



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Biologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

**CONSTRUINDO ESTRUTURAS QUÍMICAS DE
SUBSTÂNCIAS DESCONHECIDAS: UMA PROPOSTA DE
MATERIAL PARADIDÁTICO**

Carla Cristina Corrêa da Costa

Brasília – DF

Março
2010



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Biologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

**CONSTRUINDO ESTRUTURAS QUÍMICAS DE
SUBSTÂNCIAS DESCONHECIDAS: UMA PROPOSTA DE
MATERIAL PARADIDÁTICO**

Carla Cristina Corrêa da Costa

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Gerson de Souza Mól e co-orientação da Prof. Dra. Inês Sabioni Resck apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Química”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília – DF

Março
2010

Folha de aprovação

CARLA CRISTINA CORRÊA DA COSTA

**CONSTRUINDO ESTRUTURAS QUÍMICAS DE SUBSTÂNCIAS
DESCONHECIDAS: UMA PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Química”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Aprovada em 04 de Março de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gerson de Souza Mól
(Presidente)

Prof.^(a) Dr.^(a) Maria Márcia Murta
(Membro interno – PPGEC/UnB)

Prof. Dr. José Luís de Paula Barros Silva
(Membro externo – IQ/UFBA)

Brasília – DF

Março
2010

DEDICATÓRIA

Dedico,

Aos meus pais, Antônio e Neusa;

Aos meus filhos, Daniel e Lucas;

À minha filha, Rebeca;

Ao meu companheiro, Libermário;

À minha amiga, Maria;

E aos meus orientadores, Inês e Gerson.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem a sua constante presença nada disso seria possível;

Ao Professor Gerson de Souza Mól, pela oportunidade, incentivo e amizade;

A professora Inês Sabioni Resck, pela paciência, dedicação e gentileza;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação no Ensino de Ciências da UnB, que diretamente ou indiretamente contribuíram para a minha formação docente, em especial,

a professora Márcia Murta;

A todos os amantes da Educação Química, que me concederam sábias palavras;

Aos alunos, razão pela qual sempre procuro buscar um pouco mais;

A professora Elaine e a toda a equipe do LITMO, por contribuir com esse trabalho;

Aos meus amigos do mestrado, pela amizade;

A Carol da secretaria, pela presteza;

Aos meus amigos professores, pelas contribuições e trocas de experiências;

Aos amigos do Laboratório da Procuradoria Geral da República, por segurar a “barra” quando eu mais precisei;

A toda a minha família, que sempre esteve de mãos dadas comigo; em especial, o meu querido sobrinho Diogo;

A todos que de alguma forma colaboraram para a execução desse trabalho;

Muito obrigada.

EPÍGRAFE

*“O Químico reconhece-se
nas fórmulas que está sempre a garatujar.
Estas figuras, simultaneamente ficções e
modelos, são mágicas: relacionam-se com
uma realidade, o objeto molecular, que
estranhamente se assemelha a imaginações
antes consideradas delirantes”.*

Pierre Laszlo

RESUMO

A motivação para a construção desse trabalho originou-se da percepção de que alunos e alunas pensam que as fórmulas químicas são o objeto de estudo da Química e não as substâncias e os materiais, as quais representam. Pesquisas em educação química têm comprovado que, didaticamente, o nível representacional do conhecimento químico tem sido priorizado nos currículos e em livros didáticos em relação ao nível fenomenológico e teórico. A desproporcionalidade de foco entre os três níveis pode estar fazendo com que os alunos pensem que as fórmulas são reais, sendo elas o objeto de estudo da Química e não uma linguagem desta. Verifica-se também que esse conteúdo não vem sendo vinculado a temas sociais, desconsiderando o contexto em que o aluno está inserido. Assim, dedicamos esse trabalho ao estudo das fórmulas químicas no ensino básico. A dissertação começa situando o ensino médio e o ensino de ciências no atual contexto educacional, focando como perspectiva principal, para esse ensino, o auxílio à formação da cidadania. Buscamos valorizar a reflexão da prática e da pesquisa docente como meio de trilhar possibilidades para se atingir esse objetivo. Em meio a diferentes possibilidades, escolhemos fazer uma abordagem do tema de forma diferenciada das tradicionalmente evidenciadas no contexto escolar. Para dar mais sentido a esta pesquisa, propusemos realizar uma transposição didática de um conhecimento científico ainda pouco explorado como conhecimento escolar no ensino médio: A elucidação estrutural por análises físicas e químicas de substâncias orgânicas. O material paradidático proposto conta a história de um aluno do ensino médio que necessita tomar uma decisão frente a uma situação do seu cotidiano. Ele achou um produto de origem desconhecida cujo rótulo indicava se tratar de um suplemento alimentar. A aquisição de conhecimentos químicos, relativos à elucidação da fórmula molecular e estrutural por análises físicas, químicas e espectrométricas (massa, infravermelho e ressonância magnética nuclear) das substâncias que compõe o produto encontrado, e a conseqüente descoberta da sua constituição fizeram toda a diferença na hora de decidir se ele consumia ou não o produto. O material paradidático, como um todo, procura propiciar a contextualização do conteúdo químico com o cotidiano do aluno; faz uso da história da ciência e da interdisciplinaridade como recursos didáticos, sendo desenvolvido por meio de um tema químico social.

Palavras-chaves: Fórmulas químicas, Transposição Didática, Cidadania

ABSTRACT

The motivation for the realization of this work stemmed from the perception that students think the chemical formulas themselves are the object of the Chemistry science, not the materials and substances they represent. Researches in Chemistry education have shown that the representational part of the chemical knowledge has been prioritized in curricula and textbooks regardless of its phenomenological and theoretical levels. The unbalanced focus on the three levels might be the factor that is leading students to think that formulas are real and to consider them as the Chemistry's object of study, and not as its language. It was also found that this subject has not been linked with social issues, ignoring the environment the students are in. Thus, we dedicated this work to the study of chemical formulas in basic education. The dissertation begins setting the high school and science education in the current educational context, focusing on citizenship formation as its main perspective. We sought to highlight the self-reflection on the teaching practice and research as a path to achieve this goal. Among several possibilities, we chose to explore this theme differently from the way traditionally used in the school context. For making this research clearer, we performed a didactic transposition of an academic scientific knowledge which is still poorly explored in high school level: the structural elucidation of organic substances by physical and chemical analysis. The proposed teaching material narrates the story of a high school student who needs to make a decision in a situation of his quotidian life. He found a product of unknown origin whose label indicated it was a food supplement. The acquisition of chemical knowledge through the elucidation of the molecular and structural formulas by physical, chemical and spectrometrical analysis (mass, infrared and nuclear magnetic resonance) of the product's substances, as well as the determination of its constitution, influenced on deciding whether or not he consumed the product. The paradidactic material as a whole attempts to bring the Chemical science into the student's daily lives. Moreover, it makes use of the history of science and the interdisciplinarity as teaching resources, being developed through a Chemical social theme.

Key-words: Chemical Formulas, Transposition Didactics, Citizenship

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1: Aspectos interligados do conhecimento químico.....	41
Figura 2: Simbologia criada por Dalton para os elementos e suas substâncias.....	45

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 PERSPECTIVAS ATUAIS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS	15
1.1 O Ensino Médio e o Ensino de Ciências em Foco	15
1.2 O Ensino de Ciências e a Cidadania	18
1.3 A Importância da Pesquisa Docente para o Ensino de Ciências	22
2 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA.....	26
2.1 Conhecimento Científico, Conhecimento Cotidiano e Conhecimento Escolar.	30
3 O ENSINO E A LINGUAGEM DA QUÍMICA	39
3.1 Considerações sobre a origem e evolução das fórmulas e estruturas químicas	42
3.2 O Ensino de Fórmulas e Estruturas Químicas nos Livros do PNLEM	56
4 PROPOSTA DE ABORDAGEM SOBRE AS FÓRMULAS E ESTRUTURAS QUÍMICAS	68
4.1 Metodologia Utilizada	69
4.2 Breve Avaliação da Proposta	78
CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
APÊNDICE – PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO	94

INTRODUÇÃO

A opção pelo estudo das fórmulas e estruturas químicas teve como motivação minha percepção de que alunos e alunas acham que a Química é uma disciplina de difícil compreensão que estuda inúmeras fórmulas.

Certa vez, uma aluna do ensino médio me perguntou como eu podia ser professora de Química e estudar as fórmulas e estruturas químicas. Após refletir sobre a sua indagação, percebi que aquela aluna pensava que as fórmulas e estruturas químicas são o objeto de estudo da disciplina Química e não as substâncias e os materiais que as fórmulas representam. Nesse sentido, evidenciei a existência de um problema conceitual associado ao ensino-aprendizagem desta disciplina.

Ocorre que as fórmulas e estruturas químicas fazem parte da linguagem química, representando as substâncias. Então, sempre que se refere expressamente a uma ou outra substância, tem-se que representá-la por meio de uma fórmula. Assim, considera-se que o uso das fórmulas e estruturas químicas constitui-se em um importante instrumento para compreender as várias propriedades das substâncias, sua constituição e suas transformações. No entanto, se não forem abordadas adequadamente, podem ser confundidas com a realidade das substâncias que elas representam, criando um erro conceitual de se achar que as fórmulas são reais.

Verifica-se que o ensino tradicional das fórmulas e estruturas químicas no ensino médio enfoca principalmente o estudo da nomenclatura química, o cálculo de fórmulas e a descrição das equações químicas, apresentando-se desconectado de aspectos que seriam relevantes para o seu entendimento. Assim, esse conteúdo é apresentado de forma fragmentada, sem inter-relacionar-se corretamente com o nível macroscópico, ou

fenomenológico, e o nível microscópico, ou teórico, do conhecimento químico.

Observa-se também que o tema vem sendo apresentado, desconsiderando aquilo que, atualmente, é função primordial da educação básica nacional: primar pelo auxílio da formação do cidadão. O conteúdo estudado deve desenvolver a capacidade de tomada de decisão frente a situações que porventura possam acometer o aluno em seu convívio social. O ensino de química e, nesse contexto, o das fórmulas e estruturas químicas deve ser um meio de promover uma discussão crítica das implicações sociais relativas ao tema, promovendo a alfabetização científica¹ dos estudantes.

A História da Ciência também deve ser utilizada como recurso didático, mostrando a evolução do conhecimento e as rupturas necessárias à sua construção do real ao racional. Evidenciando-se que o conhecimento científico é uma construção humana e faz parte da nossa cultura. A contextualização do tema é necessária para situar as informações e os dados em um contexto, para que adquiram um sentido. O conhecimento de informações ou dados isolados é insuficiente para o entendimento do problema em questão. A abordagem do tema deve ser feita de forma interdisciplinar a fim de se conquistar uma visão global do assunto. Segundo Morin (2005, p. 37), “o todo tem qualidades ou propriedades que não são encontradas nas partes, se estas estiverem isoladas umas das outras, e certas qualidades ou propriedades das partes podem ser inibidas pelas restrições provenientes do todo”.

Pensando nisto é que procuramos, por meio desse trabalho, desenvolver um

¹ A alfabetização científica a que se refere o texto, não deve ser entendida somente como saber ler e escrever informações científicas e tecnológicas, mas também, trata de uma concepção de educação científica por meio do uso social. Pode ser comparado ao Letramento Científico.

material de ensino que contemple o estudo das fórmulas e estruturas químicas dentro de um contexto diferente do que vem sendo apresentado no ensino tradicional desse tema.

Assim nos perguntamos: é possível desenvolver um material de ensino capaz de auxiliar na formação da cidadania, de forma contextualizada e interdisciplinar, fazendo o uso da História da Ciência, sobre o tema fórmulas e estruturas químicas?

Em busca de encontrarmos meios para desenvolver o material, surgiu outra questão. Será que uma nova forma de abordar o tema fórmulas e estruturas químicas, por meio da elucidação estrutural realizada por análises físicas e químicas (métodos espectrométricos) das substâncias, poderia promover a inter-relação entre o nível representacional, macroscópico e microscópico do conhecimento químico facilitando a aprendizagem desse conhecimento?

Ocorre que, atualmente, a utilização de métodos espectrométricos, para se fazer a elucidação estrutural de substâncias orgânicas, constitui-se em importante ferramenta para se descobrir as fórmulas e estruturas químicas de substâncias orgânicas. No entanto, esse tema não faz parte da grade curricular dos ensinos fundamental e médio. Então, para abordá-los nesse nível de ensino, faz-se necessário realizar uma transposição didática desses conhecimentos.

Imaginamos que seja possível confeccionar tal material e esse é o nosso desafio.

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo, procuramos situá-lo, tecendo considerações sobre as tendências atuais para o ensino de ciências, no que concerne ao ensino médio. Dentre estas tendências, focalizamos a construção do ensino crítico voltado para a formação da cidadania. A valorização da pesquisa docente e do professor pesquisador como produtor de conhecimento escolar também foi tratada,

revelando que a criticidade e a reflexão da prática docente são critérios fundamentais para a melhoria do ensino e a realização de pesquisas em educação química.

No segundo capítulo, aborda-se o tema transposição didática e a construção do conhecimento escolar, visto que o material de ensino proposto por esta dissertação pleiteia materializar a transposição didática de um conjunto de conhecimentos científicos. Para fundamentar nosso trabalho utilizamos contribuições de vários autores, mas em particular nesse capítulo, abordamos aspectos teóricos da epistemologia de Gaston Bachelard. Acreditamos, como Parente (1990), que em Bachelard o pesquisador encontra subsídios necessários para o exercício lúcido das funções de ensinar e pesquisar. Ainda mais, quando tratamos da Química, a qual se constitui em tema central de muitas de suas reflexões, propondo realizar uma transposição didática de um conhecimento científico para o escolar. Em Bachelard, a Ciência e o conhecimento científico são construídos em ruptura com o conhecimento cotidiano. E abordar o conhecimento científico, por meio do conhecimento escolar, como um aprofundamento do conhecimento cotidiano é criar um abismo entre eles.

No terceiro capítulo, procuramos lançar os olhares sobre a linguagem química, por entender que as fórmulas e estruturas químicas fazem parte desta linguagem, explicitando a importância das representações no ensino e na aprendizagem da disciplina Química, quando interligadas ao nível fenomenológico e ao nível teórico do conhecimento químico. Em se tratando das fórmulas e estruturas químicas, com maior especificidade, achamos pertinente evocar um pouco da história da química a fim de relatar a origem e a evolução das mesmas no passado e num contexto mais recente, até focarmos as técnicas espectrométricas utilizadas atualmente para elucidar as fórmulas estruturais e moleculares das substâncias.

Com o intuito de verificar como o ensino das fórmulas e estruturas químicas vem sendo tratado no ensino médio, sentimos a necessidade de avaliar o principal material didático utilizado atualmente nas escolas – o livro didático. Ainda, no terceiro capítulo, faremos uma avaliação sucinta do tema nos seis livros de química aprovados pelo PNLEM/2007 (BRASIL, 2006). A análise do livro didático é pertinente, pois é sabido que no Brasil, devido a uma precária situação educacional, a utilização desse material didático, muitas vezes, determina conteúdos e condiciona estratégias de ensino, marcando, pois, de forma decisiva, *o que se ensina e como se ensina o que se ensina* (LAJOLO, 1996).

