verificou que ao misturar dois volumes de “*ar inflamável*” com um volume de “*ar desflogisticado*” na presença de uma faísca produzida em recipiente fechado havia a produção de água. Contudo, algumas vezes ocorria também a formação de uma pequena quantidade de ácido nítrico. Hoje sabemos que isto ocorria porque seus ares não eram totalmente puros. Tais fatos, atrasaram a comunicação dos resultados de Cavendish a Sociedade Real Britânica até 1784 (FILGUEIRAS, 2007).

Em 1783, Lavoisier, em contato com Charles Blagden (1748-1820), colaborador de Cavendish, teve acesso aos resultados do pesquisador inglês sobre a água. Em junho do mesmo ano, Lavoisier na presença de muitos acadêmicos realizou a síntese da água a

partir de ar inflamável e ar vital puros. O equipamento sofisticado utilizado por Lavoisier existe até hoje no museu de Artes e Ofícios de Paris. O líquido obtido foi testado de inúmeras formas, dentre elas, não avermelhou a tintura de tornassol e não tornou verde o xarope de violetas, também não turvou a água de cal e por isso não tinha características ácidas. Foi testado com outras variedades de reagentes e não demonstrou ser outra substância que não fosse a água. Por não conseguir medir as quantidades de cada ar, o resultado do experimento foi somente qualitativo (FILGUEIRAS, 2007).

Apesar de ainda não ter conseguido determinar a presença da água de forma quantitativa, Lavoisier revelou a Academia que a água não poderia ser considerada uma substância simples, sendo composta por “*ar inflamável*” e “*ar vital*”. Afirmou, mesmo sem qualquer prova, que o peso da água era a soma dos pesos dos dois ares que a formava. Em 27 de fevereiro de 1785 no Arsenal, Lavoisier realizou um experimento a partir da decomposição e recomposição da água pura medida com precisão a partir do procedimento que consistia em passar certa quantidade de água, gota a gota, dentro de um funil de ferro aquecido. A água se decompunha, sendo que o ar vital enferrujava o ferro, restava ar inflamável saturado de vapor de água. Ao passar por uma serpentina de gelo o vapor de água se condensava e o ar inflamável seguia pela tubulação até chegar a uma cuba com água. Inversamente, o ar inflamável obtido era utilizado para fazer a síntese da água com o ar vital. De acordo com Lavoisier a água continha um total de 100 libras, sendo 15 libras de ar inflamável e 85 de ar vital (FILGUEIRAS, 2007, STRATHERN, 2002).

Em uma visão moderna, a relação de massa de hidrogênio para oxigênio seria 2 para 16, ou 1 para 8. A obtida por Lavoisier seria 1 para 5,7. Contudo, o resultado naquela época foi surpreendentemente realista, demonstrando finalmente que a água poderia ser decomposta em ar vital e ar inflamável e, posteriormente recombinados resultando na mesma água. Esta conclusão foi um marco importante, pois foi capaz de trazer novos adeptos a teoria de Lavoisier (FILGUEIRAS, 2007).

Lavoisier também desenvolveu pesquisas sobre a respiração animal e constatou que este processo consumia o ar eminentemente respirável e que o restante do ar, entrava e saía dos pulmões sem nenhuma alteração. Além disso constatou que, durante a respiração, o ar eminentemente respirável era transformado em ar fixo, ou seja, um era substituído pelo outro. Contudo, destacava que a primeira opção era a mais provável.

Comparou o processo de respiração à queima de carvão (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Posteriormente, após inúmeras investigações voltadas para os processos de combustão e respiração, com o apoio de Armand Seguin em 1789, foi capaz de estabelecer algumas afirmações sobre tais processos. Segundo Lavoisier, a respiração seria uma forma de combustão, isto porque em ambos os casos havia consumo de uma parte do ar do recipiente e a produção de ar fixo com liberação de calor. Tais conclusões foram publicadas na Academia (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

Em 1789, Lavoisier e seus colaboradores publicaram uma obra intitulada “*Traité Élémentaire de Chimie*”, na qual divulga a construção das novas ideias que havia concluído até o momento e dá seguimento ao seu programa de pesquisas. Esta divulgação se constituiu em um manual importante para a propagação da nova Química (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; MAGALHÃES e COSTA, 1994).

A partir de 1787, Lavoisier reconheceu que era necessária uma profunda reformulação na Nomenclatura Química, que ainda apresentava uma linguagem empobrecida que desfavorecia seu ensino e sua aprendizagem. Formou uma equipe com outros três pesquisadores franceses - Guyton de Morveau, Berthollet e Fourcroy para um aperfeiçoamento da linguagem química por meio de uma reforma. Lavoisier tinha como objetivo, eliminar os obstáculos que impediam o desenvolvimento desta Ciência e facilitar sua leitura (BELL, 2007). O trabalho destes estudiosos foi publicado em 1787 com o título *Método de Nomenclatura Química*. Lavoisier salienta a necessidade de:

Uma linguagem bem feita, uma linguagem em que tenhamos nos apossado da ordem natural e sucessiva das ideias, traz consigo uma revolução rápida e necessária na forma de ensinar; ela não permite que aqueles que professam a química se extraviem da marcha da natureza; eles devem rejeitar a nomenclatura ou seguir irresistivelmente o caminho que se traçou (LAVOISIER *apud* BELL, 2007 pag. 126).

É importante lembrar que em seus escritos, Lavoisier afirma não conhecer toda a extensão da química, mas destaca a importância em se desenvolver um método de nomear que possa futuramente sofrer adaptações de acordo com novas conclusões e nome de novas substâncias. A partir de então, com o auxílio da nova nomenclatura e com o

princípio da conservação da matéria, seria possível fazer análises químicas em termos algébricos. Sendo que, após a aceitação desta nova nomenclatura, as pessoas adeptas a ela, teriam que rejeitar a teoria flogistonista e seguirem a nova teoria (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007)

Apesar de a nova nomenclatura ter sido inicialmente criticada por quase toda a Europa e também Estados Unidos, aos poucos foi criando força e sendo traduzida para outras línguas, dentre elas, o inglês, o espanhol e o italiano. No Brasil a nova nomenclatura ficou conhecida a partir da obra *Dissertação sobre a fermentação*, publicada em 1787, do químico brasileiro, estudante da Universidade de Coimbra Vicente de Coelho de Seabra Silva Telles. Posteriormente, ele adaptou o novo método à língua portuguesa com o título *Elementos de Química* (FILGUEIRAS, 2007).

Feita essa abordagem histórica, passemos ao desenvolvimento da pesquisa.

4. PERCURSO METODOLÓGICO

Essa pesquisa tem caráter qualitativo. Para Creswell (2007), a pesquisa qualitativa é fundamentalmente interpretativa. Isso significa que o pesquisador interpreta os dados coletados. Desse modo, “... o objetivo principal do investigador qualitativo é o de construir conhecimento” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p.67) e não só dar opiniões sobre determinado contexto. Assim, o interesse estará centrado em analisar as possíveis mudanças nas concepções dos alunos após estudos sobre os episódios da combustão, tendo como base uma abordagem histórica da ciência, avaliando as potencialidades didáticas dessa abordagem.

O levantamento qualitativo da pesquisa favorece a investigação e a coleta de dados em que o pesquisador se interessa mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos, contribuindo, assim, para uma análise mais ampla da pesquisa. (BOGDAN e BIKLEN, 1994). Desse modo, o interesse da investigação está centrado em compreender a experiência do ser humano.

Lüdke e André (1986) ressaltam a influência do ambiente sobre as pessoas de um determinado grupo. O contexto no qual elas realizam suas ações e desenvolvem seus modos de vida tem um valor essencial para alcançar das pessoas uma compreensão mais clara de suas atividades. O meio imprime aos sujeitos traços peculiares, que são desvendados à luz do entendimento dos significados estabelecidos. Por isso, as tentativas de compreender a conduta humana isoladamente do contexto na qual se manifesta criam situações artificiais que falsificam a realidade e levam a interpretações equivocadas (TRIVIÑOS, 2008).

Tal abordagem procura averiguar se a aplicação do experimento da vela, quando desenvolvido dentro de uma abordagem histórica e epistemológica nas aulas de Química, contribui para a superação da visão simplista e ingênua da ciência que os acadêmicos do primeiro ano do curso de Licenciatura em Química apresentam ao ingressar na universidade.

Suas concepções serão inicialmente investigadas por meio de um questionário inicial e a partir de suas produções escritas durante a execução do experimento da vela em

seu modo clássico. Serão também analisadas as produções de um questionário final, com questões voltadas para as teorias da combustão estudadas e também questões de cunho epistemológico.

Como ferramenta de análise dos textos, optamos pela Análise Textual Discursiva, seguindo as orientações de Moraes e Galiazzi (2007). As características principais de tal metodologia de análise de dados serão apresentadas na sequência.

4.1 Pressupostos da Análise Textual Discursiva

A concretização da Análise Textual discursiva (ATD) se dá por meio de um conjunto de documentos denominado *corpus*, que são os textos que se pretende examinar. Esta análise de cunho qualitativo tem como objetivo interpretar tais textos e vem sendo amplamente utilizada em trabalhos voltados para o Ensino de Ciências. Vale ressaltar que durante uma interpretação textual, surgem diferentes tipos de leitura, resultando em diferentes sentidos. Por isso, essa metodologia de análise pode ser considerada como uma construção que busca novas formas de se entender o que se estuda (MORAES, 2013). Neste aspecto,

O corpus da análise textual, sua matéria prima, é constituído essencialmente de produções textuais. Os textos são entendidos como produções linguísticas, referentes a determinado fenômeno e originadas em um determinado texto e contexto. São vistos como produções que expressam discursos sobre diferentes fenômenos e que podem ser lidos, descritos e interpretados, correspondendo a uma multiplicidade de sentidos que a partir deles podem ser construídos. Os documentos textuais da análise constituem significantes a partir dos quais são construídos significados relativos aos fenômenos investigados (MORAES; GALIAZZI, 2013, p. 16).

De acordo com Moraes e Galiazzi (2007) essa técnica de análise de dados tem como ponto central interpretar textos. Este procedimento é estruturado por três elementos básicos que, por meio de uma auto-organização, tornam possível se chegar a novas compreensões; são eles:

1) Processo de desconstrução/desmontagem dos textos: É também conhecido como processo de unitarização do *corpus*, por meio de sua desorganização. Isto implica na fragmentação a partir de leituras, em busca de questões relacionadas ao fenômeno estudado, com a pretensão de se avaliar os materiais disponíveis com riqueza de detalhes. O processo de desmontagem dos textos deve favorecer a compreensão dos seus elementos constituintes, ou seja, a percepção dos sentidos dos textos em diferentes níveis. Esta ferramenta possibilita chegar às unidades de análise ou unidades de significação, que posteriormente dão origem as diferentes categorias de análises, as quais devem estar de acordo com o propósito da pesquisa. O processo de fragmentação é decidido pelo próprio pesquisador e por isso necessita de um intenso envolvimento deste com os materiais disponíveis, para que se possam surgir novas compreensões em relação aos fenômenos investigados. De acordo com Moraes e Galiazzi,

A impregnação persistente nas informações dos documentos do “corpus” para um processo de desorganização e desconstrução, antes que se possa atingir novas compreensões. É preciso desestabilizar a ordem estabelecida, desorganizando o conhecimento existente. Tendo como referência as ideias dos sistemas complexos, esse processo consiste em levar o sistema semântico ao limite do caos. A unitarização é um processo que produz desordem a partir de um conjunto de textos ordenados. Torna caótico o que era ordenado. Nesse espaço uma nova ordem pode constituir-se à custa da desordem. O estabelecimento de novas relações entre os elementos unitários de base possibilita a construção de uma nova ordem, representando novas compreensões em relação aos fenômenos investigados (MORAES E GALIAZZI, 2013, p. 21).

2) Processo de Categorização: Esta segunda etapa do processo estabelece relações entre as diferentes unidades definidas no início da análise. As categorias devem estar de acordo com os objetivos e objeto da pesquisa. Através de um processo de comparação, combinação e classificação as unidades com significações semelhantes são agrupadas em uma categoria de modo descritivo, dando origem ao *metatexto*, resultado da nova combinação entre os elementos decorrentes da análise. Deste modo, para que o processo de categorização seja possível, o pesquisador deve ter um profundo conhecimento das informações, eliminando seus excessos para que possa obter uma síntese ordenada dos fenômenos estudados. Contudo, é necessário não apenas um exercício de síntese, mas também de profunda inspiração e intuição. De acordo com Moraes,

A categorização é um processo de comparação constante entre as unidades definidas no processo inicial da análise, levando a agrupamentos de elementos semelhantes. Os conjuntos de elementos de significação próximos constituem as *categorias*. A categorização, além de reunir elementos semelhantes, também implica nomear e definir as categorias, cada vez com maior precisão, na medida em que vão sendo construídas. Essa explicitação das categorias se dá por meio do retorno cíclico aos mesmos elementos, no sentido da construção gradativa do significado de cada categoria. Nesse processo, as categorias vão sendo aperfeiçoadas e delimitadas cada vez com maior rigor e precisão (MORAES, 2003, p. 7).

3) Novas compreensões atingidas pela teorização dos fenômenos estudados: Decorre de um movimento de reconstrução, dando origem ao *metatexto*, que pode ser constituído de forma diversificada com ênfase na descrição ou interpretação, selecionados a partir de um conjunto de textos. O *metatexto* não deve simplesmente trazer algo já exposto no texto, mas deve ser fruto de construções críticas do pesquisador com total envolvimento. No caso da descrição, os textos se mantêm mais próximos do *corpus* original, devido a uma leitura mais imediata, sem maiores esforços para interpretações aprofundadas. Já a interpretação se afasta um pouco mais do material original, isto porque deriva de novas abstrações e compreensões aprofundadas do pesquisador em relação ao fenômeno estudado, não fazendo uso de forma explícita de referências teóricas.

Diferentes tipos de textos podem ser produzidos por meio dessa metodologia, com ênfases diversificadas em descrição e interpretação e tendo como ponto de partida diversificados objetivos de análise. Alguns textos serão mais descritivos, mantendo-se mais próximos do *corpus* original. Já outros serão mais interpretativos, pretendendo um afastamento maior do material original num sentido de abstração e teorização mais aprofundado (MORAES, 2003, p. 12).

A ATD propõe uma participação crítica e fundamentada na análise do *corpus*, expressando relações complexas entre os elementos, resultando em produções de melhor qualidade por meio de reformulações. Neste sentido, espera-se que o pesquisador atinja um nível maior de interpretação, não se restringindo a descrições superficiais dos

resultados das análises. Buscando construir novos caminhos, deve estabelecer pontes entre os dados empíricos do seu trabalho e suas referências teóricas de base, aprimorando seu campo teórico e construindo seus próprios argumentos. Além disso, a ATD na maioria das vezes se apresenta como processos indutivos e emergências resultando sempre em um novo entendimento (MORAES e GALIAZZI, 2007).

Nesta sequência, tal abordagem de análise pode ser considerada como um processo de auto-organização de produções resultantes de novas compreensões sobre o fenômeno em questão, podendo ser caracterizada como um ciclo de operações, partindo inicialmente da unitarização dos materiais que fazem parte do *corpus*, seguido do processo de categorização de tais unidades. Posteriormente, a partir de novas compreensões e significações, novos caminhos florescem dando origem aos metatextos, terceiro ciclo desta metodologia de análise. Nesta perspectiva, a partir do caos e da desordem se estabelece novas ordens resultantes de novas constatações no decorrer do processo (MORAES e GALIAZZI, 2013).

4.2 Procedimentos de Coleta de Dados

A pesquisa foi desenvolvida na 1ª série do Curso de Química Licenciatura da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, *campus* de Campo Mourão. Para tanto obtivemos autorização do responsável pela Instituição e do docente da disciplina pertinente (ANEXO 1). Este trabalho foi submetido e aprovado pelo COPEP (Comitê de Ética em Pesquisa) (ANEXO 2).

A escolha desta Universidade foi motivada por diversos fatores. Em primeiro lugar por estar localizada na cidade em que reside a pesquisadora. Somado a isto, por ser o único curso de Química da região da Comunidade dos Municípios da Região de Campo Mourão (COMCAM) que engloba ao todo 25 municípios. O sistema de ingresso é pelo ENEM, o que supostamente dá mais autonomia e postura crítica e social aos ingressantes.

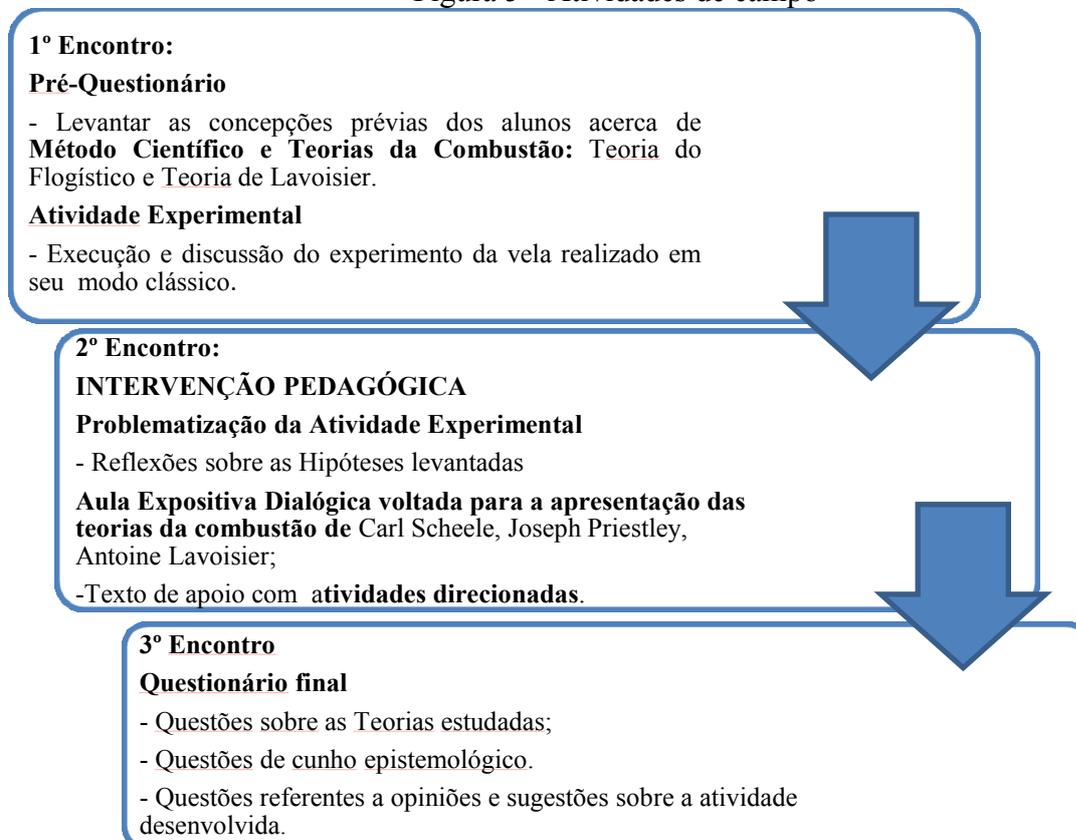
O curso de licenciatura em Química desta Universidade teve início em fevereiro de 2011, tendo a primeira turma se formado oficialmente em fevereiro de 2015 devido a

um período de greve. O curso possui um alunado total do primeiro ao quarto ano de cento e dez acadêmicos, residentes em sua maioria em pequenas cidades que fazem parte da região supracitada.

Participaram da pesquisa vinte e seis alunos do 1º ano do curso de Química da UTFPR. A identidade de cada aluno foi preservada, sendo seus nomes substituídos por códigos de E1 até E26. Os acadêmicos foram devidamente informados por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO 3), o qual foi lido pela pesquisadora na presença dos mesmos e posteriormente assinado por eles. A escolha pela turma de 1º ano do curso de Química se deu pelo fato de serem alunos ingressantes no curso, e também porque o Experimento da Vela, abordado nessa pesquisa pelo modo clássico, vem sendo realizado também no 1º ano do curso de Química em pelo menos uma Universidade Pública do Estado do Paraná, com o intuito de se ensinar um suposto “Método Científico”.

A pesquisa de campo foi desenvolvida em três encontros, sendo que cada encontro teve duração de quatro aulas, somando um total de 12 aulas (Figura 5).

Figura 5 - Atividades de campo



Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

4.2.1 Primeiro encontro: Aplicação de um questionário inicial e Atividade Experimental

Inicialmente os alunos foram convidados a responder um questionário com questões que invocavam suas concepções prévias sobre método científico e seus conhecimentos sobre teorias da combustão (APENDICE 1). Todos os vinte e seis alunos participantes da pesquisa responderam o questionário. Seguem as perguntas referentes ao questionário inicial:

1. Você já ouviu falar em *método científico*? Descreva como seria esse método.
2. Você conhece alguma teoria da combustão? Procure explicá-la.
3. Você já ouviu falar da Teoria do Flogístico? E da Teoria de Lavoisier? Se ouviu, descreva-as.

Em seguida os mesmos alunos foram convidados a executar o Experimento da Vela em seu modo clássico, segundo um roteiro experimental de laboratório adotado na disciplina de Química Geral, da 1ª série dos cursos de licenciatura e bacharelado em Química da Universidade Estadual de Maringá (APENDICE 2). O roteiro pede que os alunos elaborem hipóteses sobre os fenômenos observados durante a queima de uma vela em ambiente aberto e fechado.

4.2.2 Segundo encontro: Problematização da Atividade Experimental realizada e intervenção pedagógica da pesquisadora com estudos sobre os episódios da combustão

A pesquisadora iniciou o segundo encontro com uma exposição, via projetor multimídia, das hipóteses levantadas por alguns alunos sobre o processo de combustão, seguida de debates. Participaram desta etapa da pesquisa dezoito alunos.

Logo após, houve apresentação, por parte da pesquisadora e por meio de aula expositiva dialógica, das teorias de combustão de Scheele, Priestley e Lavoisier, seguida de uma breve análise de quatro livros didáticos de Química do Ensino Médio, quanto aos aspectos históricos relacionados à História da Química por eles trazidos.

Os alunos foram convidados a refletir se aprenderam algum conhecimento novo após realizarem observações seguindo as etapas sugeridas no roteiro. Participaram desta etapa da pesquisa dezesseis alunos. Após debates e conclusões, levantou-se o seguinte questionamento: Será que existe uma forma mais interessante e produtiva de lidar com o experimento da vela com base na História da Ciência?

Visando a participação ativa dos alunos no decorrer da intervenção, foi entregue um texto de apoio versando sobre as referidas teorias, contendo questões orientadoras de leitura, as quais foram respondidas com apoio da pesquisadora no decorrer da atividade (APENDICE 3). O objetivo foi explicar o experimento com base nas três teorias investigadas, discutindo suas semelhanças, diferenças e seu potencial explicativo para o fenômeno da combustão, bem como a prevalência de uma delas. Todos esses aspectos foram discutidos com os alunos, que contribuíram de forma bastante positiva para o bom andamento da atividade.

4.2.3 Terceiro Encontro: Questionário Final com base nas teorias estudadas

Por fim, no terceiro encontro, os alunos foram convidados a responder, de forma individual e sem consulta, um questionário final referente às teorias estudadas (APENDICE 4). Além disso, foram também perguntados sobre o que haviam achado da proposta didática desenvolvida no decorrer dos encontros e se tinham alguma proposta para melhorá-la. Participaram desta etapa da pesquisa quinze alunos.

Este questionário contém nove questões, das quais, por questões de tempo, foi solicitado que não respondessem às questões dois e três. Das questões que foram respondidas, a questão 1 e a questão 4 se referem ao uso das teorias estudadas na explicação da combustão da vela em diferentes situações. As questões 5 até 9 tiveram por

finalidade verificar se os alunos apresentavam, após a intervenção, indícios de compreensão de algum aspecto do funcionamento da Ciência, no que diz respeito à construção de teorias.