No quarto capítulo, abordamos o processo de construção do texto paradidático proposto, descrevendo a metodologia utilizada, seguido de uma breve avaliação. No processo de construção do material de ensino houve uma grande preocupação com a linguagem utilizada no texto o qual foi feito por meio de um diálogo. A nossa intenção foi produzir um material de ensino que pudesse atingir a população em geral e não apenas professores e alunos. Por isso, concordamos em criar uma estória fictícia composta de dois personagens: um jovem de dezesseis anos, estudante do ensino médio, e sua mãe, uma professora pesquisadora em Química.

A trama se desenrola em um laboratório de Química de uma universidade. Os personagens analisam a constituição química de um produto encontrado no armário comunitário de uma academia, que supostamente seria um suplemento alimentar². A amostra desconhecida, como foi chamada, é submetida a processos de separação, purificação e

² No Brasil, o conceito de suplemento alimentar é utilizado como algo que vai suprir ou complementar as necessidades nutricionais específicas de um indivíduo. A necessidade de suplementação deve ser avaliada por um profissional competente (médico ou nutricionista), considerando que, para a grande maioria das pessoas, uma alimentação adequadamente balanceada é suficiente para atender as necessidades diárias.

identificação das substâncias por análises físicas, químicas e espectrométricas (espectrometria de massa, espectroscopia de infravermelho, ressonância magnética nuclear de Hidrogênio e Carbono-13).

Ao término da análise três substâncias compõem a amostra desconhecida, entre elas a anfetamina. Por meio das investigações realizadas, os personagens elucidam as fórmulas moleculares e estruturais das substâncias que compõem o produto encontrado. Ao final, é feita uma abordagem da ação dos fármacos (as substâncias identificadas são fármacos) no organismo e da dependência de uma complementaridade estrutural entre fármaco e bioreceptores. Para isto, apresenta-se o modelo chave-fechadura de Emil Fischer (1852 - 1919).

Procuramos, por meio desta estória, trabalhar o tema vinculando-o a um contexto social, visto que, é assunto constante na mídia, notícias de jovens que consomem produtos diversos a fim de obter um físico invejável e são acometidos de problemas graves de saúde, inclusive letais. O objetivo do trabalho foi o de alertar as pessoas quanto ao perigo de se usar produtos de origem duvidosa, sem a orientação do profissional adequado, por meio dos conhecimentos químicos.

1 PERSPECTIVAS ATUAIS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Esse capítulo tem por objetivo tecer considerações acerca do contexto no qual se situa o ensino de ciências atualmente, o que se espera desse ensino e o que pode ser feito para melhorá-lo. Tais considerações delineiam o cenário que constitui o presente trabalho.

1.1 O Ensino Médio e o Ensino de Ciências em Foco

Historicamente, observa-se que o termo reforma sempre esteve presente no meio educacional. A cada novo governo, reformas foram instituídas com o intuito de modificar os objetivos da educação, em função de transformações políticas, econômicas e sociais, nacionais e internacionais. Nesse contexto, a importância atribuída à Ciência e à Tecnologia para o desenvolvimento econômico, cultural e social, tem refletido na importância do ensino de ciências em todos os níveis, sendo objeto de numerosos movimentos de transformação do ensino (KRASILCHIK, 2000).

Atualmente, a necessidade de adequação do ensino médio e, inserido nesse contexto, do ensino de ciências à realidade e às ações cotidianas dos indivíduos num cenário globalizado tem orientado diversas propostas de mudanças instituídas pela reforma da educação básica no Brasil, por meio da lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996). Regulamentada pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação – DCNEM – (BRASIL, 1998) e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN – (BRASIL, 1999), particularmente, no se refere ao ensino médio. Segundo esses documentos, o ensino médio deve corresponder às demandas do mundo atual, integrar em uma só modalidade, o mundo do trabalho e a prática social. Deseja-se que

os estudantes desenvolvam competências básicas para continuar aprendendo em face às rápidas transformações do conhecimento e que estas competências adquiridas estejam presentes na esfera social, cultural, nas atividades políticas e sociais como um todo (BRASIL, 1999).

Entretanto, observa-se um distanciamento entre o que está proposto nos documentos oficiais e na prática escolar. Muitas dificuldades têm sido enfrentadas, principalmente, no que se refere ao entendimento da própria lei, das Diretrizes e Parâmetros e dos significados de termos como: competência, habilidade, interdisciplinaridade e contextualização. É evidente que não se reorienta todo um processo educacional de uma hora para outra. Mas, é preciso que o professor reflita sobre as novas tendências educacionais e assuma o seu papel de protagonista destas transformações e deixe de ser um mero executor de programas impostos.

Não é o intuito, do presente trabalho, realizar uma discussão sobre os documentos oficiais, mas torna-se importante, a título de contextualização do ensino de ciências no momento atual, dizer que existe uma reforma educacional em andamento e qualquer trabalho de pesquisa desenvolvido na área de ensino deve procurar atender aos pressupostos constantes nesses documentos.

No entanto, mesmo considerando a importância e a força dos documentos oficiais, principalmente, os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN – encarregados de orientar o professor na busca de novas abordagens e metodologias e difundir os princípios da reforma curricular na orientação do cotidiano escolar, muitas reinterpretações e ações de resistência a esses documentos têm sido tecidas. A idéia não é a de menosprezar as orientações oficiais, mas também não submeter-se totalmente a elas.

De acordo com (LOPES, 2004), o discurso oficial pedagógico foi desenvolvido por apropriação de determinados contextos (acadêmico, internacional ou de práticas de sala de aula), que depois foram incorporados aos discursos oficiais (discurso híbrido). Assim constituídos, aparecem recontextualizados na tentativa de assumirem a aparência de inovação e de crítica. Por ter sido construído em associação a discursos legitimados entre professores e pesquisadores em educação, circula e é apropriado mais facilmente nos meios educacionais.

Segundo a autora, os PCN não apresentam discussões e análises de conteúdos mais amplas, focalizam a organização em detrimento da seleção dos conteúdos. Os conteúdos ficam subsumidos às competências; e as competências e habilidades ficam subsumidas às necessidades do mercado de trabalho. O que se pretende é preparar o indivíduo para viver em uma sociedade cada vez mais competitiva, desenvolvendo competências e habilidades para o desempenho e a atuação profissional em um mundo em que o trabalho está em constante mudança e não há a garantia de emprego. Desta forma, admite-se que se o indivíduo não desenvolve tais competências e habilidades, o fracasso, o desemprego e a exclusão estão relacionados com a sua incapacidade de adquirir as competências e habilidades exigidas por esse mundo competitivo.

O currículo por competências baseia-se na adequação da educação aos interesses do mundo produtivo, sem contestar o modelo de sociedade na qual está inserida. Nesse sentido, o discurso oficial, que se diz transformador, permanece orientando o ensino à inserção social e ao atendimento às demandas de trabalho, desconsiderando o processo educacional como um meio de promover uma formação cultural mais ampla do aluno, tornando-o capaz de conceber o mundo como possível de ser transformado em direção a relações sociais menos excludentes (LOPES, 2002).

Diante do exposto, entende-se que a educação necessita adequar-se às novas demandas do mundo global, mas nunca fora de uma perspectiva crítica e democrática. A escola deve auxiliar o indivíduo, por meio do ensino crítico e democrático, a conquistar a sua cidadania.

1.2 O Ensino de Ciências e a Cidadania

Segundo Santos e Schnetzler (1997, p. 29): “Educar para a cidadania é preparar o indivíduo para participar em uma sociedade democrática, por meio da garantia de seus direitos e do compromisso de seus deveres”.

A educação básica nacional deve ter como premissa básica, em uma perspectiva atual, a formação do cidadão – crítico, conhecedor de seus direitos e deveres, comprometido com os interesses da sociedade democrática conforme dispõem a Constituição Federal Brasileira e legislação pertinente. E inserido nesse contexto, evidentemente, estão o ensino médio, o ensino de ciências e o ensino de química.

A educação para a cidadania tem sido objeto de muitas discussões e reflexões. Mas, o que se sabe é que a educação a que se refere, não tem o mesmo significado da educação para a obediência às leis estabelecidas pelas classes dominantes. Ou seja, o ensino de ciências necessita ser útil no auxílio à formação da cidadania e não útil para contribuir, ainda mais com a dominação das elites (SANTOS E SCHNETZLER, 1996, 1997; CHASSOT, 2004).

Ainda de acordo com Chassot (2000, p. 27),

A nossa responsabilidade maior em ensinar Ciência é procurar que nossos alunos e alunas se transformem, com o ensino que fazemos em homens e

mulheres mais críticos. Sonhamos que, com o nosso fazer educação, os estudantes possam tornar-se agentes de transformações – para melhor – o mundo em que vivemos.

Mas o que é ser crítico ou crítica?

Nas palavras de Mora³ (1988, p. 674, apud Chassot, 2004, p. 90): “Ser crítico é considerar a realidade, ou o mundo, desde um ponto de vista crítico, isto é, a atitude à qual não é possível, nem desejável, conhecer o mundo, ou atuar nele, sem uma prévia crítica ou um prévio exame, dos fundamentos do conhecimento e da ação”.

Espera-se que a formação crítica seja ativa e procure levar o cidadão a relacionar os conhecimentos aprendidos com o contexto em que está inserido.

“Ser crítico é buscar mudar o mundo, e mudá-lo para melhor” (CHASSOT, 2004, p. 91).

A criticidade induz a mudanças, pois faz com que o indivíduo reflita sobre sua condição de vida, torna-o mais consciente e livre para tomar suas próprias decisões.

Para Freire (1983, p. 95):

Quanto mais crítico um grupo humano, tanto mais democrático e permeável, em regra. Tanto mais democrático quanto mais ligado às condições de sua circunstância. [...] Quanto menos criticidade em nós, tanto mais ingenuamente tratamos os problemas e discutimos superficialmente os assuntos.

Mas como ensinar Ciências na perspectiva da formação de cidadãos críticos?

Não existe receita, porém há caminhos a serem trilhados e/ou seguidos.

Segundo Chassot (2000), para se formar cidadãos críticos, o ensino necessita ser menos asséptico, no sentido de ser mais próximo da realidade. O conhecimento que se ensina

³ Verbete **criticismo**. In: MORA, José Ferrater. *Diccionario de filosofia*. Madrid: Alianza, 1998, p.674.

não está desvinculado do mundo. Dessa forma, torna-se fundamental a sua contextualização e interdisciplinaridade, de maneira que ele forneça algum significado para o aluno, pois é assim que ele se identifica com o conhecimento e pode desenvolver a capacidade de participação. O dogmatismo também deve ser substituído pela marca da incerteza. A Ciência não é mais considerada objetiva nem neutra, mas preparada e orientada por teorias e/ou modelos que, por serem construções humanas com propósitos explicativos e previsíveis, são provisórias. A Ciência, assim considerada, é repleta de controvérsias.

O ensino necessita ser cada vez mais marcado pela historicidade. Mas a História da Ciência não deve ser narrada como uma sucessão de fatos contínuos e cumulativos, uma continuidade linear de descobertas, de invenções ou de revoluções dos saberes passados, infestados de datas e nomes. Ela deve ser filosoficamente interrogada, possuidora de espírito crítico, interdisciplinar, que mantém estreita relação com a Filosofia, com a Epistemologia, com a História, com a Sociologia, além da própria Ciência (JAPIASSÚ, 1997).

A História da Ciência, na perspectiva da formação do cidadão crítico, sem reduzir a sua importância, é uma facilitadora da alfabetização científica do cidadão e cidadã (CHASSOT, 2000). Segundo esse autor, “a alfabetização científica é um conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem” (CHASSOT, 2000, p. 34). Para o autor a Ciência é uma linguagem e ser alfabetizado cientificamente é saber ler esta linguagem que representa o que está escrito na natureza (CHASSOT, 2003). Uma leitura politizada do mundo, capaz de fornecer informações vinculadas aos problemas ligados a fatores sociais que interessam aos cidadãos e que desenvolvem a capacidade dos indivíduos de tomar decisão, tornando efetiva a participação na sociedade. Uma leitura repleta de inquietação, curiosidade e indagação que promove a

associação dos conhecimentos científicos com os problemas que deram origem a sua construção, pois como revela Bachelard (1996, p.18) “todo conhecimento é a resposta a uma pergunta”.

Em face da complexidade de se realizar o ensino de ciências na perspectiva da formação para a cidadania, e ainda com o objetivo de trilhar meios para fazê-lo é de valiosa contribuição o que diz Bachelard (1996, p.300) com relação ao ensino e aprendizagem: “Quem é ensinado deve ensinar”. Sobre esta argumentação, Parente (1990, p.114) afirma que:

Partindo da idéia de que o processo de aprendizagem é pessoal, sendo o ‘outro’ termo do binômio apenas catalisador ou colaborador, pela criação de oportunidade; parece-me que a atuação do aluno estaria na transmissão de sua problemática própria de aprendiz que, à medida que fosse explicitada, estaria sendo ensinada ao professor. Assim sendo, seria somente com a participação do aluno que o mestre se tornaria um bom professor, ou aprenderia a sê-lo.

Diante do exposto, os alunos revelam, por meio de suas dúvidas, questionamentos, curiosidades, erros e manifestações críticas, nas entrelinhas do processo de aprendizagem, os caminhos capazes de levar ao como, ao o quê e ao porque ensinar. O professor, nesse contexto, necessita aprender sobre o como vai, o que vai e porque vai ensinar. Ou seja, necessita refletir sobre a sua prática educacional. Se o ensino visa à formação do cidadão crítico ele tem que ser fruto da criticidade, ora do professor, ora do próprio aluno.

Dessas necessidades surge mais uma questão: de que forma nós professores podemos melhorar a própria atividade docente, contribuindo para a construção do ensino reflexivo e crítico pautado nesses pressupostos?

A resposta vem por meio da pesquisa em ensino, na qual o professor não é só objeto de estudo, mas também, sujeito ativo e participativo como veremos a seguir.

1.3 A Importância da Pesquisa Docente para o Ensino de Ciências

“Define-se pesquisa como sendo um processo didático de construção crítica e criativa do conhecimento humano, das ciências e das tecnologias, é um processo constante de desequilíbrio e busca de sucessivas equilíbrios, sempre prioritariamente mais aperfeiçoadas” (VIANNA, 2001, p. 13).

Ou seja, a pesquisa visa à desconstrução e a construção de conhecimento, é puro movimento em torno de um problema a ser elucidado.

O problema a resolver põe o ser pensante no limite do seu saber, após ter feito a enumeração dos próprios conhecimentos adequados à sua resolução, e ter ainda dinamizado bases do próprio conhecimento, pondo-as em questão. Desta forma, o problema constitui o ‘cume ativo’ da pesquisa (PARENTE, 1990, p. 72).

O importante é que tais problemas nasçam da reflexão crítica do professor sobre a sua prática e dêem origem ao desenvolvimento de pesquisas, evidentemente, pesquisas embasadas em referencial teórico que estruturam as hipóteses que suportam as questões da pesquisa.