Elencamos abaixo as questões que os alunos responderam nesse último encontro.

1. Explique por que uma vela que queima em ambiente aberto e sem vento **não apaga**, usando as três teorias estudadas.
4. Por que a vela se apaga depois de um tempo em ambiente *fechado*, segundo cada teoria estudada? Explique cada caso.
5. Na sua opinião, as três teorias conseguem explicar satisfatoriamente *a queima e o apagamento* da vela em ambiente *fechado*? Explique cada caso.
6. Se sua resposta à questão anterior foi SIM, por que razão as três teorias não são apresentadas hoje? Alguma delas prevaleceu sobre as demais? Qual?
7. Analisando os livros didáticos de química, você acredita que apresentam uma abordagem histórica sobre os episódios da combustão desde a Teoria do Flogístico até a teoria moderna de Lavoisier? Como tais fatos são retratados?
8. As novas conclusões de Lavoisier acerca do oxigênio se deram de forma isolada ou ele se baseou em estudos anteriores? Explique.
9. O *oxygene* de Lavoisier é o mesmo oxigênio de hoje? Quais suas semelhanças e diferenças?

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme já apontamos, o trabalho foi desenvolvido durante três encontros. Pretendemos apresentar e analisar o *corpus* da forma mais fiel possível às ideias, concepções e informações apresentadas pelos acadêmicos. Para tanto, buscamos palavras, trechos ou frases com unidades de significado, retirados dos questionários, relatórios e textos de apoio, com algumas correções de ortografia e gramática.

A análise dos dados foi dividida em cinco etapas. Isso permitiu estabelecer correlações a partir das respostas dos alunos aos relatórios e aos dois questionários. O quadro 1 apresenta as etapas na sequência.

Quadro 1 – Etapas da Análise de dados.

ETAPA 1 - Primeira Categoria	Contém a análise da primeira pergunta do questionário inicial.
ETAPA 2 – Segunda e Terceira Categoria	Aborda a análise da segunda questão do questionário inicial e das hipóteses levantadas a partir da realização da atividade experimental em seu modo clássico.
ETAPA 3	Análise voltada à problematização da atividade experimental e ao potencial didático do texto de apoio.
ETAPA 4 – Quarta e Quinta Categoria	Análise efetuada a partir das respostas da terceira questão do questionário inicial articuladas as questões 1 e 4 do questionário final.
ETAPA 5 – Sexta Categoria	Análise das questões de 5 a 9 do questionário final

Fonte: Pesquisa de campo 2015.

Relembramos aqui as questões respondidas pelos alunos no primeiro questionário:

1. Você já ouviu falar em *método científico*? Descreva como seria esse método.
2. Você conhece alguma teoria da combustão? Procure explicá-la.

3. Você já ouviu falar da Teoria do Flogístico? E da Teoria de Lavoisier? Se ouviu, descreva-as.

A primeira questão visava investigar as concepções dos acadêmicos no que diz respeito ao conceito de “método científico” e analisar se apresentavam seus pensamentos alicerçados em ideias indutivistas, ou seja, se apresentavam uma concepção tradicional de Ciência, destacando-a como conhecedora da “verdade” do mundo, capaz de desvendar os fenômenos da natureza por meio de uma metodologia sistemática, neutra e rigorosa.

A segunda e a terceira questão visavam investigar quais conhecimentos os alunos tinham sobre o fenômeno da combustão e também sobre as diferentes teorias de combustão (Teoria do Flogístico e Teoria de Lavoisier). Posteriormente tais teorias seriam abordadas em sala de aula, por meio da exposição e debate com a pesquisadora, apoiados por um texto histórico.

Vejamos as respostas dos alunos para essas perguntas.

5.2 Etapa 1: Análise da primeira pergunta do questionário inicial

5.1.1 Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico

A primeira questão do questionário aplicado aos alunos antes das atividades perguntava se eles conheciam e seriam capazes de descrever um *método* científico: “Você já ouviu falar em *método* científico? Descreva como seria esse método”.

As respostas dadas geraram algumas reflexões, que apontamos abaixo.

Os discursos revelam que muitos alunos relacionam o método científico principalmente à observação. Além disso, alguns destacam que o método científico possui alguns procedimentos, etapas e passos sistemáticos, pré-determinados que, ao final, levam à produção do conhecimento científico, ou seja, à elaboração de teorias. Outros destacam que no decorrer do método são levantadas hipóteses, as quais são testadas para a comprovação e posterior estabelecimento das teorias. Deste modo, relacionam a elaboração de teorias a procedimentos rigorosos de observações e testes. Tais

constatações não nos causaram surpresa, pois não é novidade que professores e alunos ainda apresentem concepções simplistas, cunhadas no método empirista, no qual por meio da observação, chega-se as teorias que explicam determinado fenômeno (MORTIMER, 2006; CACHAPUZ, 2011; SILVA e ZANON, 2000; GALIAZZI e GONÇALVES, 2004).

Vejamos alguns trechos de respostas dos alunos:

Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico
<i>“É uma observação, sistemática, controlada, fatos verificáveis, o método começa pela observação”. E1</i>
<i>“O primeiro passo é a observação, posteriormente formula-se uma hipótese, testa-se esta hipótese e chega-se à conclusão”. E2</i>
<i>“O método científico é uma mistura de técnicas de se observar e testar algo”. E3</i>
<i>“Encontrar soluções para determinados problemas através de observações no processo de laboratório”. E4</i>
<i>“É a elaboração de uma teoria[...]”. E11</i>
<i>“Acredito que seja uma forma de buscar conhecimento [...]”. E13</i>
<i>“É uma estratégia de estudo pela qual se visa pesquisar determinado fenômeno ou comprovar uma teoria”. E14</i>

Estes fragmentos apontam que, em alguma medida, as respostas seguem uma mesma tendência, pautada na observação, elaboração de hipóteses e conclusões. Assim, evidenciam que os acadêmicos acreditam na ideia de que o conhecimento começa com a observação. Neste sentido, o aluno E2 destaca ser a observação o primeiro passo do método científico e que posteriormente se levanta uma hipótese, a qual é submetida a testes para comprovar sua veracidade; se tudo ocorrer dentro do esperado, chega-se às conclusões finais.

Os alunos apresentam um pensamento empírico-indutivista facilmente perceptível. Acreditam que ao chegar ao resultado final, constroem-se leis universais “verdadeiras” e definitivas. Esta concepção pode ser evidenciada a partir das respostas dos alunos E11, E13 e E14, os quais destacam que a partir de um método científico é possível encontrar soluções, comprovar e/ou elaborar teorias e por fim chegar a generalização e divulgação

dos resultados. No entendimento desses alunos, a partir de um método científico baseado exclusivamente em experimentos, as teorias surgem de forma linear, objetiva e espontânea, sem qualquer relação com os aspectos sociais. Além disso, demonstram acreditar que tal método é uma forma segura de aprovar ou desaprovar uma teoria.

A análise permitiu perceber que os alunos participantes da pesquisa, apresentam suas concepções prévias sobre o conceito de método científico, encharcadas nas ideias de Francis Bacon, revelando uma visão empírico-indutivista de ciência.

Percebe-se que os alunos de um modo geral ainda cultivam uma visão tradicional, desvinculando a atividade científica das relações sociais. De acordo com Gil-Perez *et al.*; (2001), as pessoas de um modo geral acreditam que o conhecimento científico é seguro por estar baseado em observações/experimentações neutras e objetivas. Este tipo de concepção tem forte influência em correntes epistemológicas como o empirismo lógico e ainda se encontra impregnada no ensino de ciências e conseqüentemente na imagem que os alunos têm sobre a atividade científica, como verdade definitiva.

O aluno E7 relaciona o método a procedimentos e passos previamente definidos e o aluno E8 a procedimentos necessários, conforme segue:

Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico
<i>“Um procedimento necessário para responder perguntas [...] explicado através de passos”. E7</i>
<i>“Método científico seria seguir um procedimento para determinado experimento [...]”. E8</i>

Analisando as produções dos alunos E7 e E8 não podemos afirmar que apresentam indícios de uma concepção empírico-indutivista, pois apenas relacionaram método científico a procedimentos. Na Ciência certamente existem procedimentos que são necessários para responder a determinadas perguntas e que seguem alguns passos. Contudo, são apenas procedimentos metodológicos e não um método completo. Neste segmento, cada comunidade científica possui um protocolo específico para desenvolver tais procedimentos.

Já o aluno E10 destaca que o método científico se baseia em *fatos objetivos, verídicos e verificáveis*, como se o conhecimento surgisse de forma linear e óbvia, sem qualquer interferência externa relacionada a questões sociais, econômicas e políticas.

Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico

<i>“É baseado em fatos verídicos, objetivos, método sistemático, verificável[...]”</i> . E10
--

Prevalece aí a forte concepção da crença no fato objetivo, na verdade e verificabilidade dos fatos. A análise demonstra que o método empirista ainda está fortemente presente no pensamento da maioria dos alunos, particularmente radicalizado no empirismo lógico. Isto porque eles relacionaram a elaboração do conhecimento única e exclusivamente a métodos rigorosos realizados em laboratório. Sabemos que existem procedimentos a serem seguidos dentro do trabalho de laboratório e que necessitam de um certo rigor para sua realização. Contudo, o que está sendo contestado aqui é legitimizar o conhecimento apenas a estes procedimentos.

A resposta do aluno E5 também revela indícios de uma concepção empirista, isto porque relaciona a obtenção do conhecimento exclusivamente a métodos realizados em laboratório.

Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico

<i>“É uma ação coordenada de alguns tipos de procedimentos, cuidados voltados para a análise e pesquisa [...] Para se obter conhecimento deve se fazer uso de métodos utilizados em laboratório”</i> . E5

A Ciência certamente faz uso de uma pluralidade de métodos (procedimentos, técnicas) para a elaboração das análises, porém o conhecimento não é resultado apenas desse método e sim uma variedade de aspectos, especialmente de interações entre pessoas na busca por respostas de acordo com a necessidade de cada contexto. Portanto as teorias são resultado de embates teóricos e confrontos de ideias ao longo da história, sendo um produto essencialmente histórico obtido de inter-relações sociais.

Nesse primeiro encontro, em nenhum momento os acadêmicos manifestaram a ideia de que o conhecimento é uma produção humana e que por isso apresenta um caráter

histórico. Relacionam a produção de conhecimento a uma concepção fortemente internalista, produto de um único método criterioso e neutro e não levam em consideração a origem de tais conhecimentos. Para eles, o método científico é uma forma segura de se chegar ao conhecimento científico verdadeiro.

Isso alimenta a concepção equivocada de que através de um método supostamente neutro se derivam as leis científicas. Nesta visão, a ciência serve apenas para resolver problemas por meio de uma aquisição objetiva de conhecimentos. Esta visão pode ser facilmente constatada a partir da resposta do aluno E10. Contudo, sabe-se que na realidade isto não acontece, pois, as leis universais não resultam apenas de observações experimentais rigorosas, mas de um longo caminho de investigações, divergência de opiniões e busca por respostas.

Thomas Kuhn (2011) inaugurou o debate acerca dos aspectos sociais da Ciência, com destaque à possibilidade de se ver a ciência de uma forma mais ampla, na qual o conhecimento é construído por meio de uma pluralidade de métodos e situações que podemos classificar como sociais, possibilitando novos olhares sobre a atividade científica, destacando-a assim, como uma das formas de conhecimento produzidas pelo homem no decorrer de sua história. O conhecimento se mostra então como um produto histórico e não apenas um resultado essencialmente experimental. Frente a visões modernas, percebe-se que os alunos demonstram não as conhecer e por isso acreditam na unicidade de um método, e o apontam como uma maneira segura de se chegar ao conhecimento científico. Neste aspecto os alunos ainda escrevem que:

Primeira Categoria: Concepções prévias sobre Método Científico
<i>“A partir de um método científico é possível encontrar soluções [...] através de análises [...]” E9.</i>
<i>“São regras de como deve ser o procedimento a fim de produzir o conhecimento científico”. E6</i>
<i>“Acredito que seja uma forma de buscar conhecimento [...]”. E13</i>

Contata-se claramente que os alunos não veem a Ciência como um instrumento de interpretação da natureza, com um caráter subjetivo e intrinsecamente relacionado a fatores históricos e sociais responsáveis pela produção do conhecimento. Chama a

atenção a ideia de que o “método científico” serve para produzir conhecimento objetivo, e que seguindo um único método de análise totalmente destituído de valores sociais, ideológicos, éticos e filosóficos seja possível produzir com segurança algum conhecimento do mundo e da natureza. Pela afirmação dos alunos, parece que a dualidade experimentação/observação é a única fonte segura para a “obtenção” de conhecimento e que a partir daí a natureza vai “mostrar” tudo o que ainda não conhecemos.

O conhecimento científico não é resultado de observações simplistas, pautadas apenas no uso dos sentidos e livre de preconceções, mas o resultado de busca por novos conhecimentos com base em conhecimentos anteriores; seguindo um caminho árduo de estudos, na busca não da verdade definitiva, mas sim de explicações compatíveis com cada contexto histórico e social, considerando suas diferentes necessidades. Portanto a ciência é dinâmica e está sujeita a constantes mudanças ao longo do tempo, não estando atrelada apenas à observação neutra do pesquisador.

O cientista, quando busca novas respostas para um determinado fenômeno, já se encontra embebido de conhecimentos anteriores e teorias sobre tal assunto, sendo que a partir de novos questionamentos e refutações, dá origem a uma nova investigação pautada em novos olhares. Por isso a ciência não funciona de forma linear, baseada em evidência observacional e experimental, na qual o conhecimento surge de forma espontânea e clara (GIL-PÉREZ *et al.*; 2001; SALMON, 2000). Pelo contrário, uma teoria é o resultado de intensos conflitos e por isso, passível de sofrer reformulações, transformações profundas ou mesmo ser substituída para dar lugar a novas explicações, isto porque a ciência não é neutra e está sempre relacionada aos interesses econômicos, sociais e políticos de cada época.

5.3 Etapa 2: Articulação da segunda questão do questionário inicial (Segunda categoria) com as hipóteses levantadas na atividade de laboratório (Terceira categoria)

Nessa segunda etapa buscou-se articular a segunda questão do questionário inicial- que indagava sobre os conhecimentos dos alunos sobre as teorias da combustão - com as respostas obtidas a partir das hipóteses levantadas pelos alunos sobre o

funcionamento da vela em situações distintas no decorrer da atividade experimental. Esta correlação teve como objetivo constatar seus conhecimentos prévios sobre o fenômeno da combustão com base em alguma teoria científica, e refletir com eles se as hipóteses levantadas haviam sido obtidas de fato do experimento conduzido em aula, ou se eram consequência de seus conhecimentos prévios obtidos em aulas teóricas precedentes.

Algumas das hipóteses apresentadas foram exibidas em sala de aula para todo o grupo e sua análise e discussão teve a intenção de apontar as falácias que a proposta experimental tal qual se apresenta, em seu modo clássico, dentro de uma proposta puramente empírico-indutivista. A nosso ver, tal proposta pode levar a raciocínios incorretos e conclusões equivocadas decorrente de observações simplistas. Nesta ótica, buscou-se mostrar os reais prejuízos à formação inicial dos acadêmicos por consagrar um modelo cientificista ingênuo da Ciência. A intenção foi que os acadêmicos percebessem que a atividade realizada em seu modo tradicional apenas reforça uma visão distorcida da ciência e seus métodos e não conduz à ideia de que há construção de novos conhecimentos. Estabeleceu-se assim um paradoxo acerca da finalidade do experimento.

Segue a análise das respostas produzidas na segunda questão do primeiro questionário, a qual buscava averiguar os conhecimentos prévios dos acadêmicos em relação à Teoria da Combustão.

5.2.1 Segunda Categoria: Concepções prévias com teorias avançadas

Em relação a esta categoria, percebe-se que os alunos, antes de realizar a atividade experimental, já faziam uso de uma teoria prévia sobre a combustão.

Vejamos fragmentos de algumas respostas:

Segunda Categoria: Concepções prévias sobre a Teoria da Combustão
<i>“A teoria da combustão é a queima, ela se dá através da junção do comburente, combustível e calor. Reação com o oxigênio contido no ar atmosférico, resultando em liberação de CO₂” E1.</i>
<i>“Existe o combustível, o comburente e o calor. No caso da vela, o combustível é a</i>

<i>parafina e o comburente é o oxigênio”. E2</i>
<i>“[...]basicamente é necessário combustível, comburente e temperatura adequada para a combustão”. E3</i>
<i>“Reação com oxigênio contido no ar atmosférico, a queima entre o combustível, o comburente e o calor, resultando em liberação de CO₂”. E4</i>
<i>“[...]um motor de um automóvel ao utilizar o ar do meio ambiente misturado com algum tipo de combustível, este faz a combustão que dá a propulsão ao automóvel[...]. E5</i>
<i>“É necessário combustível e comburente, um produto inflamável e oxigênio para que essa queima ocorra”. E6</i>
<i>“[...] reação de combustão acontece entre uma mistura de calor, matéria para queimar e alimentação provinda do oxigênio, formando assim um triângulo de fogo”. E7</i>
<i>“Sei que para haver a combustão, temos que ter o combustível (gasolina), comburente (oxigênio) e o calor”. E8</i>
<i>“Para que ocorra a combustão é necessário algum tipo de combustível (madeira, papel), comburente (que permite a queima, como o oxigênio) e calor. Esse processo gera fumaça com emissão de CO₂ e em alguns casos resíduos como cinza”. E9</i>
<i>“ É necessário haver o comburente o oxigênio, o combustível material que irá queimar e o calor[...] quando há queima há a liberação de gases. Por ex: incêndio de uma floresta há liberação do CO₂”. E10</i>
<i>“A combustão ocorre com três elementos juntos, o comburente, o combustível e o calor. Essa onda pode produzir energia, mas também pode produzir poluição” E11.</i>
<i>“Suponho que seja a queima de combustíveis[...] precisa de gasolina, oxigênio e calor”. E12</i>
<i>“ Combustão é a queima”. E13</i>
<i>“ O triângulo do fogo é composto por calor, comburente e combustível e quando se retira um destes elementos, o fogo se apaga[...].” E14.</i>

Os alunos E1, E4, E6, E7, E14 relacionaram diretamente combustão à queima de algo. Os alunos E1, E2, E3, E4, E6, E8, E9, E10, E11 e E14 utilizaram os termos combustível, comburente e calor. O aluno E13 exemplificou dizendo que precisa de gasolina, oxigênio e calor. Com exceção do aluno E14, todos os alunos, mesmo que por meio de exemplos, destacaram a necessidade da presença do oxigênio como comburente e

de uma segunda substância que seria o combustível, para que o fenômeno aconteça. Os alunos E1, E4, E9 e E10 procuraram apresentar a reação que ocorreu neste processo, salientando que ocorreu a reação com o oxigênio contido no ar resultando na formação/liberação do gás carbônico CO_2 . Os alunos E7 e E14, destacam a teoria referente ao *Triângulo do Fogo*, bastante presente em livros do Ensino Médio. Na mesma medida os demais alunos mesmo não fazendo referência ao *Triângulo do Fogo*, pelas produções, demonstram terem tido acesso em algum momento a esta explicação para o fenômeno da combustão.

5.2.2 Terceira Categoria: Hipóteses Apriorísticas - Concepções Prévias com Teorias Avançadas

Após a realização do experimento, analisando as respostas dos acadêmicos, foi possível perceber que utilizaram suas concepções obtidas previamente, alicerçadas em teorias avançadas já mais ou menos consolidadas para levantarem as hipóteses sobre o funcionamento da vela. Suas respostas apontam conclusões que claramente não se deram a partir de observações no decorrer da aula prática realizada. As respostas revelaram ainda que, após a execução do experimento em seu modo clássico, os acadêmicos não tomaram contato com novos conceitos, o que nos leva a concluir que a metodologia tradicional de realização desta atividade não traz reais benefícios para o processo de ensino-aprendizagem, pelo contrário, reforça ideias equivocadas que os alunos ingressantes do curso de Química já trazem do ensino médio.

Buscando articular a segunda categoria com as hipóteses apresentadas nos relatórios produzidos no decorrer do experimento (terceira categoria), seguem fragmentos das hipóteses levantadas, retirados dos relatórios produzidos a partir do experimento.

Terceira Categoria: Hipóteses Apriorísticas - Concepções Prévias com Teorias Avançadas
<i>“A parafina serve como o combustível, temos também o calor e o oxigênio. A vela precisa de oxigênio para se manter acesa e libera CO_2”. E1</i>
<i>“Tem-se o combustível (parafina), comburente (oxigênio) e o calor”. E2</i>
<i>“Na queima ocorre uma reação química de combustão[...] o combustível reage com o oxigênio, liberando gás carbônico”. E3</i>

<i>“A vela precisa de oxigênio para se manter acesa e libera CO₂ quando ocorre a queima”. E4</i>
<i>“Parafina serve de combustível junto com o pavio [...]. No ar que respiramos tem oxigênio respirável... a chama faz uso do oxigênio derivando em CO₂”. E5</i>
<i>“A queima da vela só é possível devido a presença do oxigênio, o combustível + comburente (vela e oxigênio) ”. E6</i>
<i>“A combustão está diretamente ligada ao oxigênio que sustenta a chama, ocorre produção de CO₂”. E7</i>
<i>“ A chama é contínua pois o oxigênio tem contato com a vela. A parafina vai derretendo e o pavio vai queimando lentamente, porque a parafina impede que a queima seja rápida[...]”. E8</i>
<i>“ A vela acende porque tem combustível[...] como no ar tem o gás oxigênio (comburente) ela continua queimando[...]”. E9</i>
<i>“Há queima do pavio usando o comburente (oxigênio) e o calor que é a chama e disto há liberação de CO₂, calor e luz”. E10</i>
<i>“A vela funciona como produtora de calor e energia[...]pavio de algodão como fonte de ignição, sem o mesmo não haveria a queima[...]”E11</i>
<i>“ A parafina vai se queimando aos poucos, o papel do pavio é que a parafina não se queime de uma vez[...]”. E12</i>
<i>“ ... A parafina mantém a chama acesa, se acabar, acaba a chama”. E13</i>
<i>“ Pela teoria da combustão é o Triângulo do Fogo[...]A vela funciona como combustível (parafina), o comburente (oxigênio) e o calor”. E14</i>

A ideia de que o conhecimento é produto de observações neutras do pesquisador não se sustenta em nenhuma hipótese e vem sendo amplamente refutada (GALIAZZI e GONÇALVES, 2004; BASTOS, 1998; KOMINSKY e GIORDAN, 2002). Isto porque cada indivíduo, inclusive os cientistas, antes de iniciar uma pesquisa em laboratório já têm concepções e conhecimentos prévios, sobre o fenômeno em questão. Deste modo uma observação sempre é dirigida e interpretada de acordo com tais concepções e conhecimentos.

Analisando as respostas, constata-se que os acadêmicos formularam hipóteses e acabaram por chegar a conclusões impossíveis de serem obtidas a partir de simples

observações e verificações. Destaca-se o trecho citado por E4, no qual o aluno aponta a necessidade do gás “oxigênio” para que a queima aconteça e que ocorre a liberação de CO₂. Como é que, apenas observando, os acadêmicos poderiam concluir todos estes dados do experimento?

De acordo com Silva e Zanon (2000), as atividades científicas escolares ainda se baseiam em uma prática indutiva. Nessa ótica, os alunos utilizam uma série de passos sequenciais como a experimentação e observação, generalizações indutivas, formulação de hipóteses, comprovação ou abandono de conhecimentos objetivos. Contudo, muitas das ideias que foram levantadas pelos acadêmicos para o funcionamento da vela são as mesmas apresentadas no questionário inicial, antes da realização do experimento, reforçando assim, que suas produções não surgiram a partir das observações, mas sim de conhecimentos que já haviam sido vistos em circunstâncias que antecederam a realização do experimento. Isso revela o caráter apriorístico do procedimento adotado.

Constata-se, portanto, que a atividade desenvolvida em seu modo tradicional, a qual sugere estar ensinando um suposto “Método Científico”, não faz com que o aluno tire conclusões a partir da simples observação. Isto porque as hipóteses levantadas não se deram a partir da realização do experimento e sim de conhecimentos anteriores. Deste modo, esta atividade, da forma como vem sendo desenvolvida, não possibilita qualquer tipo de aprendizagem conceitual e tampouco se mostra adequada para ensinar algum “método científico”.

Diante das produções dos acadêmicos pôde-se verificar que a maioria apresentou a ideia de que a vela só se mantinha acesa devido à presença do oxigênio no ar. Além disso, afirmaram ser a parafina o combustível que mantém a vela acesa e o oxigênio, o comburente necessário para que o fenômeno aconteça. Os alunos E1, E4, E5, E7, E10 destacaram que a combustão ocorre somente na presença do oxigênio e que a reação liberou gás carbônico. Tais respostas se basearam em modelos e teorias avançadas, já consolidadas nos alunos antes da realização do experimento, as quais envolvem conceitos de combustão, ligações químicas, teoria atômico molecular, dentre outras, impossíveis de serem constatados por meio da observação neutra dos fatos.

Os alunos também levantaram hipóteses sobre os fenômenos observados acerca da combustão de uma vela em recipiente fechado.

Terceira Categoria: Hipóteses Apriorísticas - Concepções Prévias com Teorias Avançadas
<i>“Após alguns segundos a vela se apagou, pois o oxigênio dentro do copo se acaba e sem oxigênio não há queima”. E1</i>
<i>“Acabou o combustível (oxigênio) ”. E2</i>
<i>“Apagou devido à ausência de oxigênio, comburente”. E3</i>
<i>“A vela se apaga em alguns segundos após acabar o oxigênio dentro do copo. Sem oxigênio não há queima”. E4</i>
<i>“Logo a chama se apaga, pois foi consumido todo o oxigênio de dentro do recipiente”. E5</i>
<i>“A vela apaga porque o copo impede a passagem do oxigênio”. E6</i>
<i>“A chama se apagou, a explicação é devido à ausência de oxigênio”. E7</i>
<i>“Ocorre falta de oxigênio e a mesma se apaga[...]”. E8</i>
<i>“A vela apagou porque o bécquer interrompe a entrada de oxigênio”[...]. E9</i>
<i>“[...] , isso acontece devido à falta de oxigênio no bécquer”. E10</i>
<i>“[...] A chama se apaga, pois o fogo queimou todo o oxigênio”. E11</i>
<i>“ A falta de oxigênio é o que resulta neste fato[...]”. E12</i>
<i>“[...]A vela apagou [...]e quando o bécquer foi retirado sentimos um mal cheiro”. E13</i>
<i>“Observou-se que a vela apagou devido à falta de oxigênio (comburente) ”. E14</i>

Em relação ao apagamento da vela quando mantida sob recipiente fechado, de forma unânime todos argumentaram que a vela apagou pelo fato do oxigênio dentro do copo ter se esgotado. Novamente, nas descrições de observações executadas, nota-se que os acadêmicos acabam por chegar a conclusões que na realidade são impossíveis de serem constatadas a partir de tais observações. O aluno E14 afirma ter observado que a vela apagou devido à falta de oxigênio. Mas como é que apenas observando o aluno chegou a tal conclusão? Claramente elas não são neutras e já estavam alicerçadas em conhecimentos prévios necessários para a interpretação.

Comparando as hipóteses levantadas pelos alunos no decorrer das observações do experimento da vela com as respostas do questionário inicial sobre o que conheciam acerca da teoria da combustão, percebe-se que seus discursos foram praticamente os mesmos e que a atividade experimental, da forma como foi desenvolvida, com base na

simples observação dos fenômenos não resultou, como já dissemos, na aquisição de novos conhecimentos. Isto porque, na realidade, o que os alunos descreveram sobre o funcionamento da vela acesa e depois apagada não é fruto de suas observações no decorrer do experimento, mas sim de modelos e teorias da combustão já conhecidos e de alguma forma consolidados, oriundos de situações que antecederam a atividade experimental.

Desenvolver a atividade sobre o Experimento da Vela nos moldes que aqui foi feito teve a intenção de demonstrar que o uso desta metodologia, baseada na hipótese de que o conhecimento começa com a observação e anotação criteriosa de fatos, não traz grandes benefícios aos alunos no que se refere à aprendizagem de novos conhecimentos e não está alcançando objetivos mínimos, pois não conduz à aprendizagem de novos conhecimentos e tão pouco à confirmação de teorias aprendidas, pois as hipóteses levantadas não são frutos de observações diretas. Além disso, não consegue ensinar nem mesmo o que supõe ser um “método científico” no qual o conhecimento se inicia pela observação, tal qual sugerido pelo roteiro experimental. Pelo contrário, tal abordagem leva os acadêmicos, logo de início, a reforçarem concepções equivocadas sobre a ciência e seus métodos.

Ao final do curso de Licenciatura em Química, certamente muitos alunos serão futuros professores e levarão tais concepções empírico-indutivistas para suas salas de aula, alimentando assim um círculo vicioso, uma vez que provavelmente irão desenvolver suas metodologias de ensino com base nos ensinamentos que tiveram no decorrer do seu curso de graduação, reforçando um ensino tradicional, pautado na memorização e anotação de conteúdos de forma totalmente descontextualizada, acrítica e a-histórica.

5.3 Etapa 3: Problematização da atividade experimental e análise do potencial didático do texto de apoio

O segundo encontro teve o propósito de fazer com que os alunos percebessem que as hipóteses levantadas por eles no durante o experimento não eram resultados das observações realizadas no decorrer da atividade e sim de seus conhecimentos prévios. Após os alunos terem elaborado seus relatórios, fragmentos de texto de alguns deles

foram apresentados para toda a turma através de um projetor multimídia, sem identificação, e algumas questões orientadoras foram lançadas pela pesquisadora, logo no início do encontro, dentre elas:

1-Como é que, observando a vela, você sabe que o oxigênio foi consumido na reação?

2-Como é que você o sabe que se formou CO_2 ?

3-Mas como você afirma que acabou o oxigênio na queima em ambiente fechado? Você viu isso ocorrer?

4-Foi no experimento que vocês aprenderam que tem oxigênio?

5-Foi no experimento que vocês aprenderam que se forma CO_2 ?

6-Quando você entrou no laboratório, o experimento que você foi fazer começou com a observação, ou você já sabia previamente o que iria acontecer?

7-Vocês chegaram ao laboratório sem saber nada e foram realizar o experimento?

8-As conclusões forma obtidas da experimentação?

9- Então porque o experimento é realizado?

Tais questões foram importantes para incitar as discussões acerca do que os alunos haviam de fato aprendido com a atividade experimental da forma como foi desenvolvida. Muitos alunos foram capazes de perceber que suas hipóteses eram conhecimentos adquiridos em momentos que antecederam a atividade experimental. Alguns alegaram ter aprendido tais conceitos com suas professoras do ensino médio ou mesmo em pesquisas virtuais.

Foram também apresentados aos alunos trechos de artigos que versam sobre as principais falácias do Experimento da Vela e também de algumas conclusões equivocadas que a simples observação dos acontecimentos no decorrer de uma atividade experimental podem trazer. O texto de Braathen (2000), “*Desfazendo o Mito da Combustão da Vela para medir o teor de oxigênio no ar*”, publicado na revista Química Nova na Escola, foi

apresentado e sua versão completa foi enviada por e-mail a todos os alunos participantes da pesquisa.

As principais discussões se centraram na possibilidade de interpretações equivocadas, quando baseadas apenas na observação dos fenômenos. A maioria dos alunos, conforme se pode perceber, relaciona o encerramento da combustão com o fato de o oxigênio ter sido totalmente consumido na reação. De acordo com Braathen (2000), o oxigênio não é totalmente consumido em recipiente fechado, mesmo quando a vela apaga. Birk e Lawson (1999), comprovam tal afirmação ao queimar uma vela em uma campânula na presença de um rato. Mesmo depois de a vela se apagar, o experimento mostra que o rato continua a respirar normalmente por longo tempo, sem sinais de falta de oxigênio. Conclui-se então que a vela se apaga bem antes do consumo total de oxigênio contido na campânula. Fatos como estes não podem ser obtidos com base apenas nas observações de que a vela apagou; tais conclusões são baseadas em estudos e teorias prévias conforme autores citados anteriormente.

Os alunos evidenciaram surpresa ao notarem que seguiram um roteiro rígido com observações e anotações criteriosas de dados, mas que ao final da atividade não tiveram acesso a novos conhecimentos. Notaram que suas hipóteses não eram fruto da observação no decorrer do experimento e que, na realidade, a atividade não lhes trouxe avanço em seus conhecimentos. Alguns alunos, ao serem questionados sobre o porquê da realização do experimento daquela forma, revelaram que tal situação já havia acontecido em outros momentos, durante outras atividades experimentais e que, na maioria das vezes, não compreendem os fenômenos que ocorrem, apenas executam o experimento, sem saber o real significado dos conteúdos envolvidos.

De acordo com Cachapuz (2011), a maioria dos alunos não sabe de onde vieram os conteúdos científicos, dificultando assim a sua compreensão, resultando no desinteresse em estudar ciência, falta-lhes uma base epistemológica que possa guiar sua aprendizagem. Muitas vezes os acadêmicos demonstram que não sabem de onde vieram seus conhecimentos e nem o porquê de estarem realizando determinada atividade e não conseguem relacionar os conteúdos com sua prática social.

Durante o experimento também foram questionados sobre o porquê do aumento no volume de água no interior do béquer, alguns descrevem que o volume da água aumentou para compensar o volume do oxigênio que foi consumido, conforme segue:

“O nível da água dentro do recipiente se elevou [...] Este fenômeno se deve ao consumo de oxigênio que havia no recipiente no instante em que a vela foi coberta”. E5

“O nível de água dentro do béquer subiu [...] A chama consumiu o oxigênio restante dentro do copo e conseqüentemente puxou uma parte da água para dentro”. E7

De acordo com Braathen (2000), por décadas professores de ciências e de química acreditavam que era possível calcular o teor de oxigênio no ar através do experimento da vela. Isto porque os valores obtidos são bastante próximos com o percentual de 21% do volume de oxigênio do ar, contudo isto é apenas uma coincidência. Esta explicação se baseia no fato de que a combustão da vela consome todo o oxigênio do ar existente dentro do recipiente e que o gás carbônico formado se dissolve rapidamente na água. Porém, sabemos que na realidade isto não ocorre, pois a combustão não é completa e a dissolução do gás carbônico na água é um processo bem lento.

Conforme Birk e Lawson (1999), o que explica a elevação do nível de água seria uma diferença de pressão dentro e fora do recipiente. Ou seja, após a vela se apagar dentro da campânula ocorre um resfriamento do ar aprisionado, causando uma diminuição de pressão neste ambiente interno. Conseqüentemente, devido a esta menor pressão, a água é deslocada para dentro do recipiente devido à maior pressão externa. Além disso, parte do oxigênio é consumida, mas ao mesmo tempo o gás carbônico é formado e sua dissolução em água é bastante lenta, descartando a possibilidade de que o aumento do volume de água aconteça para compensar o volume de oxigênio consumido no decorrer da reação. Aqui está um exemplo claro de que a simples observação de fatos muitas vezes pode levar a conclusões equivocadas.

No decorrer das discussões feitas a partir das hipóteses levantadas, muitos alunos verbalizaram que em muitas aulas práticas apenas executam o experimento de forma passiva, sendo que ao final não conseguem compreender muitas questões e vão à busca de

respostas após sua realização devido à necessidade de elaboração do relatório. Contudo, alguns argumentaram que, mesmo após terem desenvolvido o relatório, não eram capazes de compreender em sua essência os fenômenos envolvidos, ou seja, não conseguem relacionar o que observaram com os conhecimentos abordados nos livros didáticos e teorias aprendidas, e muitos questionamentos acabam ficando sem respostas.

Tais situações refletem a necessidade de um ensino pautado na História da Ciência. Conforme destacam Oki e Moradillo (2008), esta metodologia traz benefícios tanto para os alunos quanto para os professores, porque oferece aprimoramentos importantes para que o professor possa rever sua epistemologia e conseqüentemente sua forma de ensinar. Essa atitude favorece a aprendizagem dos conteúdos químicos por meio de estratégias mais interessantes, as quais apresentem toda a trajetória percorrida para a construção dos conhecimentos, evitando a fragmentação do ensino.

Resultados de pesquisas que envolvem concepções sobre a natureza da ciência evidenciam que o ensino com base na História da Ciência oferece aprimoramentos importantes em relação às concepções de professores e alunos, especialmente quando se utiliza a abordagem explícita dos conteúdos (OKI e MORADILLO, 2008). Neste aspecto, o desenvolvimento histórico da Química possibilita que a mesma não seja ensinada de forma tão fragmentada, funcionando como um fio condutor que possa orientar melhor os alunos sobre como a ciência funciona, desmistificando ideias dogmáticas de uma ciência alheia do contexto social.

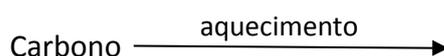
Neste mesmo encontro, a pesquisadora buscou apresentar uma forma mais produtiva de se abordar o experimento da vela tendo como base o estudo dos episódios envolvendo Teorias da Combustão, desde a Teoria do Flogístico, considerada uma das primeiras teorias unificadoras da Química, os estudos de Carl Scheele, Joseph Priestley até Antoine Lavoisier. Para tanto, os alunos receberam um texto de caráter histórico (APENDICE 3), que apresenta duas teorias e seus defensores, a Teoria do Flogístico e a Teoria do Oxigênio de Lavoisier. O texto foi sendo lido e refletido pelos alunos de forma paralela à apresentação de slides sobre os episódios da Combustão. Deste modo, os alunos participaram de uma aula expositiva dialógica, quando puderam levantar questionamentos, tirar dúvidas e responder a questões orientadoras do texto no decorrer da apresentação.

O objetivo das questões dentro do texto histórico foi de avaliar se os alunos estavam acompanhando a abordagem histórica, e não tiveram a finalidade de avaliar se eles já apresentavam alguma mudança de concepção. Eram apenas questões orientadoras da leitura. A pesquisadora buscou interagir sempre com os acadêmicos e auxiliou na resolução das questões, estimulando a reflexão. As discussões se centraram no texto que envolve os episódios da combustão segundo as teorias de Scheele, Priestley e de Lavoisier.

Analisando as respostas dos acadêmicos referentes à essas questões, é possível perceber que eles conseguiram acompanhar as reflexões desenvolvidas no decorrer da aula, isto porque a maioria respondeu corretamente às perguntas orientadoras. De modo a comprovar tais afirmações as respostas de alguns alunos entre E1 a E7, serão trazidas para o trabalho.

Após serem apresentados alguns aspectos importantes sobre a Teoria do Flogístico, especialmente sobre as hipóteses levantadas por Stahl, os acadêmicos foram convidados a responder as seguintes questões:

1. Considere os seguintes materiais: madeira, carvão e ferro. Coloque-os em ordem crescente da quantidade de flogístico que possuem.
2. Complete a seguinte reação:



Na primeira questão, todos os alunos colocaram a seguinte ordem: *ferro, madeira e carvão*. Como produtos da reação completaram com *ácido carbônico + flogístico*. Essas respostas revelam que os acadêmicos compreenderam que, segundo esta concepção, o carbono não é uma substância simples, mas é constituído de uma combinação entre flogístico e algum material com propriedades ácidas.

Na sequência, após estudos relacionados ao trabalho de Carl Scheele sobre a combustão, todos os acadêmicos conseguiram relacionar corretamente os dois “ares”, “ar de fogo” e “ar inflamável” à linguagem moderna na questão 3, respondendo que o ar de fogo corresponde atualmente ao gás oxigênio e que o ar inflamável corresponde ao gás hidrogênio. Na questão 4 do texto, foram indagados sobre o problema da queima da vela,

no modelo de Scheele, da seguinte forma: Porque uma vela apaga após algum tempo quando a combustão ocorre em recipiente fechado? Seguem fragmentos das respostas:

<i>“O ar de fogo no momento da queima está liberando o flogístico, quando se tampa o recipiente, o Flogístico não irá interagir com o ar de fogo cessando a combustão”. E1</i>
<i>“O ar de fogo não consegue mais receber o Flogístico”. E2</i>
<i>“Acabava o ar de fogo dentro do recipiente, assim o Flogístico não podia mais reagir com o ar de fogo”. E3</i>
<i>“Quando se tampa o recipiente o ar de fogo acaba e o Flogístico não interage cessando a combustão”. E4</i>
<i>“Porque o ar de fogo acaba, impedindo o Flogístico de continuar reagindo”. E6</i>

Ao analisarmos as respostas dos alunos é possível perceber que eles conseguiram relacionar corretamente o *ar de fogo* a Carl Scheele, além de afirmarem que este “ar” era quem recebia o flogístico durante a queima, conforme acreditava Scheele. Ainda sobre Scheele, foi perguntado aos alunos (questão 5) se fazendo a reação entre o *ar de fogo* com o *ar inflamável* de Cavendish, ele conseguiu comprovar sua hipótese. Todos os alunos responderam que sim, que Scheele conseguiu comprovar sua hipótese, pois a reação formava calor.

De acordo com (Bell, 2007; Filgueiras, 2007), Scheele havia conseguido comprovar sua hipótese. Segundo ele, o ar inflamável (considerado como sendo flogístico puro) reagia com parte do ar contido no recipiente, gerando apenas calor, demonstrando que: $ar\ de\ fogo + flogístico \rightarrow calor$, conforme sua proposição. Com efeito, a reação gera água, contudo, Scheele não tinha essa hipótese em mente e pode, por conta disso, não tê-la percebido. Esse episódio ilustra bem a ideia de que os cientistas percebem e encontram apenas aqueles fatos e resultados que estão procurando (no caso, o papel do flogístico), o que descarta a neutralidade da abordagem dos fenômenos.

Após estudo sobre as constatações de Priestley acerca do “ar desflogisticado”, os alunos foram questionados (questão 7) sobre a hipótese de Priestley da seguinte forma: Como pode ser justificado o apagamento da chama após a queima sob recipiente fechado? Seguem algumas respostas:

“Inicialmente tinha a parafina liberando flogístico e na atmosfera continha o ar desflogisticado, quando recebe o nível máximo de flogístico a vela se apaga”. E1

“Quando se coloca a vela em ambiente fechado tem-se uma quantidade fixa de ar desflogisticado, que só pode receber uma quantidade x de flogístico”. E2

“Ocorre quando o ar desflogisticado dentro do recipiente ficar saturado de flogístico” E3.

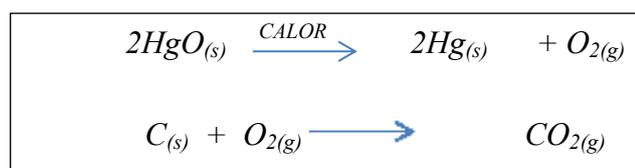
Nesta questão, os alunos também demonstram que conseguiram entender a hipótese de Priestley e relacionaram corretamente o ar desflogisticado ao pensador.

Ao serem questionados sobre como é conhecido modernamente o “ar fixo” de Joseph Black (questão 8), todos os alunos conseguiram relacioná-lo ao gás carbônico. Contudo, é preciso deixar claro que não seria possível aos alunos compreender toda a profundidade deste processo de transformação, que é algo bastante complexo, apenas por fazerem corretamente esta relação. Isso porque, o nome dado ao referido gás, naquela época, está relacionado a um comportamento macroscópico (constatável por observação direta), a partir da ideia de que algum “ar” se “fixe” em certo material. Por outro lado, o nome “gás carbônico” está relacionado a uma característica não observável de forma direta, ou seja, a sua composição química, a qual envolve teoria avançada de átomos e moléculas.

Da mesma forma, na última questão do texto (questão 9), os alunos conseguiram representar a reação abaixo em linguagem moderna:



O aluno E1 relacionou a equação da seguinte maneira:



Diante das respostas dos alunos, verifica-se que o texto debatido em aula foi uma ferramenta importante para que os acadêmicos conseguissem se localizar e acompanhar a evolução dos conteúdos relacionados à combustão na visão de Scheele e Priestley até Lavoisier. Vale ressaltar que estas questões eram apenas orientadoras e não tinham o objetivo de averiguar mudanças nas concepções dos alunos. Desta forma, entende-se que o material cumpriu sua função didática de facilitar a aprendizagem dos acadêmicos, considerando que tal abordagem histórica dos processos de combustão envolve uma grande quantidade de informações e nomenclaturas complexas, distintas da nomenclatura moderna que os alunos têm acesso atualmente.

5.4 Etapa 4: Articulação das respostas da terceira questão do questionário inicial (Quarta categoria) com as questões 1 e 4 do questionário final (Quinta categoria)

Finda análise das duas primeiras questões do questionário inicial, das produções dos relatórios referentes ao levantamento de hipóteses sobre o funcionamento da vela e também das discussões voltadas para o texto de apoio sobre os episódios da combustão, passamos a analisar as questões que se voltam à abordagem histórica dos problemas da combustão.

Nossa análise vai articular a terceira questão do questionário inicial, que se refere ao conhecimento dos acadêmicos sobre a Teoria do Flogístico e da Teoria de Lavoisier, com as respostas dadas pelos alunos nas questões 1 e 4 do questionário final. Essas duas questões envolvem a descrição do funcionamento da vela em duas situações distintas. Foi solicitado que eles explicassem esses fenômenos com bases nas três teorias estudadas. Relembramos aqui tais questões:

Questão 1: Explique por que uma vela que queima em ambiente aberto e sem vento **não apaga**, usando as três teorias estudadas.

Questão 4: Por que a vela se apaga depois de um tempo em ambiente *fechado*, segundo cada teoria estudada? Explique cada caso.

5.4.1 Análise da terceira questão do questionário inicial - Quarta Categoria: Conhecimentos Prévios sobre as Teorias da Combustão

Ao serem interrogados se conheciam a Teoria do Flogístico ou a Teoria de Lavoisier, quase a totalidade respondeu que não conheciam, ou que nunca ouviram falar. Apenas os alunos E4 e E6 destacam Lavoisier como o “Pai da Química Moderna”, ou o “Pai do Princípio da Conservação da Matéria”, reforçando o mito da paternidade do cientista sobre uma teoria, sua genialidade e de seu possível trabalho solitário. Os estudantes demonstram que possuem pouco ou nenhum conhecimento sobre os episódios das teorias da combustão, conforme segue:

Quarta Categoria: Conhecimentos prévios sobre as Teorias da Combustão
<i>“Na natureza tudo se transforma, nada se perde, tudo se cria (Pai da Química Moderna”. E4</i>
<i>“Lavoisier é considerado o “pai” do princípio da conservação da matéria, no que diz respeito a teoria de “Nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”. E6</i>
<i>“Me recordo do ensino médio que a teoria de Lavoisier é aquela que na natureza nada se perde, tudo se cria e se transforma”. E10</i>

Constata-se que os poucos acadêmicos que comentam sobre Lavoisier o fazem de forma totalmente descontextualizada e a-histórica, demonstrando que nunca tiveram acesso a estudos voltados para a história da Química. Apenas reproduzem a frase mais conhecida sobre a conservação da matéria – ainda que errada – como se estivessem se referindo às ideias de um gênio. O aluno E4 e E10 evidenciam confusão no momento de escrever a frase, que nem conseguiram memorizar, evidentemente sem saber o seu real significado. Os alunos também não foram capazes de estabelecer relações entre Lavoisier e a Teoria da Combustão.