No entanto, observa-se que professores formados tradicionalmente⁴ e que reproduzem tal modelo, na sua maioria, não visualizam a possibilidade de rever a sua prática, refletir sobre suas ações em sala de aula, pesquisar sobre o ensino que desenvolvem. Geralmente, os problemas de aprendizagem constatados pelos professores são atribuídos à falta de base e de interesse dos alunos. Como para tais professores só há problemas de

⁴ Modelo de ensino conhecido como transmissão/recepção.

aprendizagem, não de ensino, não vêem razão ou necessidade para se investir em sua formação e pesquisa (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995). Nas palavras de Maldaner (2006, p.105):

Penso que os professores de Química, e de outras ciências da natureza, assumem uma posição aristotélico-empirista, e mesmo positivista ou outra mais complexa e confusa, de forma tácita, influenciados pelo entorno escolar e acadêmico, pois, geralmente, as reflexões epistemológicas não fazem parte da formação dos nossos professores.

Nessas circunstâncias, acabam prevalecendo às práticas não refletidas dos professores em toda a sua formação escolar e acadêmica, fundamentando-se em uma seqüência convencionada de conteúdos sem a preocupação com as inter-relações que se estabelecem entre esses conteúdos e, muito menos, com questões mais amplas da sociedade.

Dessa forma, desconsideram a complexidade do conhecimento científico, sua historicidade e as múltiplas implicações sociais. O que ocorre é que a formação do professor vem sendo dirigida para cursos de licenciatura em que prevalece uma separação entre as disciplinas do conteúdo específico e aquelas chamadas psicopedagógicas; sem o devido direcionamento das disciplinas para a formação desse profissional, acarretando danos e lacunas na sua formação. Segundo argumenta Maldaner (2006, p. 47):

Os estudantes criticam, com razão, desde a falta de didática da maioria dos professores da graduação, passando pela dicotomia das aulas práticas e teóricas, até a falta de transparência dos conteúdos de Química para o ensino secundário e elementar. Podemos afirmar que há um despreparo pedagógico dos professores universitários e isso afeta a formação em Química de maneira geral, não só os licenciandos.

Percebe-se que há pouca preocupação na formação inicial do professor enquanto aluno, pois a sua aprendizagem é geralmente pautada em aprendizagem mecânica no modelo de transmissão/recepção. Dessa formação distorcida tem resultado o reforço da dicotomia

teoria e prática, gerando concepções simplistas do professor sobre o ato de ensinar: basta saber o conteúdo específico e usar algumas estratégias pedagógicas para controlar ou entreter os alunos (SCHNETZLER; ARAGÃO, 1995).

Baseando-se nesse cenário de formação docente, surge a seguinte questão: como o professor pode, por meio do ensino tradicional a que é submetido, ensinar para formar alunos e alunas mais críticos se a sua própria formação é acrítica?

Tratando-se de educação em ciências e dentro desta grande área, a educação química, muitas pesquisas têm sido realizadas com o propósito de modificar esse quadro.

Segundo Schnetzler e Aragão, (1995, p. 28):

A educação química é compreendida como uma área da Química, embora se distinga das demais áreas desta ciência (química orgânica, físico-química etc.) não só pelo seu objeto de estudo e de investigação, mas também pelo pouco tempo de sua constituição como área.

A educação química tem como principal objeto de estudo e investigação o processo de ensino-aprendizagem do conhecimento químico, e não apenas o conhecimento químico em si. Para Schnetzler (2004, p. 50):

Isto significa que o domínio do conhecimento químico é condição necessária para o propósito e desenvolvimento de pesquisas no ensino, mas não é suficiente, dada a complexidade de seu objeto, das interações humanas e sociais que o caracterizam. Por isso, precisamos recorrer a contribuições teóricas das várias ciências humanas, não se tratando de mera utilização ou aplicação das mesmas à área de educação química.

A fim de minimizar as lacunas da formação, muitas pesquisas educacionais sobre modelos de formação docente têm sido realizadas. Constata-se que se os professores desconhecem as contribuições desta e de outras linhas de pesquisa, geralmente, é porque elas não foram introduzidas em seus cursos de licenciatura. E assim, reproduzem o que lhes foi e

como lhes foi ensinado na sala de aula, com os seus próprios alunos.

Além de pesquisas em formação docente, muitas outras investigações nos campos da Didática das Ciências e Currículo têm sido tecidas. Tais investigações são relevantes para a análise do conhecimento escolar. Nesse contexto, alguns conceitos foram criados com o objetivo de elucidar os caminhos que o conhecimento científico necessita percorrer para se transformar em conhecimento escolar. Um desses conceitos é o de transposição didática, que abordaremos a seguir.

2 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

A necessidade de se transformar um conhecimento científico nasce com a necessidade de ensiná-lo. Mas, para transformá-lo, faz-se necessário ter em mente que as mudanças ocorridas não devem se constituir apenas em uma adaptação ou simplificação desse conhecimento. Ao contrário, é preciso considerar que a ciência contemporânea é de difícil compreensão e o aprofundamento de seus conhecimentos exige conseqüentes rupturas em relação à perspectiva do conhecimento cotidiano e que o ensino de ciências, e inserido nesse contexto, o ensino de química, como já foi explicitado, lida com fronteiras que não se resumem, tão somente, às Ciências Naturais ou à Ciência Química, mas também com as Ciências Humanas (Psicologia, Filosofia, Sociologia, História), além de outros conhecimentos não-científicos, comuns, do cotidiano. Assim, acreditar que os conteúdos de ciências na escola são apenas simplificações dos conteúdos das Ciências de referência resulta na desconsideração de aspectos que seriam fundamentais para que os alunos pudessem compreender o conhecimento científico como o resultado de um processo dinâmico.

Chama-se de transposição didática esse processo de constituição de um conhecimento propriamente escolar (LOPES, 1999). A transposição didática relaciona-se com a transposição de conhecimento entre universos distintos, o da sala de aula e o da academia. Para Pietrocola et al. (2002, p. 1) “as transformações sofridas por determinado elemento do conhecimento ao sair do ambiente científico até se tornar elemento ou objeto de ensino são denominadas de transposição didática”.

Assim, a educação de forma geral e, nesse contexto, a educação química lida com o conhecimento que já foi validado pela comunidade científica e foi incorporado à cultura escolar por meio da transposição didática e que muitas vezes, apesar de já ter sido superado,

ainda faz parte dos conteúdos ensinados (MORTIMER, 1996).

Os estudos sobre transposição didática têm em Chevallard (1991) a principal referência. Ele define a transposição didática como um instrumento eficiente para analisar o processo por meio do qual o saber produzido pelos cientistas (o saber sábio) se transforma naquele que está contido nos programas e livros didáticos (o saber a ensinar) e, principalmente, naquele que aparece nas salas de aula (o saber ensinado) e ainda, analisa as modificações que o saber produzido pelo “sábio” (o cientista) sofre até ser transformado em um objeto de ensino (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2006).

Segundo Astolfi e Develay (1991), a escola nunca ensinou saberes “em estado puro”, mas sim conteúdos de ensino que resultam de cruzamentos complexos entre uma lógica conceitual, um projeto de formação e exigências didáticas. Esses autores explicitam que Chevalard e Johsua [1982] examinaram as transformações sofridas pelo conceito de distância desde a sua origem, no “saber sábio”, até o momento de sua introdução nos programas de geometria da sétima série, em relação a reta. Analisaram as modificações de seu estatuto teórico, ao longo do tempo, à medida que ia sendo aprimorado pelos círculos de pensamento intermediários entre a pesquisa e o ensino, os quais ele nomeou de noosfera. A noosfera se compõe de todo um conjunto de elementos que pensam os conteúdos de ensino (os pesquisadores ou cientistas, os autores de livros didáticos, o poder político, o currículo, os especialistas e os professores). Observaram que a designação de um elemento do “saber sábio” como objeto de ensino modifica-lhe muito fortemente a natureza, na medida em que se encontram deslocadas as questões que ele permite resolver, bem como a rede relacional que mantém com os outros conceitos. O saber ensinado sofre processos de despersonalização, descontemporização, decontextualização e naturalização, ou seja, ele aparece como um saber

sem origem, sem lugar, desprovido de seu significado original e separado da sua produção histórica.

A transposição didática nos moldes de Chevallard (1991) constitui-se em um processo espontâneo que surge quando se necessita ensinar algum conceito formalizado a alguém. O sujeito que ensina, no caso o professor, não tem a preocupação com as transformações que poderão ocorrer no significado desse conhecimento. O que importa é transmitir-lo ao aluno, o qual compete internalizar o conhecimento não questionado. Os atores do processo têm a certeza de que estão cumprindo eficientemente os seus papéis. No entanto, sabe-se que o ensino baseado em transmissão/recepção não é efetivamente apreendido pelo aluno. O conhecimento transposto desconectado da ciência formal, não ajuda a constituir o conhecimento do cotidiano, pois o aluno não consegue relacioná-lo com a sua cotidianidade e não representa o conhecimento escolar. E esta falta de relação existente entre o que é ensinado com a realidade vivenciada pelos alunos faz com que tenham um menor interesse com a aprendizagem desse ensino.

Verifica-se que os conteúdos ensinados na escola são respostas às perguntas que os cientistas elaboraram para resolver os problemas que os instigaram, mas não são as respostas às questões que normalmente são elaboradas pelos alunos. Não sendo inseridos no contexto científico, nem estando conscientes da relação entre o conhecimento científico e o conhecimento cotidiano, os alunos não conseguem ter acesso a um conhecimento escolar realmente significativo. É notório que o processo de transposição didática deva ser feito, mas não de forma a banalizar o conhecimento, simplesmente, tentando aproximar os conhecimentos científicos do conhecimento cotidiano. Como a ciência se constrói em rompimento com o senso comum, fatalmente, se reforça os laços, incorre-se em erros,

distorções e obstáculos a aprendizagem do conhecimento científico.

Portanto, a crítica a transposição didática advém de como e de que forma é feita a apropriação do conhecimento científico pela escola, o processo de transposição didática retira do saber sábio sua historicidade, sua problemática, sua dialética constituindo novas configurações cognitivas. Nesse contexto, Lopes (1999) defende que o termo transposição didática não representa bem o processo de transformação de saber sábio em saber ensinado. A autora comenta que o termo transposição didática parece estar associado à idéia de reprodução, movimento de transportar de um lugar a outro, sem alterações. Para conferir ao processo um sentido dialético, constituído de uma realidade a partir de mediações contraditórias, de relações complexas, não imediatas, chama-o de mediação didática.

Ricardo (2003) sinaliza que a atual legislação educacional e o currículo por competências exigem uma nova transposição didática. O autor explicita que em um ensino por competências, diferentemente do que ocorre com o ensino tradicional, não são os conteúdos a serem ensinados que determinam as competências, mas o contrário. Ou seja, a escolha dos conteúdos a serem estudados está vinculada à necessidade de se desenvolver as competências e habilidades. O que se pretende é que as competências gerais norteiem as escolhas didáticas e práticas pedagógicas, inclusive os conteúdos.

De toda forma, o trabalho, que se propõe por meio desta dissertação, tem a intenção de realizar uma transposição didática; pelo menos em parte, visto que, o tema pesquisado (saber sábio) já foi transposto e constitui-se em um conhecimento escolar (saber ensinado), conforme será abordado em capítulo posterior. E também, propor, segundo os PCN+ (BRASIL, 2002), o desenvolvimento de competências gerais em Química que possibilitem a leitura e a interpretação de códigos, nomenclaturas e textos próprios da

Química e da Ciência, a transposição entre diferentes formas de representação, a busca de informações, a produção e análise crítica de diferentes tipos de textos, de acordo com os domínios da representação e comunicação. E quem sabe, traçar os primeiros passos rumo à mediação didática idealizada pela autora acima citada.

2.1 Conhecimento Científico, Conhecimento Cotidiano e Conhecimento Escolar.

Sob a luz da epistemologia histórica de Gaston Bachelard, o ensino, a aprendizagem e a pesquisa em educação em ciências tem sido objeto de investigação de vários autores (BULCÃO, 1981; JAPIASSU, 1997; LOPES, 1999; PARENTE, 1990).

Entender sua epistemologia histórica é entender a atividade científica sob uma nova ótica, pois modifica a visão tradicional de ciências. O empirismo, na perspectiva dessa nova ciência, é superado pelo racionalismo. O cientista aproxima-se do objeto científico não mais por métodos baseados nos sentidos, na experiência comum, mas aproxima-se por meio da teoria. Nesse contexto, Bachelard afirma que a ciência progride de forma descontínua, e não por acúmulo de conhecimentos, em ruptura, com o senso comum.

Apesar de mais de um século de constituição, sua epistemologia é considerada atual, pois, consegue explicar as transformações que afetaram as teorias científicas contemporâneas, analisando suas contradições internas e seu processo de racionalização.

O estudo de sua epistemologia histórica promove o entendimento de questões que normalmente afligem os professores e que são relevantes para se compreender o complexo mecanismo de ensino – aprendizagem. Muitos professores no momento de reflexão de sua prática pedagógica se perguntam: Por que os alunos não entendem ou não aprendem o

conteúdo explicado? Por que é tão difícil estabelecer relações entre o conhecimento científico e o conhecimento que os alunos trazem consigo? Dentre muitas outras questões.

Nesse contexto, quando se propõe a falar de conhecimento científico e as inter-relações com outros saberes (conhecimento escolar e conhecimento cotidiano), faz-se necessário a aquisição de subsídios para uma reflexão filosófica sobre a atividade. Na filosofia de Bachelard, é possível encontrar esses subsídios e obter maior clareza com relação à qualidade epistêmica do trabalho e as implicações causadas pelo processo de construção do conhecimento escolar. Pois, sabe-se que os problemas de ensino-aprendizagem não se resumem apenas a questões ligadas à metodologia, mas também a aspectos epistemológicos e sociológicos associados ao problema educacional de uma forma mais ampla. Nesse sentido, o educador precisa ter em mente que o processo de constituição do conhecimento escolar ocorre no confronto com os demais saberes sociais, ou seja, saberes que fazem parte da cotidianidade dos alunos.

Dentre os diferentes saberes sociais, o conhecimento científico e o conhecimento cotidiano se mostram como dois campos que diretamente se inter-relacionam com o conhecimento escolar, muitas vezes se justapondo. Entende-se que o conhecimento escolar, por princípio, propõe-se a construir o conhecimento científico aos alunos e, ao mesmo tempo, é base da construção do conhecimento cotidiano de uma sociedade. O conhecimento cotidiano e o conhecimento científico têm entre si uma nítida ruptura que, freqüentemente, é mascarada pelo conhecimento escolar. Para Bachelard, esses dois tipos de conhecimento: o conhecimento cotidiano e conhecimento científico não podem ter a mesma filosofia, uma vez que é nítida a ruptura que os diferencia (LOPES, 1999).