De acordo com Cachapuz (2011); Gil-Perez *et al.*, (2001) e Oki e Moradillo (2008) o ensino com base na história da Ciência é fundamental para que os acadêmicos consigam compreender de onde e porque surgiram os conhecimentos sistematizados a que temos acesso na atualidade, o que contribui para desmistificar ideias distorcidas que

relacionam o conhecimento científico a descobertas isoladas de gênios que, solitários em seus laboratórios, fazem constatações inéditas e recebem prêmios por isso.

Ainda conforme Kosminsky e Giordan (2002) muitas dessas ideias presentes na sociedade são reflexos da própria mídia, que transmite uma visão equivocada da atividade científica. Contudo, é por meio do ensino com base na história das Ciências que nas salas de aula os estudantes podem significar e se apropriar da linguagem científica, de seus conceitos e seus procedimentos, tendo a compreensão de que o conhecimento se dá em função da necessidade de se resolver problemas relacionados as demandas da humanidade, sendo por isso, um produto histórico e social.

Além disso, o ensino pautado na origem dos conceitos facilita a aprendizagem, pois os alunos conseguem dar significado aos conteúdos e percebem toda a dinamicidade do processo científico. Passam a humanizar os conhecimentos e se referem à atividade científica como uma produção humana, passível de erros e resultado de constantes embates teóricos e rivalidades entre pesquisadores ao longo dos tempos. Tais percepções resultam em rupturas com concepções distorcidas que relacionam o conhecimento científico a descobertas isoladas de gênios.

Dando continuidade à essa questão, apenas o aluno E1 disse conhecer a teoria do flogístico, relacionando-o à inflamabilidade, alegando que os corpos combustíveis possuem uma matéria denominada flogístico. E o aluno E11 relacionou o flogístico a materiais combustíveis.

Quarta Categoria: Conhecimentos prévios sobre as Teorias da Combustão
<i>“Segundo a Teoria do Flogístico, os corpos combustíveis possuem uma matéria chamada flogístico, que libera se ao ar durante o processo. Flogístico significa inflamável”. E1</i>
<i>“Flogístico: Trata da teoria de como os materiais entram em combustão”. E11.</i>

Ficou claro que os alunos transitam muito mal pela teoria do Flogístico, isto porque a maioria a desconhece e quando produzem algo a respeito, não apresentam embasamento histórico sobre a mesma, pois não sugerem explicações e hipóteses plausíveis propostas pela teoria para os fenômenos de combustão e calcinação.

As respostas dos acadêmicos sobre a Teoria do Flogístico e também sobre a Teoria de Lavoisier referente ao questionário inicial serão articuladas com as respostas sobre os episódios da combustão após a intervenção, para avaliar se os alunos conseguiram entender como se deu a construção dos conhecimentos químicos desde as ideias flogistonistas até a teoria de Lavoisier. Além disso, pretende-se analisar também se houve mudança na concepção inicial dos acadêmicos, claramente arraigada em concepções empírico-indutivistas.

5.4.2 Análise das questões 1 e 4 do questionário final - Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias estudadas ao Fenômeno Investigado.

No que refere a esta categoria, destacamos a seguir as respostas dos acadêmicos após a intervenção didática sobre os episódios da combustão.

As produções mostram que a maioria dos acadêmicos conseguiram entender e aplicar as ideias de cada pensador à queima da vela em diferentes situações. Inicialmente iremos destacar as respostas para o seguinte questionamento: **Explique por que uma vela que queima em ambiente aberto e sem vento não apaga, usando as três teorias estudadas.**

Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias ao Fenômeno Investigado.
Scheele:
<i>“A vela libera o flogístico e o ar de fogo recebe este flogístico. No momento da queima a vela libera o flogístico no ar, como tem muito ar de fogo na atmosfera o combustível vai queimar até acabar”. E1</i>
<i>“A vela não apaga porque existe o ar de fogo que recebe o flogístico”. E2</i>
<i>“O ar atmosférico é composto por “ar de fogo” e “ar deteriorado”. A vela queima porque na atmosfera há grande quantidade de ar de fogo... O ar de fogo reage com o flogístico”. E3</i>
<i>“No ar atmosférico tem ar de fogo, quando ocorre a queima libera o flogístico. Como tem bastante ar de fogo na atmosfera a vela vai queimar até se acabar”. E4</i>

<i>“Enquanto o flogístico era liberado com a queima da vela, simultaneamente este reagia com o ar de fogo”. E5</i>
<i>“A vela não se apaga devido a presença do ar de fogo, conhecido por Scheele como um gás necessário para a queima. Scheele foi um dos primeiros a notar a presença deste ar que circundava toda a atmosfera”. E6</i>
<i>“Ao se queimar um combustível liberava flogístico. Em um ambiente aberto existe muito ar de fogo para a combustão acontecer à vontade”. E7</i>
<i>“Queima porque o ar reagiu com o flogístico e gera calor, sendo nomeado ar de fogo [...] O ar atmosférico era composto por dois componentes, sendo o ar de fogo e o ar deteriorado”. E8</i>
<i>“A vela não apaga porque no ar atmosférico contém o ar de fogo, este ar era capaz de receber o flogístico liberado pela vela acesa[...] em ambiente aberto tinha muito ar de fogo na atmosfera e por isso a vela nunca apagaria[...]”. E9</i>
<i>“Dizia que havia o ar de fogo que recebia flogístico [...] sem o ar de fogo não iria haver a queima da vela, este ar era abundante e por isso a vela não apagava”. E10</i>
<i>“Porque tem muito ar de fogo”. E11</i>
<i>“[...]na composição do ar existe ar de fogo e ar deteriorado, quando se queima o combustível se libera o flogístico no ar, o flogístico reage com o ar de fogo[...]”. E12</i>
<i>“Como o ar de fogo está abundante na atmosfera passando em volta da vela reage com o flogístico e gera calor. O ar de fogo recebe o flogístico e queima até a parafina acabar”. E13</i>
<i>“Na queima a vela liberava o flogístico e o ar de fogo que estava presente no ar recebia este flogístico [...] Em ambiente aberto a chama não apagava porque havia ar de fogo à vontade na atmosfera”. E14</i>

Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias ao Fenômeno Investigado.

Priestley:

“A vela está perdendo flogístico para o ar e o ar desflogisticado está recebendo este flogístico e se tornando mais flogisticado”. E1

“A vela não apaga porque existia o ar desflogisticado, que era um receptor de flogístico”. E2

<i>“A reação de combustão se dá com o flogístico recebido pelo ar desflogisticado”. E3</i>
<i>“A parafina libera o flogístico e na atmosfera o ar desflogisticado recebe o flogístico”. E4</i>
<i>“A vela libera o flogístico que reagia com o ar desflogisticado da atmosfera, que se tornava mais flogisticado resultando na queima”. E5</i>
<i>“A vela não se apaga quando em ambiente aberto devido a liberação de flogístico no ar desflogisticado, a vela só se apagará quando acabar o flogístico, ou seja, quando a vela acabar”. E6</i>
<i>“O ar desflogisticado pode receber o flogístico, o combustível está perdendo flogístico para o ar desflogisticado, a combustão só irá parar quando o combustível acabar, pois tem ar a vontade para a troca”. E7</i>
<i>“No ar tem ar desflogisticado que libera o flogístico [...]”. E8</i>
<i>“A vela está perdendo flogístico para o ar e em ambiente aberto o ar desflogisticado é capaz de receber todo esse flogístico, a reação só terminaria quando a vela fosse totalmente consumida”. E9</i>
<i>“[...]existia o ar desflogisticado que era abundante e possuía pouco flogístico então podia receber o flogístico[...] sobre a vela ela queimava a parafina que era rica nem flogístico e o liberava durante a queima e o ar desflogisticado recebia este flogístico. Enquanto houvesse parafina a vela permaneceria acesa”. E10</i>
<i>“O ar está se tornando mais flogisticado, a combustão só irá parar quando o combustível acabar [...]”. E11</i>
<i>“O ar desflogisticado está recebendo o flogístico e se tornando mais flogisticado, a combustão só irá acabar quando o combustível terminar [...]”. E12</i>
<i>“Como o flogístico é liberado pela parafina e o ar desflogisticado tem na atmosfera, a vela continuaria acesa porque o ar desflogisticado não ficaria saturado de flogístico. Resumindo: A vela não apagaria por ter abundância de ar desflogisticado”. E13</i>
<i>“A atmosfera contém um pouco de flogístico, o qual ele nomeou de ar desflogisticado que recebia o flogístico do combustível. A combustão só cessaria quando o ar desflogisticado ficasse saturado de flogístico e não pudesse mais receber. Isso explica a vela não se apagar em ambiente aberto e apagar em ambiente fechado”. E14</i>

Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias ao Fenômeno Investigado.
Lavoisier:
<i>“A vela vai queimar até acabar. A combustão só encerra no momento que o combustível acabar. O combustível está reagindo com o ar vital da atmosfera”. E1</i>
<i>“Existia o ar vital que participava da reação, formando o ar fixo”. E2</i>
<i>“Na atmosfera existe o ar vital e a ela vai queimar até o final porque tem ar vital a vontade em ambiente aberto”. E4</i>
<i>“Lavoisier não falava mais em flogístico, mas em um combustível que reagia com o ar vital e liberava luz, calor e ar fixo. Concluiu que a queima só acabava quando acabasse o combustível”. E5</i>
<i>“A vela precisa do ar vital para se manter acesa, em ambiente aberta há este ar suficiente para que a queima ocorra até o fim, só se apagaria quando acabasse o combustível (vela) ”. E6</i>
<i>“O ar oxigênio é o responsável pela combustão [...] A queima só termina quando o combustível acabar”. E7</i>
<i>“O ar que mantinha a queima era o ar vital[...]”. E8</i>
<i>“A vela não apaga porque na atmosfera tem ar vital a vontade, este ar reage com a parafina que mantém a vela acesa até que seja totalmente consumida”. E9</i>
<i>“Existia o ar vital mais o combustível[...]sem o ar vital não haveria a queima e como ele era abundante enquanto houvesse a parafina a vela não apagaria”. E10</i>
<i>“A combustão só se encerra no momento em que o ar vital acabar”. E11</i>
<i>“Para Lavoisier não existia o flogístico, o combustível é a vela que está reagindo com o ar vital da atmosfera, a qual tem muito ar vital[...]”. E12</i>
<i>“A vela em ambiente aberto continuaria acesa até ela derreter e acabar. Porque a atmosfera é rica em ar vital (ar puro) ”. E13</i>
<i>“O combustível reagia com o ar vital e só cessaria em ambiente aberto quando acabasse o combustível, pois a atmosfera é repleta de ar vital”. E14</i>

A análise das produções dos acadêmicos referente as explicações de Scheele, Priestley e Lavoisier sobre o fenômeno relacionado a queima de uma vela em ambiente aberto, mostra que tiveram uma boa compreensão das teorias estudadas de acordo com aquele período histórico. Em relação às produções referentes às ideias de Priestley, o

aluno E8 descreve que o ar desflogisticado libera flogístico. Contudo de acordo com o referido autor seu papel seria de acolhê-lo. Nesse sentido o acadêmico não demonstrou uma boa compreensão acerca desta teoria.

Na sequência seguem as produções dos acadêmicos para o seguinte questionamento: **Por que a vela se apaga depois de um tempo em ambiente *fechado*, segundo cada teoria estudada? Explique cada caso.**

Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias ao Fenômeno Investigado.
Scheele:
<i>“A vela apaga porque acaba o ar de fogo”. E1</i>
<i>“Porque acaba o ar de fogo. Portanto não podendo mais reagir com o flogístico”. E3</i>
<i>“A vela apaga porque acaba o ar de fogo e o flogístico não irá mais interagir, cessando a combustão”. E4</i>
<i>“A vela se apaga devido à falta do ar de fogo, conhecido atualmente como O₂”. E6</i>
<i>“O ar de fogo é capaz de receber flogístico, então a vela se apaga quando limitado a ar de fogo, pois o ar não receberia mais flogístico”. E7</i>
<i>“[...] dentro do recipiente tem ar de fogo que reage com flogístico e quando satura a vela apaga”. E8</i>
<i>“Apaga em ambiente fechado porque o ar de fogo é limitado e quando ele acaba o flogístico liberado pela vela para de reagir”. E9</i>
<i>“Não podendo mais receber o flogístico a vela se apaga”. E11</i>
<i>“A vela apaga quando acaba o ar de fogo, que é quando o flogístico não pode mais reagir”. E12</i>
<i>“Quando acabava o ar de fogo no recipiente a vela apagava”. E13</i>
<i>“[...] apaga, pois acaba o ar de fogo”. E14</i>

Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias ao Fenômeno Investigado.
Priestley:
<i>“A atmosfera é capaz de receber o flogístico proveniente da combustão, a combustão</i>

<i>acaba quando o ar circundante se tornar saturado de flogístico... O combustível perde flogístico para o ar e o ar desflogisticado está recebendo este flogístico e se tornando flogisticado”. E1</i>
<i>“Porque acaba o ar desflogisticado, assim a reação entre o flogístico e o ar desflogisticado não pode mais ocorrer e a vela apaga”. E2</i>
<i>“A vela liberava o flogístico e em ambiente fechado o ar desflogisticado acabava se saturando de flogístico e apagava a vela”. E3</i>
<i>“O combustível da vela liberava o flogístico que reagia com o ar da atmosfera que continha o ar desflogisticado, o qual ia se tornando mais flogisticado [...] Ao cobrir a vela o recipiente se torna saturado de flogístico e não reage mais com o ar desflogisticado”. E5</i>
<i>“A vela se apagaria em ambiente fechado porque o ar desflogisticado era limitado e após um tempo ficaria saturado de flogístico, ficando impossibilitado de receber mais”. E6</i>
<i>“A combustão irá acabar quando o ar desflogisticado não puder mais receber o flogístico”. E7</i>
<i>“A queima precisa do ar desflogisticado e a queima solta flogístico fazendo com que o ar ficasse saturado, apagando a vela”. E8</i>
<i>“A vela libera o flogístico e o ar desflogisticado o recebe, mas quando esse ar fica saturado de flogístico não pode mais acolhê-lo e a vela apaga, ou seja, não teria mais ar dentro do recipiente para caber flogístico”. E9</i>
<i>“Com a falta do ar fixo a vela se apaga”. E11</i>
<i>“É quando acaba o flogístico e não pode mais acolhê-lo”. E12</i>
<i>“A vela iria apagar porque o ar desflogisticado ficara saturado com o flogístico”. E13</i>
<i>“A chama cessaria quando o ar desflogisticado estivesse saturado”. E14</i>

O aluno E11 demonstra certa confusão em relação aos termos utilizados naquela época para os ares, isto porque utiliza o termo “ar fixo” ao invés de “ar desflogisticado”. Já o aluno E12 ao invés de dizer que em ambiente fechado a quantidade de ar desflogisticado era limitada, descreve que acaba o flogístico. Contudo não podemos afirmar categoricamente que o aluno não compreendeu as explicações relacionadas à teoria de Priestley, isto porque pode ter se confundido apenas no momento da escrita.

Além disso, os alunos conseguiram explicar de forma satisfatória as ideias de Scheele e de Lavoisier para a existência do novo ar.

Quinta Categoria: Boa compreensão e Aplicação das Teorias ao Fenômeno Investigado.
Lavoisier
<i>“No momento em que o ar vital acabar a combustão para, pois, a reação entre o combustível e o ar vital não é mais possível”. E1</i>
<i>“Lavoisier não relacionava o flogístico ao processo de combustão. A reação se dava entre o combustível e o ar vital”. E3</i>
<i>“O combustível absorvia o ar vital dentro do recipiente e era liberado o ar fixo e a vela apagava”. E5</i>
<i>“A vela se apagaria em ambiente fechado devido à ausência do ar vital”. E6</i>
<i>“Lavoisier descartou a teoria do flogístico, o ar vital é o responsável por participar da reação de combustão. Sendo assim a queima só termina quando em ambiente fechado o ar não estiver na quantidade necessária para suportar a combustão”. E7</i>
<i>“Necessita de ar vital, com a queima este ar acabava e a vela apaga”. E8</i>
<i>“[...] a vela apaga em ambiente fechado porque o ar vital é limitado e é esse ar que reage com o combustível (vela), assim a reação para”. E9</i>
<i>“[...] pela falta do oxigênio a vela se apaga”. E11</i>
<i>“Quando o ar vital se acaba, para a reação”. E12</i>
<i>“[...] a vela irá após alguns segundos, ela não permanecerá acesa por falta de ar vital”. E13</i>
<i>“[...] a vela apagaria quando o ar vital acabasse, pois a reação entre o ar vital e o combustível não seria mais possível”. E14</i>

Uma análise comparativa das respostas em relação ao questionário inicial e final nos permite afirmar que o debate pautado em ideias flogistonistas sobre o fenômeno corriqueiro da vela acesa foi interessante, no sentido que houve progresso significativo quanto à compreensão dos acadêmicos sobre a aplicação do flogístico no processo de combustão. Inicialmente eles não tinham praticamente nenhum conhecimento sobre o que

seria a Teoria do Flogístico, mas, a partir dos estudos pautados nas ideias de Scheele e Priestley, puderam entender e também aplicar tal teoria ao fenômeno investigado.

Conforme explica Marques (2015), o uso da História da Ciência no ensino facilita a aprendizagem de conceitos e faz com que os alunos consigam encontrar significado nos conteúdos. Seguindo as ideias de Ausubel *et al.*, (1980), podemos afirmar que a discussão dos textos históricos em sala de aula forneceu *subsunções* importantes para uma aprendizagem significativa das teorias da combustão. Isto porque os alunos adquiriram base para conseguir entender de onde e como surgiram os conhecimentos atuais e visualizaram de forma mais ampla a natureza da ciência, facilitando a aprendizagem. Constataram assim, que a atividade científica está intrinsecamente relacionada a interesses sociais, que vão além da conjuntura do laboratório, e que por isso é um produto histórico.

Outrossim, a abordagem histórica das teorias da combustão favoreceu a aprendizagem significativa por fornecer os conhecimentos prévios necessários para que os acadêmicos pudessem compreender como se dá o embate entre teorias e compreenderem como se chegou aos conhecimentos sistematizados que se tem acesso na atualidade. Deste modo, os conteúdos históricos funcionam de certa forma como um elo para que os alunos sejam capazes de compreender como se deu o início do processo de construção do conceito de oxigênio e sua participação nos processos de combustão.

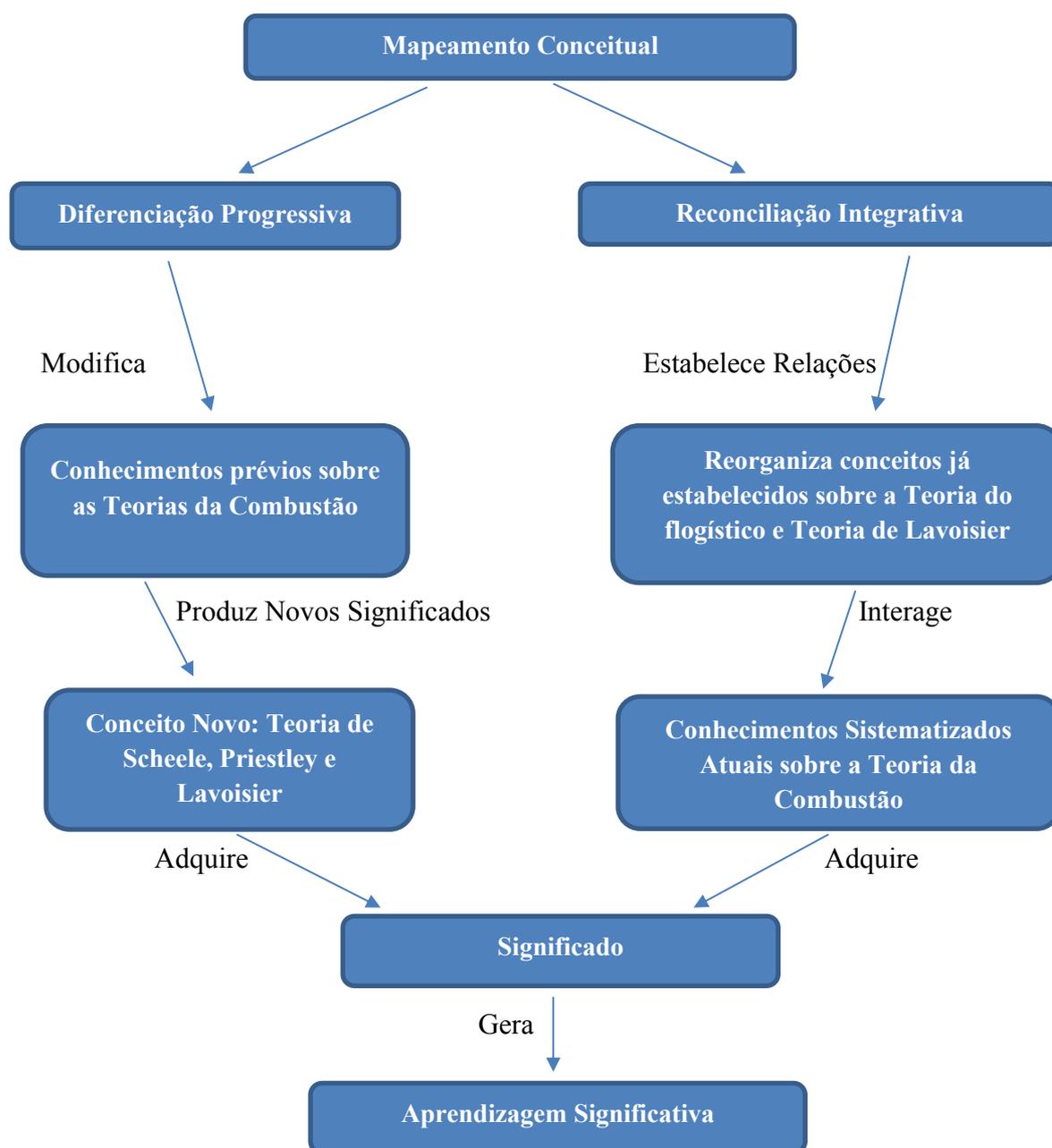
Sob essa ótica, de acordo com as ideias de Ausubel, citado por Moreira e Masini (1982) referente à Diferenciação Progressiva, os conhecimentos históricos trabalhados foram sofrendo modificações, adquirindo novos significados e se tornando mais elaborados, tornando possível a aprendizagem significativa dos novos conhecimentos referentes as teorias relacionadas aos episódios da combustão. Ou seja, a partir da origem do conhecimento os acadêmicos tiveram os *subsunções* necessários para compreender de forma significativa os conhecimentos sistematizados apresentados na atualidade.

Na mesma medida, considerando o processo de Reconciliação Integrativa de Ausubel, os alunos tiveram a oportunidade de fazer relações entre os conceitos e ideias que iam sendo estabelecidos sobre os episódios da combustão desde a teoria do flogístico a partir das ideias de Scheele e Priestley, reorganizando seus significados para

compreenderem de forma mais abrangente a atual teoria da combustão, a partir das ideias de Lavoisier.

Analisando as respostas dos alunos é possível analisar o processo de ensino-aprendizagem a partir do mapa conceitual de Ausubel que diz respeito a Diferenciação Progressiva e Reconciliação integrativa (Figura 6).

Figura 6 – Mapa Conceitual de Ausubel



Fonte: Adaptado de Skat, 2015.

É notável que os alunos tiveram um bom entendimento acerca das hipóteses levantadas por Scheele e Priestley sobre o papel do novo ar no processo de combustão/calцинаção. Conseguiram compreender a relação do flogístico nas explicações para a combustão de acordo com os pensadores da época que, mesmo sendo inovadoras, ainda se baseavam em concepções flogistonistas.