Com base nessas premissas, ocorre uma descontinuidade entre o conhecimento

cotidiano e o conhecimento científico. À medida que um conceito se transforma e com o aparecimento de outros conceitos rompe-se com o conhecimento anterior sedimentado. Para se apoderar do conhecimento científico, faz-se necessário romper com conhecimentos anteriores que podem estar funcionando como obstáculos à aprendizagem de novos conceitos. O conhecimento desses obstáculos possibilita ao professor realizar um diagnóstico do processo de ensino-aprendizagem a fim de aplicar com maior eficácia as estratégias de ensino. Há de se considerar o cuidado que se deve ter na constituição do conhecimento escolar para que esse não ofusque as rupturas necessárias a constituição do conhecimento científico.

No pensamento bachelardeano, o objeto científico não existe na realidade, sendo construído com a participação do sujeito através de um processo de racionalizações sucessivas (BULCÃO, 1981). Nesse sentido, superar os obstáculos ao conhecimento é fundamental para que ocorra a aprendizagem. O rompimento com a realidade imediata é o primeiro passo para se efetivar o aprendizado do conhecimento científico atual.

Entretanto, com o objetivo de melhor entender como se realizam os processos de apropriação do conhecimento científico na sala de aula, torna-se necessário discutir nesse trabalho as concepções pertinentes a esse conhecimento, assim como as suas inter-relações.

2.1.1 O Conhecimento Científico

Todos reconhecem a importância e as contribuições da Ciência na sociedade ocidental, no entanto, também é sabido que a Ciência não é capaz de resolver todos os problemas da humanidade. Nesse contexto, a Ciência perdeu, através dos tempos, uma parte dos seus atributos, a sua capacidade de equacionar todos os problemas e resolvê-los, entretanto, não perdeu a sua credibilidade. A sociedade apreendeu a confiar no que é

científico, pois o que é científico traz embutido o conceito de verdade. Com tanto poder, a Ciência não é entendida como uma produção humana, como uma obra de cultura e sim, como um onipotente objeto de culto, um mito.

A idéia de que a Ciência se fundamenta em uma base empírica, obtendo as suas verdades inquestionáveis dos fatos, dos dados da experiência sensível, ainda é a sua percepção majoritária. No mundo atual, o poder inquestionável da Ciência constitui-se em instrumento de manipulação de pessoas, o discurso científico freqüentemente utilizado pelos meios de comunicação é muito mais eficaz quanto menor é o conhecimento científico de quem recebe a informação. Nem mesmo o próprio corpo de cientistas consegue absorver completamente os avanços da Ciência de ponta, quanto mais o público leigo. No entanto, na medida em que a Ciência avança e se sofisticada amplia sua complexidade e se distancia, dificultando ainda mais a compreensão.

Por isso, a preocupação com os processos de ensino-aprendizagem de Ciências e de divulgação científica são de grande relevância. Uma formação em Ciências no mundo de hoje, deve permitir à pessoa, diante da notícia de um avanço científico avaliar seu alcance real, após descontar os exageros da mídia. Deve promover a crítica à informação que mitifica a ciência e aumenta a sua complexidade. Contribuindo para a construção de uma visão de mundo descontínua e plural.

Nesse contexto, o domínio do conhecimento científico é necessário, principalmente para nos defendermos do discurso científico que age ideologicamente em nosso cotidiano. Para vivermos melhor e para atuarmos politicamente no sentido de desconstruir processos de opressão, precisamos do conhecimento científico. Precisamos ter consciência do seu significado para poder questionar a essência de sua necessidade para a

humanidade, os seus métodos e as conseqüências de suas ações, compreendendo os limites de sua atuação e desenvolvendo a capacidade de decidir quais os rumos que a sociedade deverá tomar à luz da ciência. O conhecimento científico na atualidade é requisito fundamental para a formação do cidadão crítico.

Mas, o que se pode dizer sobre o conhecimento científico? Em Bachelard, a Ciência é vista como um construto que se modifica em um progresso científico. Para esse filósofo o pensamento científico é composto, como ele mesmo define, de modo grosseiro em etapas históricas, distintas em três grandes períodos:

O primeiro período, que representa o *estado pré-científico*, compreenderia tanto a Antiguidade clássica quanto os séculos de renascimento e de novas buscas, como os séculos XVI, XVII e até XVIII. O segundo período, que representa o *estado científico*, em preparação no fim do século XVIII, se estenderia por todo o século XIX e início do século XX. Em terceiro lugar, considerariamos o ano 1905 como o início da era do *novo espírito científico*, momento em que a relatividade de Einstein deforma conceitos primordiais que eram tidos como fixados para sempre (BACHELARD, 1996, p. 9).

E individualmente, o espírito científico também atravessa três etapas em seu desenvolvimento.

1º O estado concreto, em que o espírito se entretém com as primeiras imagens do fenômeno e se apóia numa literatura filosófica que exalta a Natureza, louvando curiosamente ao mesmo tempo a unidade do mundo e sua rica diversidade.

2º O estado concreto-abstrato, em que o espírito acrescenta à experiência física esquemas geométricos e se apóia numa filosofia da simplicidade. O espírito ainda está numa situação paradoxal: sente-se tanto mais segura de sua abstração, quando mais claramente essa abstração for representada por uma intuição sensível.

3º O estado abstrato, em que o espírito adota informações voluntariamente subtraídas à intuição do espaço real, voluntariamente desligadas da experiência imediata e até em polêmica declarada com a realidade primeira, sempre impura, sempre informe (BACHELARD, 1996, p. 10-11).

É importante salientar que a evolução do pensamento científico não é uniforme.

Os setores de uma determinada ciência podem estar em estágios de desenvolvimento distintos, alguns bem apurados em face das noções racionais enquanto outros ainda permanecem no patamar da ciência sensível (BULCÃO, 1981).

Segundo Bachelard, os conhecimentos do passado não são uma preparação para os conhecimentos do presente. Por isso, todo o conhecimento científico deve ser reconstruído. E para ser reconstruído é necessário romper com o saber do passado, torna-se necessário afastar os obstáculos epistemológicos que impedem o desenvolvimento da razão.

Em se tratando de progresso e evolução da ciência, chega-se à convicção de que “é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado” (BACHELARD, 1996, p. 17).

Em se tratando de ensino, Bachelard explicita que quando um aluno entra na sala de aula, traz consigo, conhecimentos empíricos (atividades do senso comum) já constituídos, então, o problema não é o de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar uma cultura experimental, de derrubar obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.

Nesse contexto, “os hábitos intelectuais incrustados no conhecimento não questionado invariavelmente bloqueiam o processo de construção do novo conhecimento caracterizando-se, portanto, em obstáculos epistemológicos” (LOPES, 1993, p. 325).

O conhecimento não questionado é o que se pode chamar de conhecimento comum ou conhecimento cotidiano, e como tal, acaba por se constituir em um obstáculo epistemológico ao conhecimento científico. Segundo Bachelard, abordar o conhecimento científico, por meio do conhecimento escolar, como um aprofundamento do conhecimento cotidiano é criar um abismo entre eles. No seu entendimento, é preciso considerar que a Ciência Contemporânea é de difícil compreensão e o aprofundamento de seus conhecimentos

exige conseqüentes rupturas em relação à perspectiva do conhecimento cotidiano. Ensinar não é transmitir um enorme montante de conteúdos, mas promover uma busca do educando a superação consciente de suas limitações e de seus obstáculos na aquisição de um conhecimento mais avançado.

Bachelard, enquanto defensor do descontínuo da razão, mostra-se contrário a que se tente estabelecer no ensino pontes imaginárias entre o conhecimento comum e o conhecimento científico. A racionalidade do conhecimento científico *não* é um refinamento da racionalidade do senso comum, mas, ao contrário, rompe com seus princípios, exige uma nova razão que se constrói à medida que são suplantados os obstáculos epistemológicos. Essa ruptura impede o infinito encadeamento de idéias, como elos de uma corrente produzidos à semelhança dos anteriores, visando o encaixe perfeito (LOPES,1993, p.325).

Então, a aprendizagem deve se dar contra um conhecimento anterior, a partir da desconstrução do conhecimento comum. “Na medida em que sempre conhecemos contra um conhecimento anterior, retificando erros da experiência comum e construindo a experiência científica em diálogo constante com a razão, precisamos constantemente suplantarmos os obstáculos epistemológicos”. (LOPES, 1993, p.325).

Nesse contexto, o conhecimento científico construído pelos sujeitos, está sempre em evolução, é descontínuo, progride por retificações de erros e reorganizações do saber que rompem com o passado e pode ser entendido conhecendo-se as construções teóricas de hoje à luz da superação das dificuldades da ciência anterior.

No entanto, o conhecimento cotidiano, como os demais saberes sociais, faz parte da cultura e é construído pelos homens e transmitido das gerações adultas às gerações sucessivas. Desse modo, o conhecimento cotidiano relaciona-se de forma diversa com os outros tipos de saberes, ora é entendido como um conhecimento a ser suplantado pelo conhecimento científico, ora é o eixo central do processo de ensino- aprendizagem, ora é

valorizado como concepções prévias ou concepções alternativas dos alunos.

Segundo Lopes (1999), a escola é entendida como um importante meio de transmissão e tem papel preponderante na constituição desse conhecimento, pois por interações com outros saberes elabora significados que são incorporados de forma comum a todos os indivíduos. Muitas pesquisas, que tratam de temas sobre mudança conceitual e valorização de saberes populares, defendem que o processo de ensino-aprendizagem significativo aproxima-se do cotidiano, porém de forma problematizadora. No entanto, entende-se que o conhecimento cotidiano representa um dos obstáculos a ser suplantado pelo conhecimento científico em seu processo de desenvolvimento e construção. Conhecemos sempre contra um conhecimento anterior, contra nossas primeiras impressões, suplantando o empirismo do conhecimento cotidiano e familiar. O conhecimento cotidiano por ser a soma de nossos conhecimentos sobre a realidade que utilizamos de um modo efetivo na vida cotidiana, sempre de modo heterogêneo, feito de observações justapostas, preso ao empirismo das primeiras impressões é pura opinião e se opõe a Ciência.

No entanto, à medida que a sociedade se torna mais complexa, que a tecnologia invade nosso cotidiano de maneira avassaladora, com o crescente número de informações vinculadas por inúmeros meios de comunicação, o mínimo de saber cotidiano exigido pelas relações sociais se modifica. Esta complexidade da sociedade informatizada também atinge os meios de produção e exige um trabalhador que menos executa diretamente uma operação e mais programa esta operação. Esse mundo tecnológico impõe um mínimo de saberes cada vez maior, mas ainda assim acrílicos e não problematizados nas ações cotidianas.

Nesse sentido é que mais se expressa à complexidade que envolve o conhecimento escolar: ter por objetivo a socialização do conhecimento científico, necessária à

formação cultural mais ampla do indivíduo; ser um instrumento de libertação, resistência, capaz de organizar um conhecimento cotidiano mais amplo, que incorpora avanços da ciência sem vulgarizações, ser um conhecimento problematizador e crítico.

Nesse quadro, com o intuito de abordar mais diretamente o tema da pesquisa e a problemática que envolve o seu ensino, a partir de agora, discute-se a linguagem química.

3 O ENSINO E A LINGUAGEM DA QUÍMICA

O conhecimento escolar em Química tem como objetos de estudo os materiais e as substâncias que os compõem, as propriedades, a constituição e as transformações. A Química estuda as substâncias que formam os seres vivos e os objetos. Assim, tudo que existe no mundo material, de alguma forma, é estudado pela Química.

No entanto, uma dificuldade freqüente dos estudantes nas aulas de Química é a de não entenderem o que o professor está dizendo. E por que isto ocorre?

Observa-se que quando os professores de química conversam entre si, sobre o conhecimento químico conseguem transitar sem dificuldades pelas dimensões necessárias ao entendimento desse conhecimento. Quase sempre, não há necessidade de se informar se o que estão dizendo sobre a Química abrange a dimensão macroscópica, submicroscópica ou simbólica. Esses três aspectos do conhecimento químico são facilmente compreendidos por eles e o trânsito por estas dimensões é rapidamente realizado. No entanto, a mesma facilidade não ocorre com os alunos. Para os alunos é difícil distinguir a qual dimensão do conhecimento o professor se refere e quando é necessário transitar entre elas.

Acontece que o conhecimento químico pode ser analisado em três dimensões ou níveis diferentes de conhecimento, a saber: o fenomenológico ou macroscópico, o teórico ou submicroscópico e o representacional ou da linguagem química. Do ponto de vista didático e a fim de promover uma descrição mais ampla e profunda, convém distinguir as três dimensões ou níveis desse conhecimento.

De acordo com Mortimer, Machado e Romanelli (2000), o nível fenomenológico ou macroscópico está relacionado ao estudo e observação dos fenômenos de interesse da Química, sejam eles perceptíveis diretamente pelos sentidos, tais como a observação de uma

mudança de estado físico, medições, cores e cheiros em um laboratório, interações da matéria com a energia, e também, aqueles fenômenos estudados pela Química que estabelecem relações com o cotidiano dos alunos. Quando o professor questiona, por exemplo, sobre cores visualizadas de objetos, ele está se referindo a algo que faz parte da cotidianidade do aluno e esse tipo de informação é facilmente aprendida pelo estudante.

Já o nível teórico é aquele que se fundamenta teoricamente, possibilitando a explicação de informações de natureza atômico-molecular. Esta dimensão do conhecimento é representada por meio de modelos, por composição de palavras, figuras, analogias e metáforas. Os modelos abstratos representam entidades não diretamente perceptíveis, como átomos, moléculas, íons, elétrons, etc. Esse nível de conhecimento não se refere a uma experiência que pode ser vivida diretamente pelo estudante, não se podem ver as partículas. Assim, comumente, a sua abordagem, desconectada do sensível, pode gerar problemas de entendimento. Caso não seja tratado adequadamente, pode se tornar uma fonte de obstáculos à aprendizagem, pois se o aluno não conhece a teoria científica necessária para interpretar o fenômeno ou resultado experimental e não compreende a linguagem utilizada, ele o fará com suas próprias teorias, suas idéias e conceitos do senso comum. O conhecimento do senso comum deve ser rompido para que o conhecimento científico floresça na mente dos alunos. O estudo de objetos subatômicos com características concretas, sensíveis à percepção humana, pode levar os alunos a concluírem, por exemplo, que átomos de ouro são amarelos, incorrendo em erros conceituais profundos.

O nível representacional ou dimensão simbólica é o que abarca as informações inerentes à linguagem química. O mundo material imperceptível cria forma, seja em caráter qualitativo ou em caráter quantitativo; por meio de notações, fórmulas, equações, gráficos,

símbolos e figuras. Ele é fruto da experiência acumulada dos químicos por meio de práticas experimentais e teóricas, e também de congressos mundiais onde são convencionadas as melhores formas de notação. Para estudar e entender a ciência Química é necessário aprender esta linguagem.

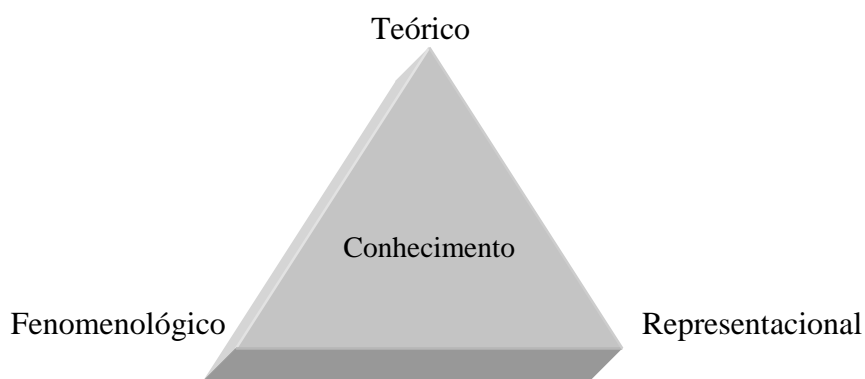


Figura 1: Aspectos interligados do conhecimento Químico.
Adaptado de Mortimer, Machado e Romanelli (2000)

No entanto, observa-se que o ensino tradicional vem, por meio dos currículos e livros didáticos, sobrecarregando o ensino do conhecimento químico, enfocando em demasia o nível representacional ou simbólico em detrimento dos outros níveis. Parece que todo o conhecimento químico se resume ao estudo das representações químicas. E estas representações são aprendidas de forma descontextualizada com os aspectos fenomenológicos e teóricos, transformando a linguagem química em algo hermético e de difícil compreensão. Estas dificuldades relacionam-se também com a distinção que se estabelece entre a linguagem química e a linguagem comum, aumentando a distância entre os entes químicos dos mundos microscópicos e macroscópicos.

Segundo os autores supracitados, a falta de abordagens em níveis fenomenológicos e teóricos, nas salas de aulas, pode levar os alunos a crer que fórmulas,

equações químicas e modelos para a matéria existem na realidade. É muito importante que os três aspectos sejam abordados conjuntamente. A produção de conhecimento em química resulta sempre da dialética entre o fenômeno ou o resultado experimental e a teoria que o explica ou vice-versa. É evidente que o nível representacional ou a linguagem química também participa desse processo, fornecendo as ferramentas simbólicas necessárias para o entendimento do que se quer ensinar em Química. E mais ainda, os três aspectos do conhecimento químico, quando bem inter-relacionados, podem desenvolver nos alunos habilidades básicas para viver em sociedade e para ler o mundo sob as lentes da Química.

De acordo com Parente (1990, p. 39):

Por linguagem química, entende-se o sistema construído pela ciência química, sistema pelo qual ela expressa seu próprio conteúdo (fatos, conceitos, relações etc.), e que compreende também as normas de criação e grafia de seus termos (nomenclatura e notações, quadros, sistemas computacionais etc.), no contexto das teorias que o fundamentam.

Enfoca-se, a partir de agora, no presente trabalho, o estudo do nível representacional ou da linguagem química, no que tange às fórmulas e estruturas químicas, intimamente relacionadas aos outros dois níveis.

3.1 Considerações sobre a origem e evolução das fórmulas e estruturas químicas

Os alquimistas utilizavam-se dos sinais simbólicos (símbolos secretos, hieróglifos e pictogramas), ora para descrever suas teorias, materiais e operações; ora para restringir o seu conhecimento por meio de um simbolismo incompreensível. Estas representações vieram evoluindo ao longo da história.

Posteriormente, com o surgimento da comunidade dos químicos cresceu a

necessidade de se unificar a forma de expressão para que a comunicação fosse viável. Esta uniformização criou uma linguagem universal que é utilizada entre as várias comunidades existentes atualmente. A linguagem química, hoje, é caracterizada por fazer uso de uma variedade de representações simbólicas, tais como as fórmulas.

A criação da nomenclatura química foi necessária para modificar uma terminologia obscura que denominava as substâncias por nomes que às vezes davam alguma informação sobre uma ou outra qualidade da substância (*aqua ardens*, *aqua fortis*), derivados de termos astrológicos (cáustico lunar), de nomes de pessoas (sal de Glauber) ou de lugares (sal de Epsom), com nomes próximos da linguagem culinária, tais como: Manteiga de Antimônio, manteiga de estanho, óleos de vitríolo, etc., ou associavam várias destas características (*spiritus fumans Libavii*) (MAAR, 1999). Muitas vezes uma substância podia ter vários nomes, ou então, o mesmo nome podia designar diferentes substâncias.

Devido a esta confusão de terminologias, Antoine Laurent de Lavoisier (1734-1794) e colaboradores (MAAR, 1999), no desenvolver de seu trabalho, sentiram a necessidade de elaborar uma nova nomenclatura química com regras claras e que fosse utilizada por todos. Tal nomenclatura foi incorporada ao seu famoso “Tratado Elementar de Química” e com ele difundida.

Com intuito de explicitar como esse grande cientista denominava os elementos, as substâncias e os materiais, em uma passagem do referido Tratado, Lavoisier (2007) diz que o ar da atmosfera é principalmente substância de dois fluidos aeriformes ou gases, um respirável, capaz de manter a vida dos animais, no qual os metais se calcinam e os corpos combustíveis podem queimar; e o outro portador de propriedades opostas ao primeiro, nele os animais não podem respirar, não pode manter a combustão e etc. Baseando-se nestas

características, chamou o ar respirável de oxigênio, derivando-o de duas palavras gregas – *oxy* que significa *ácido*, *e-gen*, *gerador ou produtor*, porque uma das propriedades mais gerais desse elemento é formar ácidos com a maior parte das substâncias. E o não respirável de azoto, por possuir a propriedade de privar da vida os animais que o respiram.

No decurso de outra experiência fundamental, Lavoisier, em 1783, decompôs a água em hidrogênio e oxigênio, modificando totalmente o conceito de elemento herdado pelos filósofos gregos. Lavoisier propôs que um elemento poderia ser definido experimentalmente como qualquer substância que não pudesse ser decomposta por métodos químicos. Era o empirismo rompendo com o realismo que predominava até então.

Lavoisier compreendia a utilidade das notações químicas, desde que os nomes usados fossem obtidos segundo os elementos de que eram constituídos. No entanto, os símbolos que ele adotou eram quase tão impenetráveis quanto os hieróglifos dos alquimistas (STRATHERN, 2002). A sua nomenclatura descritiva só podia prever que substâncias químicas iriam resultar de uma reação, representando, simplesmente, a proporção com os elementos se combinavam para formar as substâncias, mas não existia, até então, uma teoria que as respaldasse.

Esse respaldo veio quando John Dalton (1766-1844) elaborou a sua hipótese atômica ou teoria atômica. Tal fato representa a linha de demarcação entre o empirismo e a Química clássica, pois marcou o começo de uma longa busca de explicações racionais dos fatos químicos.

Por meio desta teoria, ele sugeriu a interpretação de que cada elemento fosse constituído por uma única espécie de átomos. Em uma reação química, os átomos de diferentes elementos poderiam se combinar para formar os “átomos compostos” (moléculas)

que seriam a menor unidade da substância composta.

Dalton imaginou que os átomos possuíam forma esférica e pesos diferentes, constituindo-se na menor quantidade de uma substância que ainda preservava as suas propriedades.

Com toda a precisão que agora a Química era caracterizada, diante da nova nomenclatura que Lavoisier havia introduzido no final do século XVIII e com a própria teoria atômica, tornou-se cada vez mais desejável dispor de alguma forma de se representar o que estava acontecendo em uma reação química. A teoria atômica abriu caminhos para isso e o próprio Dalton também criou uma forma de descrever esses processos, utilizando-se de símbolos circulares para representar os elementos referidos. Segundo Laszlo (1995, p.45) “Dalton faz assim como que o alfabeto das palavras das coisas”.

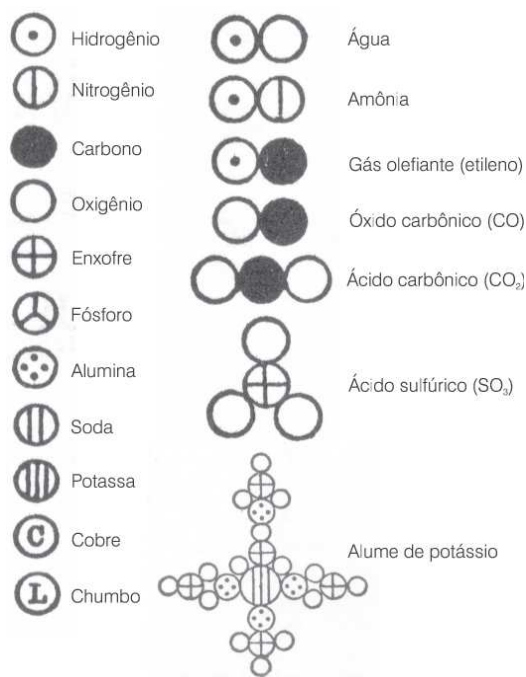


Figura 2: Simbologia criada por Dalton para os elementos e suas substâncias.
Fonte: QNE n° 20, Nov. 2004, p.42.

Ele compreendeu a necessidade de um simbolismo mais simplificado e nada mais

justo do que representar os átomos, de acordo com que imaginava, como minúsculas entidades circulares e os elementos de forma circular. Como pode-se notar na Figura 2, o hidrogênio era representado por um círculo com um ponto no meio; o enxofre tinha uma cruz no círculo; o cobre tinha um c no círculo, como o símbolo de direito autoral. As substâncias eram mostradas como grupos de círculos inscritos raiados, manchados, pontilhados e sombreados (STRATHERN, 2002). Segundo o mesmo autor, as substâncias eram parecidas com alguma coisa entre um boneco de Michelin e uma formação de bolas de sinuca.

Dalton sabia, por meio de resultados experimentais (origem das leis ponderais), que 1g de hidrogênio combinava-se com 8 g de oxigênio. Ele pensava que a fórmula da água era HO.

Em 1808, o químico francês Louis J. Gay-Lussac (1778-1850) enunciou uma lei empírica sobre a relação entre os volumes de reagentes gasosos em uma reação química. Inicialmente, Gay-Lussac não interpretou esta lei usando idéias atomistas, já que não compartilhava tais idéias com Dalton. O seu trabalho enquadrava-se numa tradição empirista, comum no início do século XIX, que valorizava as propriedades mensuráveis, como volume e equivalente, questionando o uso de entidades não visíveis e hipotéticas como os átomos.

Em termos mais modernos, a sua lei afirmava que em uma reação química, os volumes gasosos, medidos nas mesmas condições de temperatura e pressão estão em uma proporção de números inteiros e pequenos. No caso da água, descobriu-se que 2 volumes de hidrogênio (H) combinam-se com 1 volume de oxigênio (O) formando 2 volumes de água.

O trabalho de Gay-Lussac sobre os gases serviu de referência para o cientista Amedeo Avogadro de Quarenga (1776-1856) que questionou a possibilidade de interpretá-los à luz da teoria atômica de Dalton. Ele é lembrado hoje pelo que ainda se chama de “hipótese

de Avogadro” uma grande idéia que resolvia um problema não resolvido por Gay-Lussac. Avogadro utilizou o termo molécula em lugar de átomo na defesa de suas idéias e na sua hipótese mais popular, admitiu que volumes iguais de gases diferentes, nas mesmas condições de temperatura e pressão continham o mesmo número de moléculas. Para justificar resultados experimentais, Avogadro admitiu também que moléculas de certos elementos seriam formadas por dois átomos. Tais hipóteses eram totalmente inaceitáveis por Dalton. Para um volume de oxigênio dar origem a dois volumes de água era preciso considerar o oxigênio tendo molécula diatômica. A relação de 2 para 2 do hidrogênio com água também nos leva a considerar o hidrogênio como sendo diatômico . E se considerarmos, como Dalton, que as massas atômicas relativas do hidrogênio e do oxigênio estão na proporção de 1 para 8, então, na verdade temos, segundo a equação química da água, a proporção de 4 para 32 de hidrogênio e oxigênio respectivamente. Cada hidrogênio possui uma massa atômica relativa de 1 e cada oxigênio possui uma massa atômica relativa de 16.

Dalton não aceitava as idéias de Avogadro porque ele imaginava que amostras gasosas com o mesmo número de átomos de diferentes elementos não poderiam ocupar volumes iguais. Na sua concepção, os gases eram formados por átomos estáticos em contato uns com os outros, como os elementos eram diferentes, naturalmente possuiriam tamanhos e massas diferentes e não poderiam ocupar o mesmo volume. E a segunda hipótese encontrou forte oposição porque Dalton imaginava que átomos iguais se repeliam, o que tornava impossível a existência de moléculas formadas pela combinação de átomos idênticos. Não só Dalton rejeitou a hipótese de Avogadro, mas também, a maioria dos químicos durante quase cinquenta anos e fez surgir, nesse ínterim, muitas controvérsias entre valores de massas atômicas, massas moleculares e fórmulas químicas.

No entanto, foi Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) quem imaginou um método simples para dar nomes para os elementos e construir as fórmulas moleculares, que constitui a base da nomenclatura hoje utilizada. A criação de sua simbologia para os elementos possibilitou a criação escrita das substâncias. A denominação do elemento deveria ser o nome antigo correspondente grego ou latino. Assim, o ouro (*gold* em inglês, *or* em francês e *guld* em sueco) tornou-se o latim *aurum*; e a prata (*silver* em inglês, *argent* em francês e *silber* em alemão) tornou-se o latim *argentum*. Ele também sugeriu que o átomo de cada elemento fosse representado pela primeira letra (ou letras) de seu nome. Em uma equação química, por exemplo, o elemento deveria ser representado pela letra inicial do seu nome latino ou grego. Quando dois elementos tinham a mesma inicial, uma segunda letra do nome clássico deveria ser utilizada para fazer a distinção. Assim *aurum* (ouro), tornou-se Au e *argentum* (prata) tornou-se Ag. Por exemplo, monóxido de carbono podia ser inscrito CO. E quando se constatava que mais de um átomo de um elemento estava presente numa substância, decidiu-se que isso deveria ser indicado por um número subscrito. Assim dióxido de carbono deveria ser escrito CO₂; e a amônia (que contém um átomo de nitrogênio e três de hidrogênio) tornou-se o NH₃. Ele também sugeriu a fórmula H₂O para a água (MORTIMER, 1996).

Esta forma de notação permitiu a visualização prática da conservação da massa e dos elementos químicos entre reagentes (lado esquerdo) e (lado direito), estabelecendo uma relação possível de se equacionar. As fórmulas químicas, assim como as fórmulas matemáticas, tinham que se compensar e por isso começaram a ser representadas por meio de equações químicas.

Mesmo assim, em meados do século XIX, os cientistas tinham uma grande variedade de representações, existia uma grande heterogeneidade entre as fórmulas

moleculares, pesos atômicos e nomes das substâncias.

A Química orgânica se destacava e com ela uma infinidade de substâncias orgânicas surgia. No entanto, o grande número de isômeros encontrados para as substâncias orgânicas dificultava os trabalhos e a comunicação da linguagem da Química Orgânica. Conforme Roque e Silva (2008) o ácido acético tinha dezenove diferentes representações, inclusive com diferentes números de átomos na molécula.