De acordo com Filgueiras (2007), apesar de Scheele ser um seguidor da teoria do Flogístico e com base nela ter buscado explicar seus resultados experimentais, ele foi capaz de averiguar a necessidade do ar de fogo para que a combustão ocorresse. Constatou que o dióxido de manganês, quando aquecido fortemente liberava um gás, o qual denominou “*ar de fogo*”. As constatações de Scheele foram um marco histórico para que surgissem novos estudos sobre este novo ar. Em carta a Lavoisier, Scheele relatou suas pesquisas sobre o assunto, por saber que Lavoisier dispunha de equipamentos mais sofisticados e que, por isso, poderia contribuir e validar suas hipóteses. Consta que Lavoisier nunca respondeu a carta de Scheele, frustrando as expectativas do pesquisador nórdico.

Conforme destaca Filgueiras (2007), dois anos depois de Scheele haver produzido seu “*ar de fogo*”, Priestley, por meio de seus experimentos, obteve resultado semelhante ao aquecer o *mercurius calcinatus*, sem a presença de carvão e evolução de um ar que prolongava a respiração animal e ardia mais fortemente a chama de uma vela, dando a este novo ar o nome de “*ar desflogisticado*”, já que acreditava que o novo ar era capaz de receber o flogístico liberado pelo combustível durante a queima. Priestley também contribuiu para que Lavoisier conseguisse chegar as suas novas conclusões, especialmente por ter relatado a ele no ano de 1774 seus novos resultados, em particular a obtenção do novo “ar”.

Os alunos notaram que Lavoisier não aceitava a existência do Flogístico nas substâncias combustíveis, relacionando a combustão apenas à presença do ar vital, dando indícios de terem compreendido que o estudioso deu início à derrubada da Teoria do Flogístico, processo que ainda levaria longos anos. Todos os alunos, ao descreverem as ideias de Lavoisier sobre a combustão, relacionaram o fenômeno apenas ao ar vital, sendo que os alunos E3, E7 e E12 relataram claramente que Lavoisier descartou a existência do flogístico nas substâncias combustíveis.

Os alunos puderam compreender a Teoria do Flogístico a partir dos trabalhos dos pensadores da época. Também notaram que, apesar dos referidos estudiosos seguirem tais ideias e explicarem a presença do novo ar de acordo com esta perspectiva, deram um passo à frente para a busca de novas respostas para a real função do oxigênio no processo de combustão. Os alunos notaram que o atual gás oxigênio, no momento histórico abordado, recebeu diferentes nomenclaturas, de acordo com as concepções de cada pensador.

O “*ar de fogo*” de Scheele e o “*ar desflogisticado*” de Priestley, após as novas conclusões de Lavoisier, passou a ser denominado por este de “ar eminentemente respirável” e posteriormente de “ar vital”. Em 5 de setembro de 1777 Lavoisier apresenta à academia uma nota afirmando.

De agora em diante designarei o ar desflogisticado ou ar eminentemente respirável, no estado de combinação ou fixidez, pelo nome de *princípio acidificante* ou, se se prefere o mesmo significado com um nome grego pelo de *principe oxygine*. Esta denominação [...] dará mais rigor ao meu modo de expressão e evitará as ambiguidades em que nos arriscaríamos a cair com a palavra ar (LAVOISIER, apud BELL, 2007, p. 103).

Pelas produções analisadas é possível afirmar que os alunos foram compreendendo que, na realidade, as teorias competem entre si e se sucedem umas às outras. Isto devido à constatação de que o mesmo gás recebeu diferentes nomenclaturas de acordo com as concepções de cada pensador. Especialmente observaram que houve conflitos entre teorias e que, a rigor, as três explicavam satisfatoriamente o fenômeno envolvido. Desta forma, a teoria de Lavoisier não nasceu e também não se consolidou sozinha, mas é resultado de embates teóricos oriundos do século XVIII. Na mesma medida, nos dias atuais existem teorias que rivalizam ao apresentarem explicações diferentes para um mesmo fenômeno.

Vale lembrar que as ideias de Lavoisier não foram aceitas de imediato pela comunidade científica pois naquela época ainda existiam muitos flogistonistas especialmente na Inglaterra, que rivalizavam, do ponto de vista científico, com a França. O fato é que a teoria de Lavoisier não conseguiu se consolidar logo de início e este reconhecimento aconteceu algum tempo depois.

Os alunos puderam constatar a importância de cada pesquisador para se chegar ao conhecimento produzido na época, que tem repercussão na atualidade. Isto se torna importante para desmitificar a ideia de que os conhecimentos científicos surgem ao acaso, prontos, a partir das ideias de gênios isolados, sem qualquer rivalidade entre teorias. Ao contrário, este estudo foi um passo inicial para que os acadêmicos percebessem toda a dinamicidade do processo científico e as dificuldades enfrentadas para que uma teoria possa ser aceita pela comunidade científica.

A análise produzida nos permite assegurar que o procedimento adotado fez com que os alunos compreendessem alguns aspectos de diferentes teorias sobre a combustão. Em diversos momentos durante a apresentação eles manifestaram terem entendido a existência de rivalidade entre as teorias. Os acadêmicos puderam ter acesso às ideias elaboradas por outros pensadores, o que contribuiu para desmistificar Lavoisier como o gênio da Química que descobre teorias sozinho, totalmente isolado do seu meio social. Demonstraram perceber que o conhecimento é um produto histórico, resultado de discussões e embates teóricos entre pesquisadores que rivalizam defendendo opiniões divergentes em um mesmo contexto. Existem evidências destas percepções nas respostas apresentadas pelos alunos nas questões finais do segundo questionário, as quais são apresentadas na sequência.

5.5 Etapa 5: Análise das questões 5 a 9 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.

Discutiremos nessa seção as respostas às questões 5 até 9 do questionário final, em que procuraram identificar evidências de mudança de pensamento dos estudantes quanto a aspectos epistemológicos da Ciência. Nossa abordagem se dará em quatro blocos de análise.

5.5.1 Análise das questões 5 e 6 do questionário final.

Buscando investigar se os alunos tiveram mudanças consideráveis em suas concepções a partir dos estudos realizados, algumas questões de aspecto epistemológico foram lançadas. Buscou-se com isso verificar se os acadêmicos compreenderam que as teorias de Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier explicavam de forma satisfatória os fenômenos relacionados à queima da vela em ambiente fechado. Caso a resposta tenha sido afirmativa, os alunos foram questionados sobre o porquê de tais teorias não serem expostas aos alunos nos dias atuais e se existe alguma delas que prevaleceu, conforme segue:

Questão 5: Na sua opinião, as três teorias conseguem explicar satisfatoriamente *a queima e o apagamento* da vela em ambiente *fechado*? Explique cada caso.

Questão 6: Se sua resposta à questão anterior foi SIM, por que razão as três teorias não são apresentadas hoje? Alguma delas prevaleceu sobre as demais? Qual?

Em todas as respostas examinadas constata-se que os acadêmicos compreenderam que as explicações dadas pelos pensadores naquela ocasião eram satisfatórias, mas que a Teoria de Lavoisier prevaleceu sobre as demais. Nesse quesito seguem algumas respostas que surgiram para a questão 5, correlacionada à questão 6.

Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.
--

<i>“Sim, pelo conhecimento que tinham naquela época, Scheele e Priestley acreditavam na existência do Flogístico que era algo misterioso, pois não podia ser visto. Por isso as teorias foram caindo por terra [...] Lavoisier percebeu que ao invés do combustível liberar Flogístico, o ar vital participava da reação”.</i> E1

<i>“As teorias não são apresentadas porque foram ofuscadas pela teoria de Lavoisier”.</i> E1
--

<i>“Sim, o que difere é que para Scheele e Priestley existia o Flogístico, talvez se eles tivessem tentado uma nova teoria que não incluísse o Flogístico, tivessem tido mais sucesso em suas explicações”.</i> E2
--

<i>“Lavoisier conseguiu uma explicação mais lógica e condizente com a realidade do que os outros [...] Apesar disso, Scheele e Priestley tiveram um papel importante para a evolução da teoria. A teoria de Lavoisier prevaleceu”.</i> E2

<i>“Sim todos conseguem explicar satisfatoriamente a queima e o apagamento da vela, porém Lavoisier vai além, relacionando o oxigênio a combustão devido ao aumento de</i>
--

massa no produto obtido após a reação, relacionando tal acréscimo à fixação do gás”. E3

“Talvez porque Lavoisier teve mais notoriedade sobre as demais teorias. Cabe lembrar que se Scheele não tivesse contado sobre suas pesquisas/experimentos a Lavoisier através de uma carta e Priestley não tivesse falado sobre seu trabalho a Lavoisier em um jantar em Paris Lavoisier não teria a notoriedade que tem”. E3

“Sim, todas as teorias explicam a combustão e o apagamento da vela [...] Mas não como conhecemos hoje”. E5

“A que prevaleceu foi a de Lavoisier, contudo os trabalhos de Scheele e Priestley e Lavoisier foi o início de tudo o que sabemos hoje [...] sem os estudos deles nada do que sabemos teria fundamento”. E5

“Sim, pois cada teoria usa de bases satisfatórias para explicar o motivo de a vela se apagar [...] Mesmo que de maneiras diferentes nas três teorias se sabia que era necessário o oxigênio, que é o gás que conhecemos hoje”. E6

“Uma teoria vai sendo melhor elaborada e começa a se sobressair sobre as demais. Apesar da teoria de Lavoisier ter sofrido algumas modificações, teve uma explicação mais clara em relação as demais”. E6

“ Sim. Todas estão relacionadas com as reações que acontecem durante a combustão, entretanto cada uma de uma maneira diferente”. E7

“Porque as teorias de Scheele e de Priestley utilizavam a teoria do Flogístico, já Lavoisier relacionou o ar vital sendo consumido durante a combustão”. E7

“ As três teorias conseguem explicar a queima e o apagamento da vela. Porém cada uma da sua maneira [...] Lavoisier derrubou a Teoria do Flogístico”. E8

“A Teoria de Lavoisier é a mais atual e as demais foram esquecidas, porém Lavoisier utilizou os conhecimentos de Scheele e Priestley”. E8

“Sim. Scheele explica o ar de fogo, Priestley explica o ar desflogisticado e Lavoisier explica a reação com o ar vital”. E9

“As três teorias não são apresentadas atualmente porque apenas Lavoisier recebeu o mérito pelas pesquisas [...] A Teoria de Lavoisier foi a mais consistente e acabou prevalecendo sobre as Teorias de Scheele e Priestley “. E9

“ Sim, as três teorias conseguem explicar com seus recursos da época”. E11

“[...] A teoria de Lavoisier torna mais simples o entendimento da questão para explicar o oxigênio[...]. E11

“ Sim, cada cientista explicou de acordo com sua visão e com seus experimentos”. E12

“ A de Lavoisier prevaleceu”. E12

“Sim...com a teoria de Scheele o ar de fogo faz a vela permanecer acesa e com a falta ela apagava. Falando de Priestley o ar desflogisticado mantinha a vela acesa e quando ficava saturado de flogístico a vela apagava. Lavoisier com a teoria do ar vital”. E13

“ A teoria da combustão de Lavoisier mostrou muitos detalhes que outros ainda não tinham percebido”. E13

“ Sim, de acordo com o conhecimento de cada época[...] cada um utilizando nomes diferentes, porém Scheele e Priestley acreditavam na existência do flogístico enquanto que Lavoisier desenvolveu uma teoria mais explicativa sobre a combustão a partir do combustível e o ar vital”. E14

“As teorias não são mencionadas, pois foram ofuscadas pela de Lavoisier”. E14

Nos trechos apresentados destaca-se a significativa compreensão dos acadêmicos no que se refere à visão da Ciência como uma forma de interpretar o mundo. Os alunos demonstraram ter entendido que os pensadores conseguiram interpretar os fenômenos de acordo com sua visão na época e que naquele momento histórico eram válidas. Notaram também que a interpretação é passível de mudanças e que isto aconteceu a partir do momento que Lavoisier passou a refutar a Teoria do Flogístico, dando início a novas pesquisas.

Tais fatores comprovam que ocorreu uma mudança significativa na concepção dos acadêmicos. Inicialmente eles relacionavam a produção de conhecimentos exclusivamente a métodos rigorosos de análises, mas, a partir dos estudos realizados, puderam compreender os saberes como produção humana, resultado de divergências, conflitos e questionamentos. Deste modo, foi possível que os mesmos pudessem atribuir um caráter mais social à Ciência, reconhecendo a importância dos pensadores da época para a evolução do pensamento químico.

De acordo com Bell (2007), Scheele era um pesquisador modesto e quando comparado aos outros não demonstrava grande ambição. Em 1777 Scheele conseguiu isolar o oxigênio de vários óxidos diferentes e, apesar de conhecer claramente as propriedades deste gás, incorporou suas novas descobertas em termos do flogístico. Nesse sentido, a partir das respostas dos alunos é possível notar que entenderam a importância da descoberta de Scheele e que suas explicações eram satisfatórias naquele momento. Constataram que tanto Scheele quanto Priestley desempenharam um papel fundamental para que Lavoisier chegasse as suas novas constatações.

Os alunos E2 e E6 revelaram que Lavoisier se destacou frente aos demais por ter explicações mais simples e mais claras sobre a ação do oxigênio no processo de combustão. Para Bell (2007), a linguagem utilizada por Lavoisier facilitou muito a prevalência de sua teoria frente às demais, isso porque conseguia explicar de forma

simples e convincente como se dava o processo de combustão. Com base em estudos anteriores e trabalho colaborativo, postulou que o flogístico não existia e que, ao contrário do que pensavam os flogistonistas, o metal, ao invés de perder flogístico numa combustão, fixava o seu “ar vital”, em aumento de seu peso. Os alunos E1 e E6 salientam que as três teorias respondiam satisfatoriamente ao fenômeno. O aluno E1 ainda salienta que Lavoisier se destacou frente aos demais devido à sua nova visão, refutando a existência do misterioso flogístico.

Um fato importante em relação ao aluno E6 é quando diz que “... *uma teoria vai sendo melhor elaborada e começa a se sobressair sobre as demais...*”. Nesta afirmação é possível constatar que o aluno percebeu existir certa rivalidade entre teorias e que em determinado momento uma se sobressai frente às outras. Nesse sentido, o aluno revelou ter entendido a coexistência de várias teorias em um mesmo período para responder a certo fenômeno, ao invés da crença de que uma teoria é verdade única, absoluta e inquestionável ou é sucedida por outra de modo linear. Percebeu também que até mesmo a teoria de Lavoisier sofreu algumas reformulações de acordo com a necessidade de cada época. Por isso, as teorias nunca podem ser vistas como definitivas, pois sofrem mudanças ou até mesmo são descartadas para dar lugar a novas conclusões.

Além disso, o aluno E3 admitiu a importância do trabalho dos demais pesquisadores para o progresso da ciência e que, em parte, as conclusões de Lavoisier se deram a partir de estudos anteriores. Os alunos foram condizentes com seus argumentos e a mudança de concepção é perceptível. Isso porque, passaram a ver os conhecimentos científicos como resultados de embates teóricos e rivalidade entre os pesquisadores e como um produto social, não atrelado apenas ideias geniais, nas quais o pesquisador “descobre” teorias a partir da observação neutra dos fenômenos.

Conforme explicam Silva *et al.*; (2009), é comum ser atribuído a Lavoisier representações do tipo “pai da química” ou “revolução química lavoisieriana”. Isto porque o pesquisador possui a imagem de gênio da ciência e na maioria das vezes se destaca frente a outros pensadores importantes da mesma época. Existem concepções distorcidas sobre o trabalho científico de Lavoisier atribuindo ao mesmo de forma isolada a responsabilidade do nascimento da Química Moderna. Conforme destaca Bastos (1998), a abordagem histórica dos conteúdos permite fazer com que os alunos abandonem tais

visões estereotipadas e construam concepções que possam favorecer uma formação mais crítica e condizente com a atualidade.

O aluno E5, além de reconhecer que as três teorias conseguiam responder de forma satisfatória ao fenômeno relacionado à queima da vela, ainda discorre que sem os estudos dos pensadores da época nada do que se sabe na atualidade teria sentido. Neste aspecto, Serafim (2015), ressalta a dificuldade que os alunos têm em relacionar as teorias estudadas em sala de aula com os acontecimentos à sua volta. Na maioria das vezes, não conseguem encontrar significado nos conteúdos, pois os mesmos são apresentados de forma totalmente fragmentada e desvinculada do seu meio social, não sabem de onde surgiram e para que servem os saberes ensinados no âmbito escolar. Tal fato é comprovado pela fala do acadêmico E5, ao reconhecer que sem o acesso as origens do conhecimento, não é possível compreender as teorias atuais, reforçando que reconheceu a importância da inserção da História da Ciência no ensino.

5.5.2 Análise da questão 7 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química

Dando continuidade à investigação os acadêmicos também foram questionados sobre os livros didáticos de Química, conforme segue:

Questão 7: Analisando os livros didáticos de química, você acredita que apresentam uma abordagem histórica sobre os episódios da combustão desde a Teoria do Flogístico até a teoria moderna de Lavoisier? Como tais fatos são retratados?

A maioria dos alunos respondeu que os livros didáticos de Química não contemplam questões históricas e quando algo é apresentado, referem-se apenas descobertas pontuais de alguns pensadores que se destacaram, como por exemplo, Lavoisier.

A fala dos alunos confirmou que eles chegaram à conclusão de que superficialmente são tratados os aspectos históricos da Ciência nos livros didáticos, colaborando para a

permanência de uma visão a-histórica e acrítica da Ciência nos professores e também nos futuros professores. Seguem trechos das produções de alguns alunos:

Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.
<i>“Estes fatos são trazidos de forma muito superficial [...] não explicam sobre como surgiram estas teorias” E1.</i>
<i>“Não, quando citados só é dada uma pequena notinha sobre, o mais citado é Lavoisier” E2.</i>
<i>“Não, apenas uma menção muito superficial sobre algo voltado para a história da Química [...] Lavoisier costuma ser mais enfatizado como propulsor da Química Moderna” E3.</i>
<i>“Não [...] Se corre muito com a matéria e só passam os principais fatos” E4.</i>
<i>“Não, em tudo que já estudei nos livros de química não houve um momento em que se apresentou as teorias da combustão [...] Os professores também não buscam explicar estas teorias em sala de aula” E5.</i>
<i>“Não claramente, é feita uma abordagem geral muito resumida que deixa de lado vários pontos importantes a respeito desta parte histórica da Química” E6.</i>
<i>“Apresentam de forma muito superficial [...]”. E7</i>
<i>“ Nos livros é citado apenas Lavoisier, a Teoria do Flogístico é vagamente lembrada, porém é de suma importância conhecermos as histórias/teorias passadas para um melhor entendimento do assunto”. E8</i>
<i>“ Não, esses fatos são abordados superficialmente e muitas vezes não são nem citados”. E9</i>
<i>“ Não, nunca havia ouvido falar até então, no ensino médio não me lembro de ter visto em algum livro nem de ter sido falado pelos meus professores. Ouvi falar apenas da Teoria de Lavoisier”. E10</i>
<i>Pelos livros didáticos não temos acesso a história da Química, ainda mais falando de um assunto de tal importância como o que aqui foi abordado no decorrer dessas aulas”. E11</i>
<i>“Não, só tinha ouvido falar de Lavoisier e não me lembrava muito bem, pois ficou muito vago”. E12</i>
<i>Os livros didáticos do ensino médio apresentam a teoria de Lavoisier, sem detalhes,</i>

<i>bem resumida, com poucos argumentos”. E13</i>
--

<i>A História da Química recebe pouca importância nos livros didáticos. Digo isso por experiência própria, pois nunca tive acesso a esse conteúdo tão importante”. E14</i>
--

A partir da análise dos trechos fica nítida a constatação de que os alunos não tiveram acesso a conteúdos relacionados a História da Química a partir dos Livros didáticos. Os alunos E8, E11 e E14 destacam a importância do acesso a tais conhecimentos no decorrer de sua vida acadêmica. Neste sentido Marques e Caluzi (2005) asseveram que na maioria das vezes os livros de Química não abordam os acontecimentos históricos relacionados à construção do conhecimento e quando trazem algo, se restringem a apresentação dos “grandes gênios” da ciência, além disso de forma isolada, como se investigassem e elaborassem teorias complexas isolados de seu contexto social. Os conteúdos são apresentados como algo pronto e definitivo, totalmente desvinculados das questões históricas, econômicas, sociais e também políticas que os deram origem. Tais fatores transmitem a ideia de que a Ciência se constrói de forma linear e objetiva por meio de manuais rígidos que devem ser seguidos com total neutralidade do pesquisador.

5.5.3 Análise da questão 8 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química

Na sequência foram analisadas as respostas dos acadêmicos com base na seguinte questão:

Questão 8: As novas conclusões de Lavoisier se deram de forma isolada ou ele se baseou em estudos anteriores? Argumente.

Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.
--

<i>“Lavoisier se baseou em estudos anteriores para chegar as suas novas conclusões“.</i> <i>E1</i>

<i>“Ele se baseou em outros estudos, especialmente nos estudos de Scheele e Priestley, a partir daí conseguiu formular sua teoria” E2</i>
<i>“Seus estudos estão fortemente relacionados aos experimentos e ideias de Carl Scheele e Joseph Priestley”. E3</i>
<i>“As conclusões de Lavoisier foram baseadas em estudos anteriores. Ele chegou às próprias conclusões, mas não de forma isolada” E6</i>
<i>“Foi com base em estudos anteriores, pois ele descartou a Teoria do Flogístico que serviu de base para iniciar seus estudos”. E7</i>
<i>“ Lavoisier recebeu a carta de Scheele e nela constava informações sobre o ar de fogo. Já Priestley jantou com Lavoisier e contou que o mercurius precipitatus liberava um gás que ele chamou de ar desflogisticado, o qual prolongava a respiração e intensificava a chama de uma vela. A partir daí ele desenvolveu sua teoria que derrubou a teoria do flogístico”. E8</i>
<i>“ Ele se baseou nas teorias anteriores mas chegou a coisas inéditas”. E9</i>
<i>“ Ele se baseou sim em estudos anteriores, em contato com Priestley pegou algumas informações para chegar as suas conclusões”. E10</i>
<i>“ Se baseou em estudos anteriores para chegar as suas conclusões”. E11</i>
<i>“ Ele se baseou em outras teorias para chegar a teoria do oxigênio, pois teve um encontro com Priestley, o qual contou seus estudos a Lavoisier”. E12</i>
<i>“ Com base na literatura quem iniciou tais pesquisas foi Scheele. Uma certa noite em um jantar Priestley revelou seus experimentos a Lavoisier que as utilizou para suas novas teorias”. E13</i>
<i>“ Se baseou em estudos anteriores como o de Priestley que teve um encontro com Lavoisier em Paris, no qual eles conversaram sobre seus estudos”. E14</i>

Como se pode constatar na fala dos alunos, mesmo sendo um tanto quanto sucintos em suas respostas, averiguaram que os conhecimentos não surgem ao acaso de forma objetiva e linear. Além disso, conseguiram visualizar que a construção do conhecimento não começa com a observação neutra, pois o pesquisador dispõe de concepções prévias decorrentes de leituras e interações para dar início as suas pesquisas. Deste modo, concluíram que os conhecimentos não surgem de forma espontânea e natural pela simples observação e uso direto dos sentidos, mas que na realidade existe um confronto de ideias dentro da comunidade científica e que a prevalência de uma teoria não

implica, necessariamente na exclusão da outra, pois naquele momento, as três teorias respondiam satisfatoriamente a queima da vela em diferentes situações.