Em 1860, realizou-se na Alemanha o congresso de Karlsruhe. Considerado o primeiro grande encontro da comunidade química na História da Ciência, convocado por um importante químico alemão August Kekulé Von Stradonitz (1829-1896), que planejou trazer para o debate importantes aspectos da Química daquele período. “O principal objetivo dos congressistas era encontrar uma posição consensual, de uma comunidade científica em expansão, em relação à linguagem e às representações utilizadas pelos químicos” (OKI 2007, p. 24). A Química do século XIX apresentava muitos problemas teóricos que necessitavam ser resolvidos. Alguns conceitos como o de átomos e moléculas; pesos atômicos e equivalentes químicos precisavam ser elucidados; divergências quanto à nomenclatura empregada tinham que ser sanadas, uma notação e uma nomenclatura padrão necessitava ser estabelecida, entre outros.

Mas foi a participação decisiva do químico italiano Stanislao Cannizzarro (1826-1910) que contribuiu para a superação das antigas dúvidas. Ao final do congresso, ele distribuiu entre os participantes um artigo de sua autoria chamado: *Sunto di um Corso di Filosofia Chimica*. Com esse trabalho, Cannizzarro pode então difundir as suas idéias e mostrar o interesse das concepções de Avogadro quanto à estrutura das moléculas e ao cálculo dos pesos moleculares. Graças a ele, e a um estudo das hipóteses atômicas, foi possível

impor-se progressivamente uma visão mais clara da estrutura dos corpos. Fez-se a diferença entre átomos e moléculas de um corpo simples. Admitiu-se que as partículas de gás podem dissociar-se quando entram em combinação, uma vez que elas são constituídas por vários átomos. Depois de a teoria atômica ter sido reconhecida, os químicos irão poder interessar-se pelas estruturas que os átomos formam entre si no seio da molécula.

Segundo Mortimer (1996), a partir da segunda metade do século XIX os químicos começaram a usar as fórmulas como uma representação espacial da molécula que poderia explicar várias propriedades das substâncias. As fórmulas químicas passaram a representar não só as qualidades e quantidades combinadas, mas também, a realidade molecular, permitindo antever como os átomos que constituíam a molécula estavam distribuídos no espaço e de que forma se ligavam uns aos outros.

Primeiramente, as estruturas moleculares começaram a ser representadas por letras caracterizando os átomos e traços representando as ligações. As substâncias orgânicas eram representadas por fórmulas planas e no caso das estruturas cíclicas eram representadas por desenhos de poliedros como a do benzeno. Em seguida foram representadas por modelos rígidos constituídos de bolas e varetas de perspectiva bidimensional.

A fórmula estrutural em três dimensões só foi idealizada e possível quando Louis Pasteur (1822-1895) conseguiu separar com o auxílio de uma pinça e uma lupa, após cristalização lenta, cristais de sais de ácido tartárico. Os cristais provocavam um comportamento diferente em relação à luz polarizada e esse fenômeno devia-se à propriedade ótica apresentada pela molécula quando há carbono assimétrico presente, resultando assim, nos pares de isômeros, os quais geram a imagem, um do outro, refletida em um espelho. Ele preparou soluções de cada um deles em separado. Pasteur notou que uma das soluções

rotacionava a luz polarizada num sentido e a outra rotacionava em sentido contrário e que a mistura das soluções com iguais quantidades dos diferentes cristais era inativa sob a luz polarizada. Descobriu-se, então, que uma série de substâncias apresentava as mesmas características e foram chamados de isômeros ópticos.

Os experimentos com os tartaratos aliado à forma tetraédrica proposta para o átomo de carbono por van't Hoff e Le Bell, sugeriram a existência de uma inter-relação entre estrutura molecular e cristalina e atividade ótica.

Para propor as chamadas fórmulas estruturais foi preciso também demonstrar o poder de combinação dos átomos. A valência era vista como uma propriedade dos átomos e media a sua capacidade combinatória. A partir da noção de valência era possível representar a organização espacial dos átomos numa molécula, por meio de fórmulas estruturais, nas quais os átomos adjacentes estão ligados uns aos outros. O conjunto dessas uniões resultava na estrutura molecular. Não existia uma explicação convincente para a origem e natureza dessas uniões. Esse tipo de explicação somente tornou-se possível, depois do desenvolvimento de uma distinção entre forças interatômicas, chamadas de afinidade, e as forças intermoleculares, chamadas de coesão.

A partir destas fundamentais descobertas foi possível imaginar as fórmulas estruturais dispostas em três dimensões com a ajuda de modelos feitos com bolas e molas (ROQUE; SILVA, 2008).

Muitas outras projeções de modelos foram criadas para interpretar a distribuição espacial dos átomos. Os químicos da época conseguiram imaginar as fórmulas estruturais das moléculas e relacioná-las às propriedades das substâncias, definidas por operações empíricas,

com a sua estrutura molecular, mesmo sem ter nenhuma evidência direta da realidade destas estruturas. Estas estruturas idealizadas só puderam ser representadas muitos anos mais tarde.

Nos dias atuais, modelos computacionais somam-se aos demais, constituindo-se uma nova ferramenta no estudo da Química.

Uma série de conhecimentos sobre a estrutura do átomo foi desenvolvida nos primeiros trinta anos do século XX. O átomo pode ser imaginado como constituído por um pequeno núcleo denso, constituído por todos os prótons e nêutrons do átomo, envolvido por elétrons que preenchem o restante do volume atômico. O número de prótons no núcleo o identifica. Esse número também determina quantos elétrons deve possuir o átomo para ser eletricamente neutro. Assim, segundo esse modelo atômico, quando dois ou mais átomos se unem para formar uma substância, os núcleos permanecem relativamente distantes. Só as regiões mais externas, onde estão os elétrons, entram em contato. Por esse motivo, as propriedades químicas dos elementos, incluindo suas semelhanças e diferenças, estão relacionadas ao modo como os elétrons estão distribuídos em torno de vários núcleos.

A pista fundamental para a solução do problema da estrutura eletrônica dos átomos veio do estudo da radiação eletromagnética emitida por esses mesmos átomos quando recebem energia de uma fonte externa, ou seja, são excitados.

Foi Niels Bohr (1885-1962), em 1913, quem apresentou um novo modelo para o átomo. Ele verificou que o modelo planetário para o átomo, proposto anteriormente por Ernest Rutherford (1871-1937), era fisicamente possível, utilizando-se da teoria quântica proposta por Max Planck (1858-1947). Bohr aplicou uma nova teoria ao átomo mais simples, o átomo de hidrogênio. Segundo ele, num átomo, um elétron só pode ter certos valores da energia, que são chamados níveis de energia. Bohr adotou a idéia da quantização da energia

do átomo. A fim de reencontrar os resultados experimentais do espectro do átomo de hidrogênio, lançou a hipótese segundo a qual os elétrons percorrem, em torno do núcleo, órbitas estáveis cujos raios apenas tomam valores singulares, quantificados. De acordo com a sua teoria, a emissão de luz por um átomo ocorre quando um elétron sofre transição do nível de energia superior para o inferior e em contrapartida, há absorção de energia, quando um átomo passa de um nível inferior para um nível superior. Esses postulados fundamentaram firmemente o conceito dos níveis de energia no átomo. Mas, não teve êxito, porém, na explicação dos detalhes da estrutura atômica e na previsão dos níveis de energia de átomos diferentes do hidrogênio. O entendimento mais aprofundado da estrutura atômica exigiu outros desenvolvimentos teóricos.

A tentativa de compreender os efeitos que a radiação eletromagnética exerce sobre a matéria provém de longa data, no entanto, antes de Bohr, a espectroscopia era um tema quase empírico que não ia além da catalogação de muitas linhas espectrais e da observação das condições sob as quais elas eram produzidas. Hoje, porém os principais métodos que permitem estudar as estruturas das moléculas são baseados na absorção e emissão de radiações eletromagnéticas pela matéria, constituindo-se, sem dúvida, em uma das áreas fundamentais da química.

Segundo Mortimer (1992), a teoria atômica de Bohr inaugurou a transição dos conceitos da Química Clássica para a Química Moderna, sendo o pioneiro na aplicação das idéias quânticas.

As principais novidades introduzidas por esse novo conhecimento advêm dos conhecimentos obtidos sobre a estrutura dos átomos e a introdução de uma série de métodos físicos de análise, utilizando aparelhos espectrométricos para várias faixas de energia do

espectro eletromagnético. Esses aparelhos, que juntamente com os computadores se tornaram, a partir dos anos 60, presença rotineira em laboratórios industriais e universitários, mudaram totalmente os métodos de trabalho do químico. Muitos conceitos importantes, que antes eram definidos com base em procedimentos empíricos, de laboratório passaram a se basear principalmente em interações radiação-matéria e vários instrumentos, aparelhos e métodos químicos de análise se tornaram obsoletos. Mas como ocorre a interação radiação-matéria?

Segundo Albert Einstein (1879-1955) a luz apresenta um comportamento dual: ora apresenta-se como partícula (fótons), ora apresenta-se como uma onda. As propriedades ondulatórias principais da luz são o comprimento de onda (a distância entre dois máximos das ondas geradas) e a sua frequência (o número de vezes por segundo em que essas ondas são geradas por uma fonte). Estas duas grandezas se relacionam pela equação:

$$c = \lambda \nu$$

Em que c , a constante de proporcionalidade, é a velocidade da luz no vácuo, igual a $3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, λ é o comprimento de onda e ν é a frequência da onda. Esta relação matemática mostra que quando uma onda luminosa tem um grande comprimento de onda, terá um baixo valor de frequência e vice-versa.

Outra coisa é que a quantidade de energia contida em um fóton, no feixe luminoso, que pode ser calculada a partir da equação de Planck:

$$E = h\nu$$

Sendo a energia E (a constante de proporcionalidade) igual ao produto da constante de Planck, h , cujo valor é $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, pela frequência ν . Esta equação mostra que quanto maior a frequência de um fóton, maior será a energia que ele transporta.

Dessa forma, quando a radiação de determinada frequência (e por conseqüência com determinado valor de comprimento de onda e energia) entra em contato com a matéria, ocorre um fenômeno espectroscópico, ou seja, pode ocorrer uma transição entre estados energéticos. De acordo com o valor de energia da radiação eletromagnética, as transições entre estados ocorrem diferenciadamente e dividem-se em vários tipos, dos quais as principais são as transições eletrônicas, vibracionais e rotacionais, todas ocorrendo em diferentes valores de energia do espectro eletromagnético. O objetivo do uso destas técnicas é a determinação das posições relativas dos átomos, ou de seus núcleos. Ou seja, a determinação da estrutura molecular.

As técnicas espectroscópicas de infravermelho (IV), Ressonância Magnética Nuclear de hidrogênio e carbono-13 (RMN de ^1H e ^{13}C), Espectrometria de Massas (EM) consistem em ferramentas atuais para a elucidação de fórmulas e estruturas químicas de substâncias orgânicas. Devido a esse fato, os cursos de graduação têm em sua grade curricular disciplinas que envolvem o ensino desse tema. Por outro lado, o tema análise estrutural que utiliza a espectroscopia e a espectrometria, atualmente, não faz parte da grade curricular dos ensinos fundamental e médio. Por isso, no decorrer do material de ensino proposto, esse tema será abordado de forma a fornecer o conhecimento necessário ao entendimento do processo de elucidação de substâncias orgânicas por análises espectrométricas, procurando atender esse nível de ensino. O que se pretende é fazer uma nova abordagem sobre o tema – fórmulas e estruturas químicas – evidenciando os meios que se percorrem, na atualidade, para se elucidar uma fórmula molecular ou uma fórmula estrutural de uma substância orgânica desconhecida.

Antes de descrever a referida proposta de material de ensino, optou-se por verificar como vem sendo abordado o ensino das fórmulas e estruturas químicas⁵ nos livros didáticos de Química aprovados pelo do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM).

3.2 O Ensino de Fórmulas e Estruturas Químicas nos Livros do PNLEM

Implantado em 2004, o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio – PNLEM – prevê a distribuição de livro didático para alunos de todo o país. Após todo o processo de inscrição e análise, os livros didáticos de Química aprovados para o ensino médio foram divulgados pela Portaria nº. 366, de 31 de janeiro de 2006, publicada na edição número 23 do Diário Oficial da União, em 01/02/2006. Em 2008, o FNDE/MEC disponibilizou os Livros Didáticos de Química (LDQ) para as escolas públicas. Os seguintes títulos foram aprovados para esse componente curricular:

- 1- Química – Volume Único – Editora Ática
Olímpio Salgado Nóbrega, Eduardo Roberto da Silva, Ruth Hashimoto da Silva.
- 2- Universo da Química – Volume Único – Editora FTD
José Carlos de Azambuja Bianchi, Carlos Henrique Abrecht, Daltamir, Justino Maia
- 3 - Química – Volumes 1, 2 e 3 – Editora Moderna
Ricardo Feltre.
- 4 - Química na abordagem do cotidiano – Volumes 1, 2 e 3 – Editora Moderna
Eduardo Leite do Canto, Francisco Miragaia Peruzzo.
- 5 - Química e Sociedade – Volume único – Editora Nova geração

⁵ As fórmulas e estruturas químicas a que se refere o texto são as fórmulas moleculares e as fórmulas estruturais.

Wildson Luiz Pereira dos Santos (coord.), Gerson de Souza Mól (coord.), Roseli Takako Matsunaga, Siland Meiry França Dib, Eliane Nilvana de Castro, Gentil de Souza Silva, Sandra Maria de Oliveira Santos, Salvia Barbosa Farias.

6 - Química – Volume Único – Editora Scipione
Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado.

Os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLEM, acima citados, têm sido objeto de várias pesquisas acadêmicas e, sem dúvida, tem fornecido importantes contribuições ao ensino e aprendizagem da Química, visto que agora todo aluno de escola pública, em princípio, tem acesso a um livro didático.

Analisando alguns desses trabalhos, verificamos que diferentes abordagens investigativas têm sido realizadas. Pereira e Silva (2008) averiguaram de que maneira os autores dos livros didáticos do PNLEM/2008 fizeram uso da História da Ciência e da experimentação ao abordarem o conteúdo de Química Orgânica. Kiill, Gibin e Ferreira (2008) apresentaram uma análise das seqüências didáticas referente ao conteúdo de equilíbrio químico nos seis livros. Lobato et al (2009) analisaram o tratamento e o aprofundamento dado ao tema Efeito Estufa nesses mesmos livros, entre outros.

Verificamos que, assim como os temas, os critérios avaliativos utilizados pelos autores diferenciam-se de um trabalho para outro. Ou seja, as análises realizadas não contemplam, nesses casos, todos os conteúdos abordados nos livros, de uma forma geral; mas sim, conteúdos específicos ou temas consagrados do ensino de química à luz de determinados recursos didáticos e utilizando-se de diferentes critérios.

Trilhando também esse caminho, analisamos brevemente o tratamento dado ao tema – Fórmulas e estruturas químicas – nos seis livros didáticos de Química do PNLEM/2007.

Sobre o tema, Mortimer; Machado e Romanelli⁶ (1999) sinalizaram que a maioria dos livros didáticos faz uso acentuado das representações químicas em detrimento de outros aspectos do conhecimento químico (fenomenológico e teórico) e que isto pode induzir os alunos a crer que representações ou fórmulas e estruturas químicas são fenômenos em si. Segundo Mortimer (1996), as fórmulas e estruturas químicas são instrumentos bastante úteis para representar as substâncias, podendo inclusive explicar várias de suas propriedades.