As respostas revelam um dado importante, os alunos notaram que as teorias são passíveis de mudanças, não relacionando o conhecimento a algo já pronto e definitivo. Na maioria das vezes, alunos do ensino médio e também de universidades acreditam, por influência de seus professores, que o conhecimento surge ao acaso. É como se de um dia para outro o cientista entrasse em seu laboratório e as ideias surgissem naturalmente, como se aquela pessoa já fosse escolhida para tal descoberta (MARQUES e CALUZI, 2005). Nesse sentido, este estudo foi importante para que os alunos percebessem que os “cientistas” eram e continuam sendo pessoas comuns, que interagem com o seu meio social, trocam ideias e como qualquer outro ser humano, possuem crenças e valores.

Reiterando os resultados aqui obtidos, Martins (1998) destaca que o ensino com base na História da Ciência é importante, pois mostra todo o processo gradativo e também lento da construção do conhecimento científico atualmente aceito. Isto certamente facilita a aprendizagem, pois os alunos começam a perceber que suas dúvidas sobre o fenômeno em questão são válidas e passam a se interessar mais pelos conteúdos relacionados à Química. Tais fatores certamente contribuem para a superação de concepções alicerçadas em ideias empírico-indutivistas, por apontar toda a dinamicidade do processo científico.

5.5.4 Análise da questão 9 do questionário final - Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química

Os alunos foram questionados sobre as novas conclusões de Lavoisier, conforme exposto:

Questão 9: O *oxygene* de Lavoisier é o mesmo oxigênio de hoje? Quais suas semelhanças e diferenças?

Uma análise das respostas nos permite afirmar que a maioria dos acadêmicos conseguiu notar que o oxigênio de Lavoisier não é o mesmo oxigênio que conhecemos na atualidade. Seguem fragmentos das respostas:

Sexta Categoria: Indícios de mudança de concepção epistemológica a partir de estudos voltados para a História da Química.
<i>“[...] Não, defendia que o oxigênio era acompanhado por luz e calor”. E1</i>
<i>“Não, o ar vital = príncipe oxygine + luz + calor, considerava luz e calor como matéria”. E3</i>
<i>“[...] Não, defendia a presença do oxigênio, luz e calor”. E4</i>
<i>“Não, para Lavoisier o ar vital era composto de luz, calor e príncipe oxygine, ele acreditava que luz e calor estavam presentes no ar vital. Como sabemos hoje luz e calor não são matérias”. E6</i>
<i>“[...] Não, a diferença é que ele relacionava que o ar vital possuía “príncipe oxygine + luz + calor”, ou seja, para ele para ele luz e calor era matéria e não somente oxigênio”. E7</i>
<i>“O oxigênio de Lavoisier era composto por princípio oxygine + luz + calor. Sabemos que hoje em dia não é formado desta maneira”. E8</i>
<i>“O oxigênio de Lavoisier era chamado de ar vital e era formado por oxygine, luz e calor. Então não é o mesmo de hoje [...] porém hoje em dia o calor e a luz não são matéria e o oxigênio não é um gerador de ácidos”. E9</i>
<i>“ O nome oxigênio vem de ácidos, mas sabemos que nem todo ácido possui oxigênio e para Lavoisier era Oxigênio+ luz + calor”. E10</i>
<i>“ Não, pois era ar vital: príncipe oxygine + luz + calor”. E11</i>
<i>“ Não. Pois o oxigênio tinha ácido e hoje ele não possui”. E12</i>
<i>“ Não é o mesmo de hoje [...]. Para ele luz + calor + príncipe oxygine fazia parte do ar vital”. E13</i>
<i>“ Não, pois ele afirmava que todo oxigênio continha ácido o que hoje sabemos que não acontece. Além de defender que o oxigênio era acompanhado de luz e calor”. E14</i>

Um aspecto importante a ser refletido nas respostas dos acadêmicos refere-se ao fato de admitirem que mesmo a teoria de Lavoisier prevalecendo frente às demais, ela

continuou sofrendo mudanças até chegar ao conhecimento que temos acesso na atualidade. Deste modo, demonstraram ter compreendido as constantes modificações que podem ocorrer em uma teoria, de modo a responder de forma satisfatória às exigências de cada contexto.

Os alunos E12 e E14 demonstram certa confusão em relação as ideias de Lavoisier e descrevem de forma equivocada que o oxigênio possuía ácido, não sendo possível compreender a real intenção do acadêmico. Parece ter ocorrido uma inversão em relação aos termos. De acordo com Filgueiras (2007), naquela época Lavoisier deu nome de oxigênio, que significa formador de ácido, por que acreditava na combinação de um princípio fundamental com material de fogo, sendo que no processo calcinação o *principe oxygine* se fixava no metal e o calórico se perdia.

De acordo com Bell (2007) e Filgueiras (2007), Lavoisier conseguiu demonstrar a presença do “ar vital” em substâncias como ácido carbônico, ácido oxálico, dentre outros. Conforme explica Santin Filho (2013) é importante notar que Lavoisier e outros estudiosos da época designavam por ácidos o que hoje chamaríamos de óxidos dos elementos não metálicos iniciais. Deste modo, o oxigênio, que significa formador de ácidos, seria a combinação de um princípio fundamental, denominado de *principe oxygine* somado a outras entidades mais simples que seriam matéria da luz e matéria do calor.

$$\textit{Ar vital} = \textit{principe oxygine} + \textit{luz} + \textit{calor}$$

A tabela dos elementos simples de Lavoisier, estampada na sua obra Tratado Elementar de Química (Figura 7) confirma essa concepção.

Figura 7: Página da obra *Traité Élémentaire de Chimie*.

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	<i>Noms nouveaux.</i>	<i>Noms anciens correspondans.</i>	
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.</i>	Lumière.....	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.	
	Calorique.....	Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital. Base de l'air vital. Gaz phlogistiqué.	
	Oxygène.....	Mofete. Base de la mofete. Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.	
	Azote.....	Soufre.	
	Hydrogène.....	Phosphore.	
	<i>Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Soufre.....	Charbon pur.
		Phosphore.....	Inconnu.
		Carbone.....	Inconnu.
		Radical muriatique.	Inconnu.
		Radical fluorique.	Inconnu.
Radical boracique.		Antimoine.	
Antimoine.....		Argent.	
Argent.....		Arsenic.	
Arsenic.....		Bismuth.	
Bismuth.....		Cobolt.	
<i>Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Cobolt.....	Cuivre.	
	Cuivre.....	Etain.	
	Etain.....	Fer.	
	Fer.....	Manganèse.	
	Manganèse.....	Mercure.	
	Mercure.....	Molybdène.	
	Molybdène.....	Nickel.	
	Nickel.....	Or.	
	Or.....	Platine.	
	Platine.....	Plomb.	
<i>Substances simples salifiables terreuses.</i>	Plomb.....	Tungstène.	
	Tungstène.....	Zinc.	
	Zinc.....	Chaux.....	
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.	
	Magnésie.....	Magnésie, base du sel d'Épsem.	
Baryte.....	Barote, terre pesante.		
Alumine.....	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.		
Silice.....	Terre siliceuse, terre vitrifiable.		

Fonte: https://fr.wikisource.org/wiki/Page:Lavoisier_Traité_élémentaire_de_chimie.djvu/236.

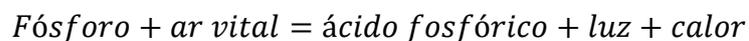
A figura 8 apresenta a tabela acima em português, conforme publicada na tradução do *Traité Élémentaire de Chimie* (Lavoisier, 2007).

Figura 8: reprodução da tabela original de Lavoisier, em português.

116		TRATADO ELEMENTAR DE QUÍMICA (1789)		117		
TABELA das Substâncias Simples						
Substâncias simples que pertencem aos três reinos e que podem ser vistas como os elementos dos corpos	Nomes novos	Nomes antigos correspondentes		Substâncias simples metálicas oxidáveis e acidificáveis		
	Luz	Luz			Antimônio	Antimônio
	Calórico	Calor			Prata	Prata
		Princípio do calor			Arsênico	Arsênico
		Fluido ígneo			Bismuto	Bismuto
		Fogo			Cobalto	Cobalto
		Matéria do fogo e do calor			Cobre	Cobre
	Oxigênio	Ar deflogisticado			Estanho	Estanho
		Ar empireal			Ferro	Ferro
		Ar vital			Manganês	Manganês
		Base de ar vital			Mercurio	Mercurio
	Azoto	Gás flogisticado			Molibdênio	Molibdênio
		Mofeta			Níquel	Níquel
	Hidrogênio	Base da mofeta			Ouro	Ouro
		Gás inflamável			Platina	Platina
	Base do gás inflamável		Chumbo	Chumbo		
Substâncias simples não metálicas oxidáveis e acidificáveis	Enxofre	Enxofre		Tungstênio	Tungstênio	
	Fósforo	Fósforo		Zinco	Zinco	
	Carbono	Carvão puro		Cal	Terra calcária, cal	
	Radical muriático	Desconhecido		Magnésia	Magnésia, base do sal de Epsom	
	Radical fluórico	Desconhecido		Barita	Barita, terra pesada	
Radical borácico	Desconhecido		Alumina	Argila, terra de alúmen, base de alúmen		
			Silício	Terra siliciosa, terra vidrificável		

Fonte: Lavoisier, A. L.; Tratado Elementar de Química; trad.; Trindade, L. S. P.; São Paulo: Madras, 2007.

Deste modo, no processo de combustão, o “ar vital” perde seu *principe oxygine*, que se combinava com o combustível, formando seus ácidos e liberando matéria de luz e calor.



No caso da calcinação de metais, o princípio oxigênio se fixa no metal gerando a cal metálica.



De acordo com esta concepção, Filgueiras (2007), salienta que várias dessas cais tendem a apresentar características ácidas. Santin Filho (2013) destaca que na combustão do fósforo, enxofre e outros materiais, há formação de ácidos. Daí a relação estabelecida

por Lavoisier de que todos os ácidos seriam substâncias oxigenadas. Somente muitos anos após sua morte essa noção foi modificada, isto porque foi constatado que existem muitos ácidos que não tem oxigênio, bem como muitos óxidos que não são ácidos. Apesar do nome não ser adequado para o gás, ele prevalece até hoje, mostrando a importância histórica dos estudos voltados para a combustão desde o século XVIII (FILGUEIRAS, 2007);

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas, identificamos mudanças entre a concepção inicial dos acadêmicos e a concepção após as intervenções e estudos por meio das abordagens histórias dos episódios da combustão, realizados no decorrer de três encontros.

Inicialmente os acadêmicos relacionaram o “método científico” à observação, etapas rígidas, formulação de hipótese, testes e, por fim, a conclusão. Ao longo das intervenções, os estudantes foram percebendo que as hipóteses levantadas por eles no experimento da vela não eram frutos de suas observações “neutras”, mas de conhecimentos prévios que já haviam sido aprendidos em algum outro momento antes da realização do experimento. Então começaram a perceber que as teorias não são resultado de observações neutras do pesquisador, mas assim como eles, antes de ir a um laboratório o cientista já pré-dispõe de conhecimentos compartilhados e apreendidos em outras ocasiões.

Deste modo, manifestaram indícios claros de terem compreendido que as teorias são decorrentes de embates teóricos e conflitos intelectuais em determinado contexto, e que não surgem espontaneamente a partir da ação isolada de “gênios” da Ciência, ou a partir um “único” método científico. Notaram ainda que os pensadores daquela época e os atuais cientistas são pessoas comuns, que possuem vida social e que interagem com o seu meio na busca por respostas satisfatórias para os problemas científicos. Esta constatação é bastante relevante, pois os acadêmicos puderam perceber a estreita relação existente entre ações humanas corriqueiras (cartas e jantares) e a atividade científica, sendo capazes de atribuir significado aos conhecimentos por ser um produto histórico e resultado do trabalho humano por meio de interações sociais.

Pelas respostas ao questionário final, demonstraram ter compreendido que as teorias de Scheele, Priestley e Lavoisier respondiam de forma satisfatória ao fenômeno da queima de uma vela em situações distintas. E que a prevalência de uma teoria não descarta necessariamente a outra, e que na comunidade científica, existem teorias que divergem em relação a determinado fenômeno, mas que coexistem e se rivalizam, buscando encontrar respostas para contestações e questionamentos.

Outro fato que merece destaque a partir das respostas dos acadêmicos é a desmistificação de Lavoisier como o “Pai da Química”. Isto por que foram capazes de visualizar que Lavoisier não foi o único responsável pelo progresso da Química de sua época, mas que tal se deu pelo trabalho colaborativo de outros pesquisadores que dispuseram de contribuições pertinentes.

Os alunos demonstraram ter compreendido as ideias de cada pensador de acordo com suas concepções naquele momento e que as constatações de Scheele e Priestley foram de extrema importância para que Lavoisier pudesse chegar às suas conclusões a respeito do “novo ar”. Além disso, notaram que uma teoria jamais pode ser vista como verdade definitiva e imutável, pois uma teoria está sempre sujeita a mudanças e reformulações de acordo com a necessidade de cada período. Isto foi evidenciado ao relatarem que o oxigênio de Lavoisier não era o mesmo oxigênio moderno que conhecemos, mas cuja concepção sofreu modificações. Apontaram então, que as teorias se sucedem umas às outras e que não são um produto final resultado de observações isoladas em laboratório, mas um produto histórico em constante transformação.

Ao final, os acadêmicos puderam expor suas opiniões a respeito da atividade que havia sido desenvolvida e também dar sugestões para melhorá-la. A maioria dos alunos descreveram que as intervenções foram pertinentes e que esse tipo de aula deveria ser realizado com mais frequência, haja vista a importância de tais reflexões para sua formação inicial. Alegaram a necessidade de palestras e cursos voltados para a História da Química no decorrer da graduação. Deste modo, temos a convicção de que tais estudos enriquecem a formação dos futuros professores, isto porque passam a ter uma visão mais crítica sobre a construção dos conhecimentos, abandonando ideias simplistas e distorcidas da Ciência e seus Métodos. Considerando ainda que, o acesso às suas origens facilita a aprendizagem, pois passam a entender de onde e porque surgiram tais conhecimentos e sua relação com os aspectos do seu meio social.

Do ponto de vista de aprendizagem, os conhecimentos adquiridos a partir dos aspectos históricos que permearam o trabalho dos três pesquisadores, serviram como *subsunçores* para que o trabalho de Lavoisier e os conhecimentos atuais relacionados a combustão fossem melhor compreendidos, para relativizar o papel das teorias, para estabelecer minimamente os aspectos sociais e pessoais que envolvem a produção científica e, finalmente, para que os acadêmicos pudessem compreender que os conceitos

evoluem, e que o oxigênio daquela época, independente a quem se atribua a sua “descoberta”, não é o oxigênio de hoje.

Acreditamos que a intervenção realizada por meio de uma abordagem histórica tenha sido fundamental para que os alunos participantes, ingressantes de curso de Química, pudessem ter contato com as principais teorias voltadas para o fenômeno da combustão, e que o trabalho tenha cumprido com sua função de fazer com que os acadêmicos pudessem dar um passo inicial na busca por caminhos capazes de prover uma mudança em suas concepções, favorecendo uma formação mais condizente com as ideias modernas de uma Ciência aberta, não linear e sujeita a alterações ao longo do tempo.

Cabe lembrar que no percurso do trabalho de campo tivemos algumas intercorrências, dentre elas o agendamento dos encontros. Isto porquê dependíamos da disponibilidade do professor em ceder suas aulas e por isso, os alunos não eram previamente avisados sobre as datas que aconteceriam a pesquisa e alguns não conseguiram participar de todos os encontros. Além disso, a maioria dos alunos moravam em outras cidades da região da COMCAM e dependiam do transporte intermunicipal para frequentarem o curso. Por esse motivo muitos acabavam chegando atrasado, ou mesmo faltando às aulas, o que comprometia a participação dos mesmos. Assim, dos vinte e seis alunos participantes, somente quinze conseguiram realizar todas as atividades propostas, inviabilizando a análise dos demais.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- ARRUDA, S. M.; LABURÚ C. E. Considerações sobre a função do experimento no Ensino de Ciências. **Revista Educação para a Ciência**. Disponível em <https://www.fc.unesp.br/Home/PosGraduacao/MestradoDoutorado/EducacaoparaaCiencia/revistacienciaeeducacao/cen03a03.pdf>. Acesso 13 de maio de 2015.
- BACON, F. **Novum Organum**. Trad. José Aluysio Reis de Andrade. 2. Ed. São Paulo: Abril Cultural, 1979.
- BARDIN, L. (2006). **Análise de conteúdo** (L. de A. Rego & A. Pinheiro, Trads.). Lisboa: Edições 70. (Obra original publicada em 1977).
- BASTOS, Fernando. O ensino de conteúdos de história e filosofia da ciência **Revista Ciência & Educação**, 1998 5(1), 55-72.
- BELL, M. S. **Lavoisier no Ano Um : nascimento de uma nova ciência numa era de revolução**; Tradução Ivo Korytowski. – São Paulo : Companhia das Letras, 2007.
- BELTRAN, M. H. R., “História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares,” **Abakós** 1 (2, mai. 2013): 67-77.
- BEHRENS, W. A. **O paradigma emergente e a prática pedagógica**. Curitiba: Champagnat, 2000.
- BIRK, J.P. e LAWSON, E. The persistence of the candle-and-cylinder misconception. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 7, p. 914-916, 1999.
- BOGDAN, R; BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação: uma Introdução à Teoria e aos Métodos**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.21, edição especial, 2004 p.9-30.

BRAATHEN C. **Desfazendo o Mito da combustão da Vela Para Medir o Teor de Oxigênio no Ar. Experimentação no Ensino de Química.** Química Nova na Escola. N° 12, Novembro, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio.** Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2000.

CACHAPUZ, A. **A Necessária Renovação no Ensino de Ciências.** 3° Ed.-São Paulo, 2011.

CASTRO, R. S.; A. M. P. CARVALHO (1992). História da Ciência: Investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física.** Florianópolis, 9, 3, 225-37.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PEREZ, D. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações.** 3. ed. São Paulo: Cortez, 1998.

CHALMERS, A. F. **O que é Ciência Afinal?** Tradução de Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHASSOT, A. **A Educação no Ensino de Química.** Ijuí: Unijuí, 1990.

CHASSOT, A. **Sete escritos sobre educação e ciência.** São Paulo Editora Cortez, 2008.

CONANT, J. **Harvard Case Histories in Experimental Science.** v.1. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957.

CRECCHI, R. M. **Imagens em livros didáticos de química no início do século XX: A CUBA PNEUMÁTICA.** Dissertação-(Mestrado). Pontifícia Universidade Católica PUC-São Paulo, 2009.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto.** Porto Alegre. Editora: Artmed. 2ª Edição. 2007.

FERRAZ, M. H. M. **O Processo de Transformação do Flogístico no Século XVIII**. São Paulo: PUC, 1991. Dissertação de Mestrado (Mestrado em História Social).

FILGUEIRAS, C. A. L. **Lavoisier** – o estabelecimento da química moderna. São Paulo : Editora Odysseus, 2007.

FONTANA, D. **Psicologia para professores**. São Paulo: Loyola, 1998.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, 2004, v. 8, n.2, UFRGS. Acessado em 08/07/2015.

GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A Natureza Pedagógica da Experimentação: Uma Pesquisa na Licenciatura em Química. **Quim. Nova**, Vol. 27, No. 2, 326-331, 2004.

GIL-PÉREZ, D.; FERNÁNDEZ, I.; CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. e PRAIA J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, 7 (2), 125-153.

GIL PÉREZ, D.; VILCHES, A. E C. FERREIRA-GAUCHÍA (2008). Overcoming the Oblivion of Technology in Physics Education. Em: <http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications/index.html>.

HANSON, N. R. Observação e interpretação. In: MORGENBESSER, S. (Org.). **Filosofia da Ciência**. São Paulo: Cultrix, 1975. p. 128-136.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v.12, n.3, 1994. p. 299-313.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles **Science & Education** vol 20, nº 3-4, 2011.

KOSMINSKY L.; GIORDAN M. Visões sobre Ciências e sobre o Cientista entre Estudantes do Ensino Médio. **Revista Química Nova na Escola** v. 15, p. 11-18, 2002.

KUHN, T. S. **A Estrutura da Revoluções Científicas**. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 2011.

LAUDAN, L. **O Progresso e seus problemas- Rumo a uma teoria do crescimento científico**. Tradução Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

LAVOISIER, A. L.; **Tratado Elementar de Química**. Tradução: Lais dos Santos Pires Trindade. São Paulo: Madras, 2007.

LIMA, J. F. L.; PINA, M. S. L.; BARBOSA, R. M. N.; JOFILI, Z. M. S. A contextualização no ensino de química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, nº 11, 2000.

LÔBO, S. F.; MORADILLO, E. F. Epistemologia e a formação docente em química. **Química Nova na Escola**, n. 17, p. 39-41, 2003.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MAAR, J. H. **Pequena História da Química** – Florianópolis: Papa Livro, 1999.

MAGALHÃES, B. L. A.; COSTA A. M. A. O flogístico na gênese das teorias de Lavoisier. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**. Série II. n. 53, 1994.

MALAMITSA, K.; KOKKOTAS, P.; STAMOULIS, E. **The Use of Aspects of History of Science in Teaching Science Enhances the Development of Critical Thinking – a Proposal**. In: International history, philosophy sociology & science teaching conference, Inglaterra: 2005.

MALDANER, O. A; PIEDADE, M. C. Ti. Repensando a Química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, nº 1, p. 15 –19, mai. 1995.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J. J. Contribuições da História da Ciência no Ensino de Ciências: Alternativa de Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Enseñanza de Las Ciencias**, 2005. Número extra. VII Congresso.

MARQUES, D. M. Formação de professores de ciências no contexto da História da Ciência. **Revista eletrônica História da Ciência e Ensino**. Volume 11, 2015 – p. 1-17.

_____. **Dificuldades e possibilidades da utilização da História da Ciência no Ensino de Química: um estudo de caso com professores em formação inicial.** Tese

(Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2010.

MARTINS, L. A. P. (1998). A História da Ciência e o Ensino de Biologia. **Jornal Semestral do Grupo de Estudo e Pesquisa em Ensino e Ciência da Faculdade de Educação da Unicamp**, 5, 18-21, 1998.

MARTINS, R. A. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**. Rio de Janeiro, RJ, n.9, p.3-5, 1990.

MARTINS, R. A. O que é ciência, do ponto de vista da epistemologia? **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa** (n. 9): 5-20, 1999.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. In: **Caderno Catarinense de ensino de física**. n. 12, vol. 3, 1995.

_____. (1990). Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira da História da Ciência**, 9, 3-5, 1990.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v.9 n.2, p.191-211, 2003.

_____. GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**. Ijuí:UNIJUÍ, 2007.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: A Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A., **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Editora UnB, 1999.

MORIN, E. **Ciência com Consciência**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001. 350p.

MORTIMER, E. F. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de Química: mudança conceitual e perfil epistemológico. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 242-249, 1992.

_____. E.F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**, 1ª edição, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2006.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. Políticas e práticas de livros didáticos de química. O processo de constituição da inovação x redundância nos livros didáticos de química de 1833 a 1987. In: ROSA, Maria Inês Petrucci; ROSSI, Adriana Vitorino (Ed.). **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**. Campinas: Átomo, 2008. p. 85–103.

NEVES, M. C. D. A História da Ciência no Ensino de Física. **Revista Ciência & Educação**, 1998, 5(1), 73–81.

NOVAK, J.D.; GOWIN, D.B. **Learning how to learn**. Cambridge: Cambridge University Press., 1984.

OKY, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O Ensino de História da Química: Contribuindo para a Compreensão da Natureza da Ciência. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Epistemologia-implicações para o ensino de ciências**. 1.ed. Porto Alegre: Evangraf, 2011. v.1.108p.