Baseando-nos nestas argumentações, ao analisar o tema, buscamos investigar se as obras estão abordando as fórmulas e estruturas químicas de forma inter-relacionada com os outros níveis do conhecimento químico.

Outro aspecto comumente investigado em livros didáticos refere-se à utilização da História da Química como facilitadora da aprendizagem do tema. De acordo com Santos e Mól (2007, p. 5):

Geralmente, o LDQ apresenta uma concepção de Ciência baseada na acumulação de conceitos e na linearidade das teorias e leis que, paulatinamente, vão sendo organizados em unidades de ensino estanques de modo que vão se desconhecendo conceitos como “ciência normal” ou “revolução científica”. Os alunos apenas percebem, lêem os textos, fazem os exercícios sem perceber o que a ciência verdadeiramente significa. O conhecimento científico é apresentado como algo pronto, acabado.

Nesse contexto, analisamos também o uso da História da Química, no ensino dos conteúdos inerentes as fórmulas e estruturas químicas, pois acreditamos que esse olhar permite ver a Química além de letras e números, possibilitando a percepção de o quanto à compreensão da história das idéias pode auxiliar a entender como a construção do conhecimento é complexa e não livre das mais diferentes interferências.

⁶ Esse assunto já foi tratado no terceiro capítulo.

Outro aspecto por nós investigado foi se, o tema foco, da forma como é apresentada nos livros em análise pode contribuir para a formação da cidadania. Segundo o PNLEM / (BRASIL, 2007):

Será valorizada a obra que propuser discussões sobre as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, promovendo a formação de um cidadão capaz de apreciar criticamente e posicionar-se diante das contribuições e dos impactos da ciência e da tecnologia sobre a vida social e individual.

E o por fim, averiguamos se o conjunto de conhecimentos colocados pelos livros demonstra como se faz, atualmente, a elucidação das fórmulas estruturais de substâncias moleculares por meio de técnicas espectrométricas.

A análise dos livros não se deu sob o olhar quantitativo, o intuito não era o de obter dados numéricos. O que pretendemos foi investigar de que forma as fórmulas e estruturas químicas são apresentadas nos LDQ do PNLEM. Com esta finalidade, foram analisadas partes da obra em que constatamos a presença do tema. A comparação entre livros não foi realizada, pois não se configura no objetivo da análise. Os livros foram identificados como LDQ1, LDQ2, LDQ3, LDQ4, LDQ5 e LDQ6.

LDQ	Nº	Editora	Volume	Ano/Edição	Volume/páginas
Química	1	Ática	Único	2005/1 ^a	Único: 121 a 136
Universo da Química	2	FTD	Único	2005/1 ^a	Único: 122 a 157
Química	3	Moderna	1	2004/6 ^a	Volume 1: 322 a 335
Química na Abordagem do Cotidiano	4	Moderna	1	2003/3 ^a	Volume 1: 51 a 59
Química e Sociedade	5	Nova Geração	Único	2005/1 ^a	Volume único: 70 e 71; 175 e 176; 203 a 206; 215 a 219; 224 a 239; 285 a 289.
Química para o Ensino Médio	6	Scipione	Único	2003/1 ^a	Volume único: 8 a 161 e 346 a 381

Tabela 1: Lista de livros aprovados pelo PNLEM e utilizados nesse trabalho.

3.2.1 Resultados e discussão da análise dos livros didáticos de Química do PNLEM

Entre as obras analisadas, quatro são apresentadas no formato de volume único e as outras duas estão dispostas em três volumes. Nas obras de três volumes, avaliamos o volume 1.

Ocorre que as fórmulas e estruturas químicas, por fazer parte da linguagem química, representando as substâncias, encontram-se, com muita frequência, pulverizadas nos textos dos livros investigados. Por isso, preferimos escolher algumas páginas dos livros que focalizam mais diretamente o estudo do tema em questão. As observações colhidas referem-se apenas ao conteúdo abordado nestas páginas.

Observamos que no LDQ1, os autores mostram que as fórmulas e os respectivos símbolos fazem parte da linguagem química. A História da Química foi timidamente utilizada para explicitar a evolução do tema, dos alquimistas à tabela periódica, focalizando o sistema

clássico latino introduzido por Jöns Jakob Berzelius em 1811 “foi o químico sueco Jöns Jakob Berzelius que em 1811 introduziu o sistema clássico latino de símbolos para representar os elementos químicos” (SILVA, E.; NÓBREGA; SILVA, R., 2005, p. 122.). Mostram também alguns símbolos criados por Dalton e pelos alquimistas. O LDQ1 apresenta, também, a figura da atual tabela periódica com o intuito de familiarizar o aluno com a sua estrutura e organização. Em outro tópico, aborda mais diretamente as fórmulas, relacionando-as com as substâncias. Define fórmula como sendo a expressão que indica o tipo e a quantidade de átomos que formam o agregado atômico de uma substância.

No LDQ2, um aspecto que pode ser considerado um avanço é a utilização da História da Química, apesar de sucinta e isenta dos aspectos controversos, para demonstrar o cenário do século XIX em relação às fórmulas e às massas relativas dos átomos. Além desses casos explícitos de uso da História da Química, os autores lançam mão de biografias e imagens de cientistas. Estas biografias e figuras constituem-se, apenas, em um recurso gráfico cuja leitura não acrescenta muito ao entendimento do conteúdo abordado.

Observamos que os LDQ1, LDQ2, LDQ3 e LDQ4 não fazem referência a Lavoisier como aquele que desenvolveu uma nova definição para o termo elemento e, conjuntamente com o seu grupo, foi um dos fundadores de uma nova nomenclatura química, o qual influenciou de maneira importante o desenvolvimento e a sistematização do conhecimento desta Ciência. O seu nome é lembrado nas páginas investigadas, apenas, associado à lei da conservação da massa. Nesse sentido sinalizou Vidal, Cheloni e Porto (2007, p. 32)

A definição operacional de elemento químico e a nova nomenclatura são dois aspectos dessa sistematização que não têm sido lembrados pelos autores de livros didáticos, embora pudessem ser úteis para a iniciação nos estudos da Química nos dias de hoje. Um estudo de caso abordando Lavoisier, se

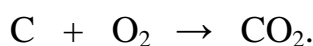
realizado de forma historiograficamente atualizada, permitiria mostrar que o trabalho desse químico não foi importante por uma suposta indução da “lei da conservação das massas”, mas sim porque estruturou as bases de uma nova abordagem para a Química, abrangendo tanto aspectos teóricos (como a proposição de novos conceitos e novas explicações para os experimentos) como aspectos metodológicos.

Os LDQ2 e LDQ3 enfatizam os cálculos das fórmulas (mínima, molecular e centesimal) e a massa molecular, sem fazer referência às leis ponderais e sem focar explicitamente o papel que a matemática representa na Química.

O LDQ3 praticamente negligencia a História da Química no ensino das fórmulas e estruturas químicas, no entanto, questiona como atualmente elas são determinadas.

Ainda sobre os LDQ1, LDQ2 e LDQ4 não foram observadas no texto contribuições significativas para o desenvolvimento da formação para a cidadania.

Verificamos nos três primeiros livros (LD1, LD2 e LD3) que a Química é abordada do ponto de vista formal desconsiderando fenômenos reais. Esse fato fica evidente no LDQ1, quando, por exemplo, afirma que a queima do carvão é representada pela equação química, a qual informa que um átomo do elemento carbono reage com uma molécula da substância oxigênio, formando uma molécula da substância gás carbônico. Ou seja:



Como é possível que apenas um átomo de carbono reaja com uma molécula de oxigênio para formar uma molécula de gás carbônico? Talvez esta representação esteja bastante clara para o professor, mas será que o aluno terá o mesmo entendimento? Observamos que não foram abordadas as questões energéticas que envolvem a reação química de combustão e nem explicitados os estados físicos de reagentes e produtos.

Os LDQ1 e LDQ3 não fazem referências à determinação de fórmulas moleculares e estruturais por métodos espectrométricos. E o LDQ2 aborda timidamente o

funcionamento de um espectrômetro de massa.

O LDQ4 aborda as fórmulas químicas de forma mais inter-relacionada com as leis de Lavoisier e de Proust. Aponta a teoria Atômica de Dalton como aquela que forneceu explicações teóricas para estas leis. Um aspecto positivo da obra é informar ao aluno que a Química trabalha didaticamente nos níveis macroscópicos, microscópico e representacional. Muitas vezes os alunos não entendem os conteúdos químicos por não conseguirem transitar por esses níveis, como o fazem os professores. Informá-los sobre esta faculdade do ensino de química pode ajudá-los a compreender melhor as representações, as teorias e os fenômenos químicos inter-relacionando-os.

O estudo da linguagem química e, nesse contexto, as fórmulas e estruturas químicas são abordadas de forma recorrente no LDQ5. Não há, por exemplo, um capítulo dedicado exclusivamente ao tema, como foi observado nos LDQ1, LDQ2, LDQ3, e LDQ4. Os autores procuram demonstrar que as substâncias podem também ser identificadas por meio das propriedades químicas e físicas.

Observamos que no LDQ6 há uma preocupação explícita dos autores em não focar o uso das representações químicas, no caso, as fórmulas e estruturas químicas, enfatizando o estudo teórico-prático do conhecimento químico. Assim como o LDQ5, o LDQ6 não dedica um capítulo ao estudo das fórmulas e estruturas químicas. Os autores do LDQ6 organizaram o estudo do conhecimento químico de forma a abordar as propriedades, a constituição e as transformações de substâncias e materiais, nesta ordem, no decorrer da obra. Nas páginas destinadas ao estudo das propriedades químicas, as fórmulas químicas aparecem, geralmente, entre parênteses, representando as substâncias acompanhadas dos respectivos nomes. A História da Química foi explorada de maneira mais efetiva nas páginas dedicadas

ao estudo da constituição das substâncias e materiais por meio da evolução dos modelos atômicos. Os símbolos e nomes dos elementos químicos aparecem, nesse capítulo, como se os alunos já os conhecessem. Nas páginas destinadas a tratar das transformações químicas, o livro aborda as equações químicas, fórmulas moleculares e estruturais e aspectos quantitativos das transformações químicas. Já nas páginas que tratam do estudo da Química orgânica, o LDQ6 faz uma abordagem bastante diferenciada do tema. Os autores abordam o conteúdo a partir de um tema químico social – A química das drogas e dos medicamentos e as funções orgânicas. O conteúdo é apresentado à medida que o tema é desenvolvido e as representações são os principais protagonistas. Ou seja, as fórmulas e estruturas químicas são interpretadas pela sua significação, utilizando-se do estudo teórico-prático dos fenômenos relacionados. Neste livro, discute-se a nomenclatura química sem enfatizá-la, e no final, procura-se deixar claro como é importante estudar as fórmulas e estruturas químicas de forma inter-relacionada com os outros aspectos do conhecimento químico, quando se pretende, por exemplo, entender a atuação dos fármacos no organismo humano. Assim, acreditamos que os autores foram felizes nesta abordagem, pois conseguiram, no nosso entender, explorar o tema com complexidade. Segundo Morin (2005, p. 38):

O *Complexus* significa o que foi tecido junto; de fato, há complexidade quando elementos diferentes são inseparáveis constitutivos do todo [...], e há um tecido interdependente, interativo e inter-retroativo entre o objeto de conhecimento e seu contexto, as partes e o todo, o todo e as partes, as partes entre si.

Percebemos por esta análise que os conteúdos propostos a oferecer informações sobre o tema, nos LD1, LD2, LD3 e LD4 definem as fórmulas, mas pouco as inter-relacionam com o aspecto teórico-prático do conhecimento químico. A idéia geral é mostrar que elas representam qualitativamente e quantitativamente as substâncias por meio dos símbolos. Não

tecem comentários a respeito das fórmulas estruturais das substâncias. Como se refere Laszlo (1995, p.3), “As fórmulas químicas, cuja composição elementar se fundamenta na matéria (H_2O para a água, $C_6H_{12}O_6$ para a glucose), não traduzem mecanicamente um conjunto de constatações empíricas: são ricas na multiplicidade de significados”.

O LDQ5 procura valorizar a linguagem química sem renunciar à abordagem teórico – prática do conhecimento químico. Já o LDQ6 não deixa claro que a linguagem química, diferentemente da linguagem comum, necessita ser aprendida pelo aluno e que isso faz toda a diferença no estabelecimento das relações necessárias entre os entes químicos do mundo microscópico e macroscópico (ROQUE; SILVA, 2008). O aspecto representacional do conhecimento químico, por vezes, foi deixado de lado nesta obra.

Identificamos nas partes das obras analisadas uma evidente preocupação dos autores em utilizar a História da Química na abordagem do tema em estudo. No entanto, como já concluiu Mortimer (1988), os autores de livros didáticos, ao longo da história, sempre tiveram dificuldade em romper com certas tradições, e, por vezes, a História da Química, da forma como é abordada, apresenta-se, apenas, fornecendo informações acessórias, mas não fundamentais para a aprendizagem dos conceitos químicos.

Devemos ter o cuidado de não transformar o estudo da História da Química em algo enfadonho para o aluno. O intuito é mostrar que a ciência faz parte da cultura humana e que tem sido construída com a colaboração de muitas pessoas.

Notamos que a utilização do tema fórmulas e estruturas químicas, na perspectiva de contribuir para a formação da cidadania, na maioria dos livros, ainda é pouco efetiva. A abordagem do tema deveria estar inclusa no desenvolvimento de temas sociais que os alunos precisam conhecer. O que se pretende é utilizar à Química como um meio e não um fim para

se fazer educação. O LD5 e LD6 deram as maiores contribuições positivas com relação a esse aspecto.

De uma forma geral, os livros abordam as fórmulas químicas, mais especificamente as fórmulas moleculares, reservando-lhes um tópico ou um capítulo para o desenvolvimento do tema. Nesse contexto, as obras enfocam conceitos como o de átomo, elemento químico, molécula, substâncias, massas atômicas, massa molar, cálculos de fórmulas, equação química, leis de Lavoisier e Proust, linguagem química, nomenclatura química e tabela periódica. Referem-se a nomes como os de Lavoisier, Dalton, Proust, Gay-Lussac, Cannizzaro, Avogadro, Mendeleiev e Berzelius. Além de desenvolverem temas como efeito estufa, camada de ozônio, lixo, Química e agricultura, fármacos, drogas entre muitos outros.

No geral, o LD5 e o LD6 fornecem mudanças metodológicas, adotando uma abordagem mais adequada das novas tendências educacionais, inter-relacionando de forma mais efetiva os conceitos e a História da Química, mostrando-se mais focados na formação da cidadania, descrevendo situações, definindo conceitos e exemplificando-os, mas, sobretudo, inserindo problemas e evocando situações reflexivas. Enquanto, nas demais obras, observamos uma maior resistência, imperando ainda as tendências tradicionais.

Observamos que os conteúdos apresentados nos livros investigados não são capazes de responder como se constrói a fórmula química de uma substância.