PAIXÃO, F.; CACHAPUZ, A. Mudança na prática de ensino da Química pela formação dos professores em História e Filosofia das Ciências. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 18, p. 31-36, 2003.

PARANÁ, Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes curriculares de Química para a Educação Básica**. Curitiba – PR, 2008.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, Maurício (org) **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001 p. 151.

PRAIA, P.; CAHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. A Hipótese E A Experiência Científica Em Educação Em Ciência: Contributos Para Uma Reorientação Epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

- ROSITO, B. A. O Ensino de Ciências e a Experimentação. In: MORAES, R. (org.). **Construtivismo e Ensino de Ciências: Reflexões Epistemológicas e Metodológicas**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.
- SALMON, W. C. Logical empiricism. In: NEWTON-SMITH, W. H. (Org.) **A companion to the philosophy of science**. Oxford: Blackwell, 2000. p. 233-242.
- SANTIN FILHO, O; TSUKADA, V. K; CEDRAN, J. da C. **O indutivismo ingênuo nas atividades experimentais iniciais de curso de graduação em Química: o experimento da vela**. História da Ciência e Ensino: construindo interfaces, v. 2, p. 48-75, 2010.
- SANTIN FILHO, O. A Combustão da Vela e os Trabalhos de Priestley, Scheele e Lavoisier. **IV Jornada da História da Ciência e Ensino**. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2013.
- SCHNETZLER, R. P. Pesquisa em Ensino de Química no Brasil: Conquistas e Perspectivas. **Química Nova**, v.25, suplemento 1, 2002. p.14-24.
- _____. Educação química no brasil: 25 anos de eneq - encontro nacional de ensino de química. In: ROSA, Maria Inês Petrucci; ROSSI, Adriana Vitorino (Ed.). **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**. Campinas: Átomo, 2008. p. 17–38.
- SERAFIM, M.C. A Falácia da Dicotomia Teoria-Prática. **Rev. Espaço Acadêmico**, 7. Acesso em 04. jul. 2015. Disponível em: //http://www.espacoacademico.com.br, 2001.
- SILVA, L. H. A., ZANON, L. B. A experimentação no ensino de ciências. In: SCHNETZLER, R. P. e ARAGÃO, R. M. R. (orgs.). **Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens**. Piracicaba: CAPES/UNIMEP, 2000.
- SILVA, R. T.; CURSINO, A. C. T.; AIRES, J. A.; GUIMARÃES, O. M. Contextualização e Experimentação uma análise dos artigos publicados na seção “Experimentação no Ensino de Química” da **Revista Química Nova Na Escola 2000-2008**. Ensaio – Pesq. Educ. Ciênc., dez. 2009, v.11, n.2. Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/217/249>. Acesso em 05/06/2015.

SKAT, Disponível em: <http://skat.ihmc.us/rid=1LQC6848B-DQ7PZ5-4J8D/Mapa%203.cmap>. Acesso em 02/12/2015.

STRATHERN, P. O sonho de Mendeleiev: a verdadeira historia da química. Tradução, Maria Luiza Borges – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 20002.

TAVARES, R. Aprendizagem Significativa e o Ensino de Ciências In: **Reunião Anual da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação**, 28, 2005, Caxambu. Disponível em <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/ANPED-28.pdf>, acessado em 26 julho 2015.

TRINDADE, L. dos S. P. **Alquimia dos processos de ensino-aprendizagem em Química: um itinerário interdisciplinar e transformação das matrizes pedagógicas**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Unicid, São Paulo, 2004.

TRINDADE, D. F. História da Ciência: uma possibilidade interdisciplinar para o ensino de ciências no Ensino Médio e nos cursos de formação de professores de ciências. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 257-272, jul | dez 2011.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo da Silva. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WIKIMEDIA, Disponível em:
https://upload.wikimedia.org/wikimedia/commons/c/c3/Hales_Stephen_trought_detail.jpg.
Acesso em 15/12/2015.

ZANON, L. B. “Implicações da pesquisa nas atividades de formação de professores,” in **I Encontro Paulista em Pesquisa em Ensino de Química**, Mesa redonda, 2004.

APÊNDICE 1

QUESTIONÁRIO INICIAL

Se você precisar de mais espaço para escrever, use o verso das folhas.

1) Você já ouviu falar em *método científico*? Descreva como seria esse método.

2) Você conhece alguma teoria da combustão? Procure explicá-la.

3) Você já ouviu falar da Teoria do Flogístico? E da Teoria de Lavoisier? Se ouviu, descreva-as.

APENDICE 2

ATIVIDADE DE LABORATÓRIO: O EXPERIMENTO DA VELA

(O procedimento abaixo foi retirado de uma apostila de laboratório de Química Geral, ministrada a alunos da 1ª série de um curso de Química de uma Universidade Estadual)

Procedimentos:

Materiais:

- Vela;

- Fósforo;

- Béquero ;

- Prato de vidro raso;

Etapas do experimento:

Passo 1:

Observar a vela apagada e registrar.

Passo 2:

Observar a vela acesa e registrar.

Passo 3:

Adicionar água no prato em que se encontra a vela e na sequência tampá-la com um béquer. Observar e registrar.

Passo 4:

Formular uma hipótese para o funcionamento da vela;

Testar a hipótese/experimentação;

Conclusão comprovando a hipótese levantada

Generalização;

Divulgação.

APENDICE 3

A Combustão da Vela e os Trabalhos de

Priestley, Scheele e Lavoisier

Prof. Dr. Ourides Santin Filho Universidade Estadual de Maringá; Centro de Ciências Exatas.

Débora Cristina Curto da Costa Bocato – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PCM/UEM

Com base no texto que segue, responda as questões em destaque no decorrer da leitura.

Introdução

Considere a seguinte situação-problema, com a qual você teve contato no laboratório: Ao encobrir uma vela acesa com o copo, ela se apagou após certo tempo. A explicação que temos hoje para esse fenômeno está baseada em modernas teorias sobre a combustão, mudanças de estados de oxidação e etc. Cabe, no entanto, algumas perguntas: essa explicação sempre existiu? Ela sempre foi a única, ou outras explicações existiram? Se houveram outras, por que razão elas foram superadas e apenas uma delas sobreviveu?

Responder às questões acima é um desafio, mas tentaremos lançar aqui a semente para uma nova proposta de ensino que nos convidará ao estudo de História da Ciência, com base no resgate histórico de algumas dessas explicações.

1. Abordagem histórica dos processos de combustão a partir do experimento da vela

Sabemos que há um processo de combustão ao se queimar uma vela. Podemos explorar algumas propostas de explicação para ele, que surgiram ao longo de algum período de desenvolvimento da Ciência e, embora as tentativas racionais de explicação para a combustão, para o fogo e a chama remontem aos gregos antigos, alguns séculos antes de Cristo, escolhemos abordar aqui o período que podemos classificar como o mais agudo para sua compreensão, que culminou com o trabalho do francês Antoine Laurent Lavoisier, na segunda metade do século XVIII. Qual foi sua proposta? Que outras lhe precederam ou foram simultâneas? Qual delas prevaleceu e por quê?

Não vamos nos deter aqui no detalhamento da multiplicidade de teorias e hipóteses que procuravam explicar os fenômenos envolvidos na queima de algum material, mas vamos abordar com algum detalhe aquela é considerada a primeira teoria unificadora na Química, a Teoria do Flogístico. A partir dela, vamos conhecer os modelos de combustão propostos por Carl Scheele, por Joseph Priestley e por Lavoisier. Antes, vejamos o status da Química no período em que floresceram suas ideias.

1.1. O status da Química na segunda metade do século XVIII

O momento histórico que nos interessa nesse trabalho é a segunda metade do século XVIII, período em que se aprofundou o estudo das propriedades químicas dos gases e da combustão. Para compreender um pouco a situação da Química daquela época, reproduzimos abaixo um longo trecho extraído de um artigo de Danielle Fauque, publicado na revista Química Nova.

O curso mais célebre de Paris era aquele lecionado por G. R. Rouelle no Jardim do Rei. Nele, Rouelle expunha a doutrina dos quatro elementos: a terra, a água, o ar e o fogo. O fogo era aparentado com o flogístico de G. E. Stahl, cujo Tratado do Enxofre acabava de ser publicado em francês (1766). A terra inflamável ou flogisto (princípio do fogo, matéria do fogo) estava extremamente disseminada. Quando um corpo queimava, liberava seu flogisto. Assim o carvão, que queimava melhor, era constituído praticamente só de flogisto. Quando um metal era calcinado ao ar, adquiria um aspecto terroso. Ele havia liberado seu flogisto e se transformara em cal metálica (cal era o nome genérico dados aos óxidos metálicos). Para reformar o metal era suficiente carvão. A combustão era muito bem interpretada graças a esta teoria. Os químicos flogísticos ou discípulos de Stahl não consideravam a quantidade de matéria ou massa como uma grandeza pertinente, como um elemento de análise ou de apreciação da experiência ou de fonte de informação; a teoria do flogisto não era uma química da quantidade, mas permanecia como uma química das qualidades. A abordagem experimental, embora comportasse medidas que permitissem as reações serem mais eficazes, era apenas o meio de descobrir novas substâncias e determinar suas propriedades. Era já muito e devemos à destreza de alguns químicos flogísticos um enriquecimento considerável da lista de compostos conhecidos. Com efeito, no começo da segunda metade do século das luzes, novos metais haviam sido descobertos, novos e numerosíssimos ácidos orgânicos haviam sido isolados e enfim a variedade dos “ares” (então o nome genérico para os gases) começava a persuadir a uns e outros que eles formavam uma nova classe de corpos. Estas descobertas haviam produzido o aparecimento concomitante de novas técnicas de laboratório. Havia sido necessário aprender a recolher esses “ares” sobre uma cuba com água e em seguida sobre uma cuba com mercúrio, depois estudar suas

propriedades, em particular sua solubilidade em água e nos diversos solventes, sua combustibilidade e sua ação sobre um organismo vivo. [...] Black, na Grã-Bretanha, mostrara que havia um ar fixado no calcário e que a calcinação do calcário podia separá-lo, liberá-lo. Este *ar fixo* (gás ácido carbônico, gás carbônico) turvava a água de cal, não permitia sustentar a vida, e extinguiu a chama de uma vela. Priestley também estudara as emanações das cervejarias e observara os mesmos efeitos; este ar mefítico era perigoso. Em 1766, Cavendish recolhera o ar saído das efervescências de um ácido sobre um metal. Este ar ardia muito bem e era extremamente leve, por isto lhe dera o nome de ar inflamável (gás hidrogênio). Mas as perguntas permaneciam: o que são estes ares? São modificações do ar comum, do ar atmosférico no qual vivemos, ou são verdadeiramente substâncias individuais dotadas de propriedades constantes que permitam caracterizá-las? (Fauque, D.; O papel iniciador de Lavoisier; Quím. Nova, 1995, v.18; n.6, p.567-68).

Respostas às questões formuladas acima surgiriam a partir do ano de 1760, graças aos estudiosos da natureza que aqui vamos abordar e que nos deixaram um legado de novas técnicas, substâncias e teorias que permitiram um extraordinário desenvolvimento da Química desde então. Procuremos compreender, com um pouco mais de detalhes, a teoria do flogístico e o trabalho desses estudiosos.

1.2. A Teoria do Flogístico

Apresentaremos aqui os principais aspectos da Teoria do Flogístico, na sua origem. A teoria viria a sofrer muitas modificações, mas manteve seu paradigma central, o de que *numa combustão ou calcinação um material perde uma entidade chamada flogístico (ou flogisto)*.

A teoria do flogístico é considerada a primeira teoria unificadora da Química. Seu precursor foi Johann Joachim Becher (1635-1682). Becher exerceu a medicina e tinha vasto conhecimento de línguas. Sua obra mais importante é o livro *Physica Subterraneae* (1669), na qual sugere que toda matéria é constituída por três “terras”, a terra vitrificável, a terra mercurial e a *terra pinguis*. Essa última corresponderia a um certo princípio do enxofre. Esse princípio seria não o nosso enxofre elementar,

mas certo princípio de combustibilidade dos corpos. Desse modo, os corpos queimam por possuírem a *terra pinguis*.

As ideias acima agradaram Georg Ernst Stahl (1660-1734), químico que também exerceu a medicina e lecionou diversas disciplinas da área médica em universidades. Ele se entusiasmou com a obra de Becher e aperfeiçoou sua teoria. Para Stahl, a *terra pinguis* seria uma substância imponderável perdida por todos os corpos ao se queimarem. Stahl chamou essa substância de *flogístico* (ou *flogisto*). Podemos generalizar as hipóteses de Stahl conforme segue:

- todas as substâncias contêm flogístico, em maior ou menor quantidade. Substâncias que queimam melhor têm mais flogístico do que as que queimam de modo mais difícil;
- o flogístico é igual em todas as substâncias;
- o flogístico não existe livre na natureza, mas apenas combinado com outras substâncias.
- o flogístico pode ser transferido de modo conservativo, de uma substância rica para outra substância pobre nesse fluido.

Questão 1: considere os seguintes materiais: madeira, carvão, ferro. Coloque-os em ordem crescente da quantidade de flogístico que eles possuem.

A teoria do flogístico explicava diversos processos químicos. Vejamos alguns deles.

1- Calcinação (transformação em calx ou cal) dos metais:



Perceba que no aquecimento houve perda de flogístico por parte do metal, restando a cal do metal. Ele pode ser regenerado a partir de sua cal se ela for aquecida em contato com material rico em flogístico, como o carvão:



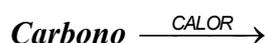
Pela Teoria do Flogístico o metal, ao ser aquecido, se decompõe em duas substâncias, a cal do metal e o flogístico. Desse modo, para os flogistonistas, o metal não é algo puro, mas uma combinação de sua cal (ou, modernamente, seu óxido) e o flogístico, o qual é perdido por aquecimento. Se a cal do metal for reaquecida na presença de material rico em flogístico (por exemplo, carvão), então, parte do flogístico do carvão se transfere à cal e regenera o metal.

2- Combustão do fósforo e do enxofre:



A reação mostra que o fósforo e o enxofre também não são, segundo essa concepção, substâncias simples no sentido moderno, mas são constituídos pela combinação de flogístico com algum material com propriedades ácidas. Veremos que o termo “ácido” empregado aqui não se refere à concepção moderna a ele atribuída.

Questão 2: com base na equação química anterior, complete a seguinte equação:



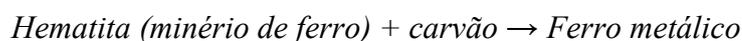
3-Processos metalúrgicos:



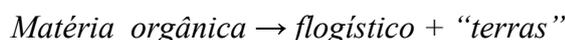
O enferrujamento seria decorrente da perda lenta de flogístico pelo ferro. Após o enferrujamento, o ferro pode ser regenerado se aquecido em contato com materiais ricos em flogístico (como por exemplo, o carvão),



A reação acima explica também a obtenção de ferro a partir de seus minérios, por transferência do flogístico do carvão para estes, conforme o esquema abaixo.



4-Combustão de carvão e outras materiais orgânicos:



Esses são apenas alguns exemplos. Para os nossos propósitos, basta lembrar as seguintes afirmações acerca da Teoria do Flogístico:

-todo material, ao se queimar, perde flogístico, transferindo-o para outro material, que poderia ser o ar.

-quanto mais fácil for a queima de um material, mais rico ele é em flogístico. Assim, os combustíveis (óleos, carvão, madeira, etc.) são ricos em flogístico, enquanto os metais são pobres em flogístico.

-metais também contêm flogístico, e o perdem ao serem calcinados (aquecidos ao extremo).

1.3. A proposta de dois flogistonistas para os processos de combustão

A Teoria do Flogístico se expandiu por toda a Europa, e vigorava nos tempos de Lavoisier. Ela sofreu diversas modificações, e dois importantes químicos da época, cujo trabalho será explorado a partir de agora, eram adeptos dessa teoria. São eles Carl Scheele e Joseph Priestley. Vamos conhecer um pouco de seu trabalho.

1.3.1. Os estudos de Carl Scheele (1742 – 1786)

Filho de um comerciante de grãos, Carl Wilhelm Scheele nasceu em 9 de dezembro de 1742 na cidade de Stralsund, atual Alemanha, administrada na época pela Suécia, e faleceu em 21 de maio de 1786 na cidade de Koping. Foi um pesquisador notável, tendo executado milhares de experimentos em sua curta vida. Embora cientificamente prolífico, não era afeito a divulgar seus resultados na literatura especializada, fato que contribuiu para que boa parte de suas hipóteses e observações científicas somente viessem à luz tempos após terem sido consolidadas ou descartadas pela comunidade da época. Scheele faleceu em 21 de maio de 1786 na cidade de Koping.

O pequeno Carl recebeu seu treinamento científico como aprendiz de farmacêutico em Goteburg, tendo lido as obras dos químicos de sua época. Trabalhou também em Malmo, Estocolmo e Uppsala. Foi um fiel seguidor da teoria do flogístico e com base nela procurou explicar seus resultados experimentais. Sua vasta obra inclui o isolamento e caracterização da pirolusita e do cloro, além de

estudos com os sais de cálcio dos ácidos tartárico, oxálico, gálico, pirogálico, úrico, mícico, láctico e cítrico. Seus trabalhos resultaram ainda na descoberta de diversos ácidos inorgânicos (fluorídrico, cianídrico, nitrosulfônico, molíbdico, túngstico, fluorossilícico e arsênico). Isolou a glicerina e a lactose e desenvolveu técnicas de preparo de diversas outras substâncias.

Carl Scheele foi autor de um único livro, o “Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer” (Tratado Químico do Ar e do Fogo), publicado somente em 1777, no qual relata o isolamento e caracterização, por onze diferentes métodos, feita por ele em 1771, do gás que hoje conhecemos como oxigênio.

O interesse de Scheele estava voltado para a compreensão do que é o fogo e da combustão. A importância da presença do ar nestes fenômenos já era conhecida e ele passou a estudá-los.

Como bom flogistonista, Scheele partiu da hipótese de que, ao se queimar, um combustível libera flogístico e forma um ácido. Desse modo, um combustível é constituído pela combinação de duas entidades:

$$\textit{Combustível} = \textit{ácido} + \textit{flogístico}$$

O sueco procedeu, então, à queima de diversos materiais combustíveis (ricos em flogístico) contidos em cubas pneumáticas, na presença de ar. Dentre esses combustíveis estavam enxofre, fósforo, sulfetos e óleos orgânicos (devemos entender aqui que o termo *combustíveis* se refere a materiais que se queimam em geral e não ao que modernamente e no senso comum adotamos como líquidos inflamáveis).

Por que razão entendia Scheele (e outros estudiosos da época) que, ao se queimar combustível há formação de ácido. Ora, em geral as queimas eram executadas em cubas fechadas contendo água (semelhante ao procedimento de cobrir a vela acesa contendo água no prato). A queima de fósforo, carvão e enxofre gera seus óxidos gasosos que, ao se dissolverem na água, produzem soluções ácidas. Claro que não havia a mesma interpretação que temos hoje para o fenômeno, então, supunha-se que formava-se um ácido que simplesmente se dissolvia na água, sem imaginar outras interações químicas.

Carl Scheele verificou que após queimar o ar de fogo com o ar inflamável, havia redução no volume do ar contido no recipiente fechado. Ele interpretou essa redução da seguinte forma: o flogístico da substância queimada era exalado e se

combinava com uma parte do ar contido no recipiente. Por ter realizado este experimento em uma campânula contendo água, não foi capaz de perceber (ou simplesmente não levou em conta) que a combinação entre os dois gases resultava no aumento do volume de água, interpretando que o flogístico liberado se combinava com uma parte do ar contido no recipiente e, por esse motivo, acreditava que o volume da água aumentava para compensar o volume do ar que havia sido utilizado durante a combustão.

Ele concluiu então que o ar atmosférico era constituído por dois componentes. Um deles se combinava com flogístico, que ele denominou ar de fogo (*Feuerluft*). Ao outro componente, que não reagia com o flogístico, ele denominou ar gasto ou ar deteriorado (*Verdorbenluft*). Desse modo, o ar atmosférico seria uma mistura de dois componentes, um dos quais, o ar de fogo, se combinava com o flogístico,

$$\textit{Ar atmosférico} = \textit{ar de fogo} + \textit{ar deteriorado}$$

Não tendo considerado a hipótese de formação de água, Scheele imaginou que o calor (facilmente observável) fosse o único produto da reação. Assim, ele concluiu que o calor seria o produto da reação entre o flogístico perdido pelo material que queima e o ar de fogo

$$\textit{Ar de fogo} + \textit{flogístico} = \textit{calor}$$

Seria possível a Carl Scheele comprovar sua hipótese acima? Vejamos.

Naquela época, o químico Henry Cavendish havia isolado um gás que foi chamado de *ar inflamável*, a partir da reação de ácidos com metais,



A combustibilidade e outras propriedades do ar inflamável eram tão fortes que Cavendish imaginou ter isolado o próprio flogístico puro. Scheele aceitava essa hipótese e tratou de combinar o ar inflamável (o flogístico para esses dois estudiosos) com amostras de ar de fogo puro. Como resultado ele observou que a reação libera enorme quantidade de calor,

$$\textit{Ar de fogo} + \textit{ar inflamável (flogístico)} = \textit{calor}$$

Questão 3: A quais gases correspondem, nos dias atuais, os dois “ares” até aqui descritos, o “ar de fogo” e o “ar inflamável”?

Questão 4: Em relação ao problema da vela, de acordo com o modelo de Scheele, responda a seguinte pergunta: Por que uma vela apaga após algum tempo quando a combustão ocorre em recipiente fechado?

Questão 5: fazendo a reação do “ar de fogo” com o “ar inflamável” de Cavendish, Scheele conseguiu comprovar sua hipótese? Explique.

1.3.2. Os estudos de Joseph Priestley (1733 – 1804)

Joseph Priestley nasceu nas proximidades de Leeds (Inglaterra), aos 13 de março de 1733 e faleceu aos 6 de fevereiro de 1804 nos Estados Unidos, em Northumberland, Pensilvania.

Priestley foi um intenso ativista político e um liberal em termos religiosos. Simpatizante e propagador da Revolução Francesa, provocou a revolta dos habitantes de Birmingham, onde residiu por muito tempo e a qual teve que abandonar face às perseguições que sofria. Trocou cartas com Benjamin Franklin e apoiou o movimento de independência dos EUA, país que o reconhece, e não Lavoisier, como verdadeiro fundador de uma nova Química.

No aspecto científico, Priestley se envolveu com diversos assuntos, dentre eles a eletricidade, e tem ainda alguma produção em história da Ciência, tendo publicado as obras *History of the Present State of Electricity* (1767) e *History of Optics* (1772). Ele interessou-se pelo estudo dos gases enquanto ainda morava em Leeds, vizinho a uma cervejaria. Consta que estudou o ar gerado pelos tanques de fermentação, o gás carbônico, então conhecido como “ar fixo”, isolado e caracterizado por Joseph Black. Priestley dissolveu o ar fixo em água e relatou similaridades entre essa água e as águas minerais gasosas de fontes naturais da Europa. Popularizou-se assim a água mineral com gás.

Priestley isolou e caracterizou diversos gases, dentre eles três óxidos de nitrogênio (NO, NO₂ e N₂O), o “ar ácido marinho” (HCl), o “ar alcalino” (NH₃), o “ácido vitriólico volátil” (SO₂), o “ar fluoro-ácido” (SiF₄), o “ar inflamável pesado” (CO), além do ar que mais nos interessa aqui, o “ar desflogisticado”. Ele foi capaz de isolar tal quantidade de ar porque, de modo inédito na época, trocou a água da cuba por mercúrio.

Questão 6: por que razão a substituição de água por mercúrio na cuba permitiu que Priestley descobrisse os diversos gases citados acima?

Ele desenvolveu uma técnica para se avaliar a “pureza” ou “bondade” do ar, conceito associado à sua respirabilidade. Entenda-se aqui por “pureza” o teor de oxigênio em uma amostra de “ares”. Através da reação do “espírito de nitro” (HNO₃) com metais, ele isolou o “ar nitroso” (NO). A reação deste com parte do ar atmosférico gerava um certo “ar vermelho” (NO₂), com redução de volume do ar atmosférico. Constatou Priestley que a parte do ar atmosférico que reagia era justamente a fração respirável e que promovia a combustão dos corpos. Desse modo, registrando cuidadosamente os volumes dos gases envolvidos na reação entre ar atmosférico e ar nitroso era possível quantificar a fração respirável do ar. O dispositivo desenvolvido para essa determinação se chama eudiômetro, nome que generalizou-se para dispositivos que medem a quantidade de qualquer gás. O eudiômetro consolidou-se como um valioso dispositivo de medição da quantidade de oxigênio para todos os pesquisadores desde então, tendo sido largamente utilizado por Lavoisier.

Conforme dissemos, interessa-nos aqui os estudos de Priestley acerca do “ar desflogisticado”. Por volta de 1774 ele confundiu esse novo ar com o próprio “ar nitroso”, contudo, em 1775 novos estudos o levaram à conclusão que se tratava de um novo tipo de ar, dotado de menor quantidade de flogístico do que o normal, daí o seu nome.

Vejamos a sequência de experimentos por ele conduzida na obtenção desse ar.

Usando a luz do sol concentrada por uma lente de aumento, Priestley aqueceu o *mercurius calcinatus* (hoje, HgO), recolhendo numa cuba pneumática o ar gerado. Testando esse ar, verificou ser insolúvel em água e constatou que a chama de uma

vela e um pedaço de carvão em brasa ardiam muito mais fortemente sob o novo “ar”. Verificou ainda que a respiração animal era muito mais prolongada em atmosfera desse novo ar. Novos estudos conduzidos com o eudiômetro mostraram que ele continha muito menos flogístico do que o ar atmosférico.

Mercúrio calcinatus → mercúrio + ar desflogisticado

Priestley interpretou esses resultados da seguinte forma: a queima acontece sob atmosfera de ar comum. A atmosfera, por sua vez, contém um pouco de flogístico mas ainda não está saturada deste, e é capaz de receber flogístico proveniente da combustão. Deste modo, o flogístico liberado no ar é recebido pelo ar desflogisticado, o qual vai se tornando cada vez mais flogisticado. A combustão só irá cessar no momento em que o combustível acabar ou que, em recipiente fechado, o ar circundante disponível se torne saturado de flogístico.

Combustível + ar desflogisticado = ar flogisticado

Como adepto da teoria do flogístico, concluiu Priestley ter descoberto um ar que continha menor quantidade de flogístico do que o ar atmosférico e que poderia, portanto, receber muito mais flogístico liberado na respiração e na combustão de materiais. Isso porque seu novo ar permitia que tanto as chamas quanto a respiração se prolongassem por tempo muito maior do que o ar atmosférico comum. Priestley chamou-o, então, de ar desflogisticado.

Questão 7: Voltando ao experimento da vela e considerando a hipótese de Priestley, como pode ser justificado o apagamento da chama após a queima sob recipiente fechado?

Em outubro de 1774, Joseph Priestley e seu amigo Lorde Shelburn passaram algumas semanas em Paris. Tiveram encontros com renomados químicos do lugar, dentre eles Lavoisier. Priestley relatou à esse a descoberta desse novo “ar”, cujos estudos nem Priestley havia finalizado ainda. O relato serviu para clarear algumas ideias do francês em seus estudos.

1.3.3. Os estudos de Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794)

Não há espaço aqui para se discutir toda a vastidão e importância da obra de Lavoisier para a Química. Teremos que ser extremamente simplistas em relatar tanto a sua biografia quanto seu trabalho científico, do qual nos deteremos apenas em seus estudos sobre a combustão, procurando vinculá-lo ao trabalho de seus contemporâneos já comentados anteriormente.

Lavoisier nasceu em Paris em 26 de agosto de 1743, numa família de posses. Seu pai era secretário do Parlamento. Sua mãe morreu quando ele tinha cinco anos e uma tia encarregou-se de sua educação. Lavoisier teve formação em Ciências Físicas e Matemáticas antes de se diplomar em direito. Frequentou a casa do aristocrata Jacques Paulze e através deste obteve duas conquistas: tornou-se *fermier général*, indivíduo com concessão governamental para cobrar impostos, e conheceu Marie Anne Pierrette Paulze, filha de Jacques Paulze, com quem viria a se casar quando tinha ela apenas catorze anos.

No âmbito científico, Lavoisier envolveu-se em extraordinária diversidade de estudos, indo desde as propriedades do gesso e da pólvora, produção de alimentos sólidos, agricultura, mineração, derrubada do modelo de quatro elementos de Aristóteles, combustão, análise de compostos orgânicos, respiração, calorimetria, teoria dos ácidos e nova nomenclatura química.

Os primeiros estudos de Lavoisier sobre a combustão se referem à queima de fósforo, enxofre e de diamantes. Em seus escritos, ele comenta a diversidade e a falta de unificação dos trabalhos de seus antecessores e se propõe a estudar os “fluidos elásticos” (gases) que escapam dos corpos ou a eles se unem em diversos processos químicos.

Em 1772, ele começou a estudar a queima de diamantes, que perdiam peso ao serem fortemente aquecidos sob ar, mas cujo peso se conservava na ausência deste. Lavoisier constatou que, na presença de ar atmosférico, formava-se grande volume de “ar fixo” descoberto por Black em estudos de aquecimento de carbonatos.

Nas queimas de diamante havia diminuição de volume do ar atmosférico e formação abundante de ar fixo:



Questão 8: Como é conhecido modernamente o “ar fixo” de Joseph Black?
--

[

Chamava a atenção de Lavoisier o fato de eles não deixarem qualquer resíduo se queimados em abundância de ar atmosférico.

Nesse período ele estudou também a queima de fósforo e enxofre e, no mês de novembro de 1772, ele tinha certeza que ao se queimarem em atmosfera comum eles ganhavam peso, com formação de seus ácidos respectivos, acompanhado de redução de certo volume de ar atmosférico.



Note que Lavoisier (e outros estudiosos da época) designava por ácidos o que hoje chamaríamos de óxidos dos elementos iniciais. Vejamos o que diz sua *memoires* (memórias, ou o que modernamente chamaríamos de artigo científico) entregue em 1 de novembro de 1772, e aberta e lida em 5 de maio de 1773, na Academia de Ciências da França

Há aproximadamente oito dias descobri que o enxofre, ao queimar, não perdia seu peso, mas, ao contrário, o ganhava [...] a mesma coisa acontece como o fósforo. Esse aumento de peso provém de uma quantidade prodigiosa de ar que se fixa durante a combustão e que se combina com os vapores. Esta descoberta que constatei com experiências que considero decisivas, fez-me pensar que o que se observa na combustão do enxofre e do fósforo podia também acontecer com todos os corpos que aumentam de peso com a combustão e a calcinação e me convenci de que o aumento de peso das cales metálicas tinha a mesma origem. A experiência confirmou completamente as minhas conjecturas.

O ano de 1773 foi especialmente produtivo para Lavoisier. Ele desenvolveu experimentos com os carbonatos (ação de ácidos e precipitação com hidróxidos) alcalinos e com óxidos (cais) metálicos (redução pelo carvão e formação daqueles por aquecimento ao ar). Por meio desses experimentos pressentiu ele o papel do carvão na regeneração dos metais a partir de suas calx (óxidos) metálicos, bem como o papel de parte do ar atmosférico na calcinação dos metais, gerando cal.



Cal do metal + carvão → Metal

Em dezembro de 1773, Lavoisier publicou a obra *Opuscules Physiques et Chimiques*, em que faz um resumo acerca do que se conhecia sobre os ares e relata que, embora a cal de chumbo (Pb_3O_4) e o carvão aquecidos separadamente e na ausência de ar não produzissem qualquer fluido elástico, havia farta produção de ar fixo se fossem aquecidos juntos, na ausência de ar,

Cal de chumbo (sem ar) → nada

Carvão (sem ar) → nada

Carvão + cal de chumbo → Ar fixo

Perguntava-se Lavoisier nos seus *Opuscules*,

[...] servem o carvão e os materiais ricos em flogístico, como pensam os discípulos de Stahl, para fornecer ao metal seu flogístico que foi perdido, ou ele entra na composição do próprio fluido elástico?

Lavoisier questionava a interpretação da calcinação e da redução como uma transferência de flogístico e mostrava alguma confusão entre o ar absorvido na calcinação de metais e aquele perdido em sua redução

[...] assim como todas as vezes que uma cal metálica passa do estado de cal ao de metal há desprendimento de fluido elástico, do mesmo modo, todas as vezes em que um metal passa do estado de metal ao de cal, há absorção desse mesmo fluido, e a própria calcinação é proporcional à quantidade dessa absorção.

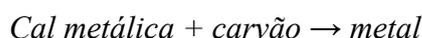
Acrescentou ainda que,

[...] várias circunstâncias pareciam levar a crer que todo o ar que respiramos não é apto a se fixar para formar parte dos cais metálicas, mas que existe na atmosfera um fluido elástico particular que se encontra misturado com o ar e que, no momento em que se esgota a quantidade desse fluido contido

na campânula onde se faz a reação, a calcinação não pode mais se realizar.

Todo o conjunto de resultados então obtidos por Lavoisier estava conduzindo-o a concluir que em toda combustão ou calcinação havia absorção de uma parte do ar atmosférico e que, na redução das cal metálicas com carvão havia formação do ar fixo de Joseph Black. Mais importante ainda, a absorção de parte do ar era seguida de aumento de peso proporcional nos metais e diminuição proporcional do volume do ar. Contudo, faltavam ainda algumas peças a se encaixarem em um novo modelo de combustão. Parte delas seria fornecida por Joseph Priestley e por Carl Scheele.

Havia-se constatado até então, pelo modelo flogistonista, que um metal só podia ser regenerado a partir de sua cal se esta fosse aquecida na presença de matéria rica em flogístico (p. ex. carvão), como já vimos:



Havia, no entanto, uma exceção, observada por Priestley (e por outros antes dele).



A cal de mercúrio, ora conhecida como *mercurius calcinatus* ou ainda *mercurius precipitatus per se*, refere-se ao óxido de mercúrio preparado por aquecimento prolongado do metal na presença de ar. Priestley comentou, em visita a Lavoisier em outubro de 1774, que essa cal de mercúrio, se aquecida na ausência de carvão, gerava um ar que ele mesmo supunha ser “ar nitroso” (óxido nitroso). Por sua vez, Carl Scheele, em carta enviada a Lavoisier em 1774, e nunca respondida, afirmava que havia obtido ar de fogo a partir do aquecimento de *mercurius calcinatus*.

Lavoisier passou a investigar a cal de mercúrio com mais profundidade no início de 1775 e por meio de cuidadosos experimentos constatou que, se aquecido na presença de carvão, ele rendia o ar fixo de Black,



No entanto, se aquecido na ausência de carvão, gerava-se um ar insolúvel em água, cujas propriedades diferiam profundamente do ar fixo, era altamente adequado para promover a respiração e a combustão e mostrava-se com elevada “pureza” ou “bondade”, se testado no eudiômetro de Priestley. É interessante comparar esse resultado com aquele obtido pelo aquecimento de cal de chumbo na ausência de carvão (veja acima).

Lavoisier relatou seus resultados numa famosa memória (Memória de Páscoa), apresentada à Academia em 26 de abril de 1775, revisado e apresentado em 1778, na qual afirma,

Todas essas circunstâncias convenceram-me plenamente que esse ar (gerado pelo aquecimento da cal de mercúrio), longe de ser ar fixo, estava em um estado mais respirável, mais combustível e, por conseguinte, que era mais puro que o próprio ar no qual vivemos [...]. Parece provado [...] portanto, que se ele é obtido no estado de ar fixo em todas as reduções metálicas onde se emprega o carvão, é à combinação deste último com a porção pura do ar que é devido esse efeito e é muito possível que, se pudesse reduzir todas as cal metálicas como se reduz o mercurius precipitatus per se, sem adição de carvão, obter-se-ia ar eminentemente respirável.

Questão 9: Considere as reações abaixo e complete a segunda:



Questão 10: Represente as reações das equações da questão 9 em linguagem moderna.

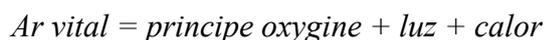
No último fragmento de texto, Lavoisier fala de um certo “ar eminentemente respirável” que, durante algum tempo, ele acreditou ser o próprio ar atmosférico. A constatação de que lidava com um ar que era, na essência, um dos componentes da atmosfera viria mais tarde, ao tomar contato com novos experimentos de Priestley.

Em 5 de setembro de 1777 Lavoisier apresenta à Academia uma nota na qual afirma que,

De agora em diante designarei o ar desflogisticado ou ar eminentemente respirável, no estado de combinação ou fixidez, pelo nome de princípio acidificante ou, se se prefere o mesmo significado, com um nome grego pelo de príncipe oxygine.

Posteriormente, Lavoisier viria a chamar esse ar de “ar vital”.

As combustões e calcinações são acompanhadas por luz e calor. Segundo Lavoisier há nesses processos emissão de matéria da luz e do calor. Imaginava então ele que o “ar vital” ou “ar eminentemente respirável” presente na atmosfera se constituísse de outras entidades mais simples,



Como ficam, então, a combustão e a calcinação, a partir das hipóteses de Lavoisier?

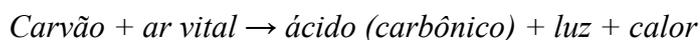
Na calcinação, o metal absorve “ar vital” da atmosfera, o qual se fixa no metal gerando a cal metálica,



O metal é regenerado pelo aquecimento de diversas cal metálicas na presença de carvão, que se combina com o ar vital fixado naquele, gerando o ar fixo de Black,



Por fim, na combustão de fósforo, enxofre e outros materiais, há a formação de ácidos, daí a designação de princípio acidificante,



Lavoisier entendia que o “ar vital” era constituído pela combinação do *príncipe oxygine* com matéria da luz e matéria do calor. Nas reações acima, o ar vital

perde seu *principe oxygine*, que se combinava com o combustível (fósforo, enxofre, carvão) formando seus ácidos e liberando matéria de luz e de calor.

Vemos assim que Lavoisier considerava luz e calor como matérias (ainda não havia sido feita a distinção entre matéria e energia, fato que só ocorreria no século XIX), e que o seu *oxygine* ainda não corresponde ao nosso moderno oxigênio.

2. Comparativo entre as três teorias

Vejam agora um breve comparativo entre as teorias dos três pesquisadores que abordamos com algum detalhe e que visavam explicar o processo de combustão:

- Carl Scheele:

Flogístico (perdido pelo combustível) + ar de fogo = calor

- Joseph Priestley:

Flogístico (perdido pelo combustível) + ar desflogisticado = ar flogisticado

- Antoine Lavoisier:

Combustível + ar vital (principe oxygine) = ácido + luz + calor

A figura abaixo representa o que foi observado no laboratório. Interprete o processo de queima da vela segundo as concepções destes três pensadores.



Referências

ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; *Possíveis origens da química moderna*; Química Nova, 1993, v.16, n.1, p.63-68.

ARRUDA, SERGIO M. E LABURÚ, CARLOS E.; *Considerações Sobre a Função do Experimento no Ensino de Ciências*. In: *Questões Atuais no Ensino de Ciências*, org. Roberto Nardi, 53-60. São Paulo: Escrituras, 1998. (Série Educação para a Ciência, 2).

BACON, FRANCIS. *Novum Organum ou, Verdadeiras Indicações Acerca da Interpretação da Natureza*. Nova Atlântida. São Paulo: Nova Cultural, 1999. (Série Os Pensadores, 6).

BENSAUDE-VINCENT, B. E STENGERS, I.; *História da Química*; Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

BRAATHEN, PER C. *Desfazendo o Mito da Combustão da Vela Para Medir o Teor de Oxigênio no Ar*; Química Nova na Escola, 2000, n.12 p.43-45.

CHALMERS, A. F.; *O Que é Ciência, Afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1993.

FAUQUE, D.; *O papel iniciador de Lavoisier*; Química Nova, 1995, v.18, n.6, p. 567-573.

FILGUEIRAS, C. A.; *A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?* Química Nova, , 1995, v.18, n.2, p.219-224.

FILGUEIRAS, C. A.; *Lavoisier: o estabelecimento da química moderna*; São Paulo: Odysseus, 2002.

GOLDFARB, A.M.A., *Da Alquimia à Química*, Ed. Landy, São Paulo, 2001.

KHUN, T. S.; *A Estrutura das Revoluções Científicas*; São Paulo: Perspectiva, 1975.

MARSULO, MARLY A. G. E SILVA, REJANE M. G.; *Os Métodos Científicos como Possibilidade de Construção de Conhecimentos no Ensino de Ciências*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v.4, n.3 (2005).

PARTINGTON, J. R. E MCKIE, D.; *Historical studies on the flogiston theory*; Nova Iorque: Arno Press, 1981.

SILVA. C. C. (org.); *Estudos de História e Filosofia da Ciência*; São Paulo: Livraria da Física, 2006.

SILVEIRA, FERNANDO L. E OSTERMANN, FERNANDA.; *A Insustentabilidade da Proposta Indutivista de “Descobrir” a Lei a Partir de Resultados Experimentais*. Cad. Bras. Ens. Fís. V.19, nº especial (jun. 2002) p.7-27.

TOSI, L.; *Lavoisier: uma revolução na química*; Química Nova, 1989, v. 12, n.1, p.33-56.

ANEXO 1

ANUÊNCIA DO COORDENADOR DO CURSO

Declaração

Declaramos para os devidos fins que estamos de acordo com a execução do projeto de pesquisa intitulado **“Novas perspectivas para o experimento da vela por meio de uma abordagem histórica: Os episódios da teoria da combustão à luz da Epistemologia de Thomas Kuhn”**, sob a orientação do Prof. Dr. Ourides Santin Filho do Departamento de Química e também do PCM-Programa de Pós graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da UEM-Universidade Estadual de Maringá. Tal projeto tem por objetivo investigar nos acadêmicos do 1º Ano na disciplina de Química Geral, do curso de Licenciatura em Química da UTFPR-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, os efeitos do experimento da vela quando realizado dentro de uma abordagem histórica à luz da epistemologia de Thomas Kuhn.

Campo Mourão, 16 de Maio de 2014.

Prof. Marcos Piza

Coordenador do Curso de Química UTFPR- Campo Mourão

Marcos Antônio Piza
Coordenação do Curso de
Licenciatura em Química
Campus Campo Mourão - UTFPR

ANEXO 2

FOLHA DE ROSTO COPEP

 MINISTÉRIO DA SAÚDE - Conselho Nacional de Saúde - Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP FOLHA DE ROSTO PARA PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS			
1. Projeto de Pesquisa: Novas perspectivas para o experimento da vela por nasa de uma abordagem histórica: Os episódios de leontes de combustão à luz da Epistemologia de Thomas Kuhn		2. Número de Participantes da Pesquisa: 35	
3. Área Temática:			
4. Área do Conhecimento: Grande Área 1. Ciências Exatas e da Terra			
PESQUISADOR RESPONSÁVEL			
5. Nome: Oswald Santos Filho			
6. CPF: 029.329.158-77		7. Endereço (Rua, n.º): Rua MARINGÁ, 540 JARDIM ACLIMACAO Casa 5 MARINGÁ PARANA 87050740	
8. Nacionalidade: BRASILEIRO		9. Telefone: (44) 3301-9522	10. Outro Telefone:
12. Cargo:		11. Email: oswfilin@uem.br	
<p>Termo de Compromisso: Declaram que conhecem e cumprem os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas complementares. Comprometo-me a utilizar os materiais e dados coletados exclusivamente para os fins previstos no protocolo e a publicar os resultados sejam eles favoráveis ou não. Aceito as responsabilidades pela condução científica do projeto acima. Tenho ciência que esse folheto será anexado ao projeto devidamente assinado por todos os responsáveis e fará parte integrante da documentação do mesmo.</p> <p>Data: <u>20</u> / <u>06</u> / <u>14</u></p> <p style="text-align: right;"><i>Oswald Santos Filho</i> Assinatura</p>			
INSTITUIÇÃO PROPONENTE			
13. Nome: Universidade Estadual de Maringá		14. CNPJ:	15. Unidade/Orgão: CCE - Centro Ciências Exatas
16. Telefone: (44) 3011-4331		17. Outro Telefone:	
<p>Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaram que conhecem e cumprem os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas Complementares e como esta instituição tem condições para o desenvolvimento deste projeto, autorizo sua execução.</p> <p>Responsável: <i>Cícero Lopes Frota</i> CPF: <u>078.498.068-32</u></p> <p>Cargo/Função: <i>Diretor do CCE.</i> UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ Centro de Ciências Exatas <i>Cícero Lopes Frota</i> Prof. Dr. Cícero Lopes Frota DIRETOR Assinatura</p> <p>Data: <u>20</u> / <u>06</u> / <u>14</u></p>			
PATROCINADOR PRINCIPAL			
Não se aplica.			

ANEXO 3

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos os alunos do 1º Ano do Curso de licenciatura em Química da Universidade tecnológica do Paraná a participarem da pesquisa “NOVAS PERSPECTIVAS PARA O EXPERIMENTO DA VELA POR MEIO DE UMA ABORDAGEM HISTÓRICA: OS EPISÓDIOS DA TEORIA DA COMBUSTÃO À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS KUHN”. Essa investigação faz parte da dissertação da mestranda Débora Cristina Curto da Costa Bocato, do programa de Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática da UEM, sendo orientada pelo professor Dr. Ourides Santin Filho da Universidade Estadual de Maringá. O objetivo desta pesquisa está em investigar os possíveis efeitos do experimento da vela, quando realizado dentro de uma abordagem histórica à luz da epistemologia de Thomas Kuhn.

Para o bom andamento da pesquisa a participação dos alunos é muito importante e acontecerá da seguinte forma: participação na atividade “Experimento da vela” com elaboração de relatório e preenchimento de questionários referentes à atividade supracitada. Gostaríamos de esclarecer a participação dos alunos é totalmente voluntária, podendo o mesmo recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que as informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar identidade de cada acadêmico. Os benefícios esperados são levantar e problematizar a visão dos acadêmicos acerca dos benefícios oriundos de uma abordagem histórica para o experimento da vela. Caso ocorra alguma dúvida ou necessidade de maiores esclarecimentos, segue telefone(s) e e-mail para contato:

Pesquisadora: Debora C.C.C. Bocato

Fones: (44) 3523-5743 e (44) 9735-7579

e-mail deboracurto@hotmail.com

Orientador: Ourides Santin Filho

Fones: (44) 3011.3656 e (44) 8816.9621

e-mail: osantin@uem.br

Ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da UEM, cujo endereço abaixo.

COPEP/UEM

Universidade Estadual de Maringá.

Av. Colombo, 5790. Campus Sede da UEM.

Bloco da Biblioteca Central (BCE) da UEM.

CEP 87020-900. Maringá-PR Tel: (44) 3261-4444

E-mail: copep@uem.br

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada entregue a cada aluno participante. Além da assinatura nos campos específicos pelo pesquisador e pelo aluno, solicitamos que sejam rubricadas todas as folhas deste documento. Isto deve ser feito por ambos (pelo pesquisador e pelo aluno) de tal forma a garantir o acesso ao documento completo.

Eu,

.....declaro que fui devidamente esclarecido(a) e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da pesquisa coordenada pela Professora Débora Cristina Curto da Costa Bocato

Assinatura

Data:.....