O estudo das fórmulas químicas, da forma como foi apresentado, na maioria das abordagens, apenas retrata a proporção com que os elementos se combinam para formar as substâncias. Para o aluno, um amontoado de letras e números sem o menor significado. As fórmulas e estruturas químicas representam as substâncias, mas segundo Laszlo (1995, p. 63):

A sua construção exige três preâmbulos:

- Isolamento e purificação dos protagonistas;
- Identificação das entidades implicadas, das mais estáveis às mais fugazes; esta determinação das estruturas faz-se por exame microscópico da matéria submetida a uma radiação investigadora, raios X ou radiofrequências;
- Tiragem de um retrato emoldurado da entidade química, isolada e caracterizada nos dois primeiros estágios.

Não faz sentido estudar as fórmulas e estruturas químicas como sendo um retrato emoldurado da entidade química, um resultado pronto e acabado, desprovido do processo investigativo que é necessário instaurar para obter o resultado. As partes de isolamento e purificação e identificação das entidades implicadas, que poderia oferecer as ferramentas para a construção do conhecimento do tema, indo ao encontro de uma aprendizagem significativa, simplesmente, são negligenciadas no ensino básico. Atualmente a elucidação das fórmulas, das massas e estruturas das moléculas por métodos espectroscópicos e espectrométricos, constitui-se em prática corriqueira na investigação química. Entretanto, a análise estrutural, que utiliza estas técnicas, como já foi evidenciada nesse trabalho, não faz parte da grade curricular do ensino básico. E, por isso, os alunos de graduação de diversos cursos ao se depararem com esta abordagem diferenciada apresentam certa dificuldade de entendimento.

Pensando nisto, é que se desenvolveu, por meio desta dissertação, uma proposta de material de ensino capaz de fornecer subsídios para o desenvolvimento do estudo das fórmulas e estruturas químicas de forma mais adequada. Tomamos o cuidado de não transformar a apresentação desse conteúdo como um objetivo, mas sim como um meio de descoberta e um meio de caracterização da matéria que constitui o objeto da procura científica, na sua constituição elementar e na sua constituição molecular, evidenciando-se o uso que se pode fazer desses conhecimentos.

4 PROPOSTA DE ABORDAGEM SOBRE AS FÓRMULAS E ESTRUTURAS QUÍMICAS

Tendo em vista a discussão feita anteriormente, procuramos produzir um material de ensino que permitisse tratar das fórmulas e estruturas químicas, com uma abordagem diferenciada e mais próxima das novas tendências educacionais.

O material produzido constitui um produto que foi intitulado de: FÓRMULAS E ESTRUTURAS QUÍMICAS: DE ONDE VÊM?

O trabalho originou-se de uma simples reflexão. Será que os alunos sabem como se chega à fórmula química que representa cada substância?

Infelizmente, por motivos alheios a nossa vontade, não foi possível realizar uma investigação junto ao alunado a fim de colher dados para responder a esse questionamento. Mas, considerando nossas experiências em sala de aula, sabemos um pouco sobre o que os alunos pensam sobre o assunto. Ao escolhermos o tema do trabalho, aumentou a nossa atenção sobre a visão dos alunos sobre o tema. Nesse contexto, surpreendeu-nos saber que grande parte dos estudantes acha que a disciplina Química tem como objeto de estudo as fórmulas.

Analisando os livros didáticos, verificamos que alguns deles reforçam esses sentimentos e não fornecem subsídios para responder a essas e a outras questões, como foi abordado no capítulo 3.

Então, refletindo sobre o tema, desenvolvemos um material paradidático, que buscase responder a questão acima citada, tendo como foco a elucidação estrutural das substâncias por análises físicas, químicas e espectrométricas (massa, infravermelho e ressonância magnética nuclear), de forma a promover a inter-relação entre os níveis do

conhecimento químico, procurando auxiliar na formação da cidadania de forma contextualizada e interdisciplinar, com linguagem acessível, dentro de uma abordagem histórica e com o intuito de aumentar a motivação dos alunos em estudar a disciplina Química.

Mas, como fazer?

4.1 Metodologia Utilizada

Em primeiro lugar, decidimos que o material deveria ser escrito fazendo o uso de uma linguagem que não apenas transmitisse a informação, mas que servisse como mediadora da compreensão dos conceitos, pois é sabido que a linguagem é fundamental na elaboração conceitual, e não representa apenas o papel comunicativo e de instrumento (MACHADO E MOURA, 1995). Assim, resolvemos escrever uma **estória**⁷ envolvendo as fórmulas e estruturas químicas.

A fim de promover uma maior interatividade entre os personagens, decidimos que a estória seria contada em forma de um diálogo, com intervenções esporádicas de um narrador. Além disso, o enredo deveria se desenvolver vinculado a um contexto social, no qual um aluno pudesse estar inserido.

Com o intuito de ser coerente com a perspectiva de que o principal objetivo do ensino da Química, no ensino básico, é propiciar um contato com uma cultura

⁷ s.f. Narrativa de ficção; exposição romanceada de fatos puramente imaginários (distinta da história, que se baseia em documentos ou testemunhos); conto, novela, fábula: estórias de quadrinhos. Disponível em: <<http://www.dicionariodoaurelio.com/dicionario.php?P=Estoria>>, acesso em 02/02/2010.

científica em que o conhecimento é importante para o exercício da cidadania, procuramos abordar um tema que vem despertando o interesse da sociedade como um todo, por se tratar de assunto atual e polêmico, com o qual, adolescentes e jovens estão envolvidos. Trata-se do uso de suplementos alimentares⁸. Segundo a literatura, o uso de suplementos por jovens e adolescentes e pelo público em geral tem aumentado. Seu crescimento no mercado tem sido mais rápido do que a elaboração de regulamentações e a realização de pesquisas científicas que comprovem seus efeitos na saúde dos consumidores e a determinação de regras e limites de segurança para o seu uso a longo prazo. Os atuais suplementos já são numerosos e as controvérsias, no meio científico, sobre seus possíveis efeitos, riscos e benefícios, confundem muito os consumidores. As próprias definições de suplementos são demasiadamente amplas e não contribuem para o esclarecimento de suas funções, gerando mais confusão para o público leigo (PEREIRA; LAJOLO; HIRSCHBRUCH, 2003).

Cada dia mais as pessoas acreditam que a saúde seja comprável, por isso, pesquisas mostram que o consumo de suplementos alimentares é amplamente difundido, especialmente entre atletas e adolescentes frequentadores de academias. As principais razões para tal prática são: compensar dieta inadequada, melhorar a imunidade e prevenir doenças e melhorar o desempenho físico e competitivo. A fonte de informação, para tal uso, mais utilizada é a recomendação de amigos e técnicos. A mídia é considerada como fonte importante ao estímulo do uso de suplementos alimentares ao vincular, por exemplo, o mito do corpo ideal (ALVES; LIMA, 2009). Diante da problemática evidenciada, resolvemos fazer uso desse tema, pois o consideramos pertinente e de

⁸Suplementos alimentares são definidos como substâncias utilizadas por via oral com o objetivo de complementar uma determinada deficiência dietética (ALVES, LIMA, 2009).

interesse para o aluno do ensino básico.

O material paradidático proposto, no que concerne ao desenvolvimento do conhecimento químico, está dividido em duas partes. A primeira parte procura investigar e buscar explicações que justifiquem o comportamento diferenciado das substâncias fazendo o uso da análise orgânica qualitativa clássica de amostras desconhecidas e a segunda parte aborda a identificação espectrométrica de substâncias orgânicas.

Iniciamos a estória, apresentando os protagonistas: Lucas, um aluno do ensino médio e Andréia, sua mãe, professora e pesquisadora em Química.

A estória começa quando Lucas acha no armário da academia em que “malhava” um frasco contendo um produto de origem desconhecida, cujo rótulo designava-o de Suplemento Alimentar⁹. O rapaz leva o produto para casa, que é encontrado pela sua mãe. Andréia, que é professora e pesquisadora em Química de uma grande universidade, trabalha justamente com a análise de materiais desconhecidos, tendo acesso aos equipamentos necessários para identificação e caracterização de produtos químicos, resolve levar o produto para o laboratório da universidade, a fim de realizar a sua identificação.

Lá chegando, a mãe, com a ajuda do seu filho, submete a amostra desconhecida, como foi chamada, a processos de separação, purificação e identificação caracterizando-a, primeiramente, por meio das propriedades organolépticas, físicas e químicas.

A nossa intenção, com esse texto é também demonstrar que a Química é uma ciência que estuda as propriedades, a constituição e as transformações das substâncias e

⁹ Gostaríamos de esclarecer que o produto fictício encontrado pelo personagem da nossa estória não era um suplemento alimentar.

materiais e que é por meio desses estudos que as fórmulas e estruturas químicas são construídas. Por isso, a análise sistemática começa com a investigação das propriedades organolépticas, identificando a cor, e físicas da amostra desconhecida realizada por Andréia e Lucas. O objetivo é de relacioná-las, futuramente, com as estruturas moleculares das prováveis substâncias.

Com o objetivo de trabalhar os conceitos de material homogêneo e heterogêneo, fase e substância purificada, resolvemos que a amostra seria um sólido branco homogêneo. Para explicar melhor a relação existente entre a cor e as substâncias, introduzimos o conceito de espectroscopia fazendo o uso da História da Química e abordagem do cotidiano.

Na tentativa de verificar a pureza da amostra, realizamos a determinação da temperatura de fusão, a qual mostrou se tratar de um material. A técnica e os procedimentos para se determinar essa constante física foram relatados, a fim de aproximar o leitor das técnicas de experimentação.

Caracterizamos o material realizando a análise das propriedades físicas como a temperatura de fusão, porque além de evidenciar se a amostra está purificada, ainda fornece informações que servem para identificá-la. A cromatografia de camada delgada (CCD) também pode fornecer informações quanto à pureza de amostras desconhecidas.

E assim, por meio da CCD Andréia e Lucas descobriram que a amostra desconhecida era constituída de três substâncias.

Para dar um curso à estória e às análises, decidimos previamente que o produto encontrado por Lucas seria constituído de uma mistura de quatro substâncias: o

Ácido Acetilsalicílico (AAS), a Anfetamina, o Piracetam e o Tetraidrocanabinol (THC)¹⁰. No início, pensávamos que seria possível realizar, na prática, as análises das substâncias no laboratório, a fim de obter os espectros correspondentes. Devido à dificuldade de se encontrar as substâncias em questão disponíveis para as análises e o tempo restrito resolvemos partir para a simulação dos espectros pelo computador. Conseguimos os espectros referentes às técnicas de espectroscopia de infravermelho (IV), Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio e Carbono-13 (RMN de ¹H e ¹³C), Espectrometria de Massas (EM) de todas as substâncias com exceção do THC. Por isso, resolvemos eliminá-lo de nosso trabalho, ficando a amostra desconhecida composta de três substâncias que foram denominadas de A (AAS), B (Anfetamina) e C (Piracetam). Escolhemos essas substâncias porque seu uso é considerado doping¹¹, com exceção do AAS; porque precisávamos trabalhar com substâncias que apresentassem funcionalidades: ácida, básica e neutra. E por causa da maior ou menor afinidade, das mesmas, pela fase estacionária da CCD. “A cromatografia em camada delgada (CCD) é uma técnica de adsorção líquido-sólido. Nesse caso, a separação se dá pela diferença de afinidade dos componentes de uma mistura pela fase estacionária” (DEGANI; CASS; VIEIRA, 1998, p. 22).

Para introduzir o estudo das propriedades e transformações químicas fizemos uma abordagem histórica sobre Lavoisier e as leis ponderais, marcando a efetivação da Química como Ciência, citando a Teoria Atômica de Dalton como aquela que permitiu um grande avanço no estabelecimento das fórmulas químicas e pesos atômicos e explicações para as leis ponderais.

¹⁰ O tetraidrocanabinol (THC) é o principal responsável pelo efeito psicoativo e o mais efetivo princípio ativo presente na *Cannabis sativa indica*, ou seja, a popular maconha (FARIAS, 2007).

¹¹ A anfetamina e o piracetam estão incluídos na lista de substâncias proibidas em métodos e competições (WADA-AMA, 2010).

A partir desse ponto, começamos a descrever o processo de análise sistemática com o objetivo de separar as substâncias A, B e C, constituintes da amostra desconhecida. Assim foram feitos testes de solubilidade em água, éter etílico, ácido clorídrico diluído e hidróxido de sódio diluído.

Os procedimentos realizados foram esquematizados em um fluxograma. Não nos preocupamos em escrever as equações químicas correspondentes às reações químicas efetuadas, para não sobrecarregar o texto com representações. Mas, preocupamo-nos em mostrar a importância da atividade do químico e os desafios que esse profissional necessita enfrentar no seu cotidiano, identificando e descobrindo a natureza das coisas, sintetizando-as e estudando o seu comportamento.

Importante ressaltar que, no decorrer do trabalho, à medida que o tema se desenvolve os conceitos vão sendo apresentados. E à medida que são apresentados, há uma preocupação com a interação entre os conteúdos já abordados, evidenciando-se as inter-relações existentes entre os conceitos da química.

Para exemplificar, em uma passagem do texto, Andréia relaciona o conceito de temperatura de fusão, discutido no início da realização das análises, com o de forças intermoleculares, quando explica a técnica de Cromatografia em Camada Delgada (CCD):

- Lembra-se de quando determinamos a temperatura de fusão da nossa amostra? Pois é, a temperatura de fusão é a temperatura na qual a amostra passa do estado sólido para o estado líquido. Para que este fenômeno ocorra é necessário que o sistema absorva energia. E assim, cada um desses processos irá variar de acordo com a magnitude das interações intermoleculares. À medida que a magnitude destas forças aumenta, fica mais difícil rompê-las e, conseqüentemente maiores serão os valores de temperatura de fusão e de ebulição.

Outra preocupação que tivemos foi a de interligar o conhecimento escolar ao conhecimento cotidiano, com o intuito de tornar a leitura mais próxima da realidade do aluno ou leitor. Procuramos, também, explorar a História da Química, com o propósito de mostrar que a Ciência é construída pela colaboração de muitas pessoas, faz parte da cultura humana e que a percepção da evolução dos conceitos pode contribuir para que o aluno ou leitor compreenda como se dá a produção do conhecimento.

Voltando à estória, após a separação das substâncias que constituíam a amostra desconhecida pela análise sistemática ou marcha analítica, Andréia e Lucas partiram para a purificação das mesmas e em seguida iniciaram as análises espectrométricas.

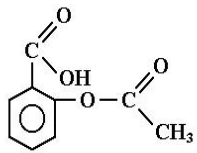
Procuramos tratar nesse trabalho das espectroscopias de Infravermelho (IV), Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio e Carbono-13 (RMN de ^1H e ^{13}C) e a Espectrometria de Massas (EM), pois são métodos atuais usados para a elucidação estrutural de substâncias orgânicas. Ao abordar as respectivas técnicas fizemos questão de explicitar, também, o funcionamento básico dos aparelhos.

Conseguimos, por meio de programas de computador, simular os espectros das substâncias. A seguir, de forma não muito abrangente, pois foge ao escopo do trabalho, os interpretamos.

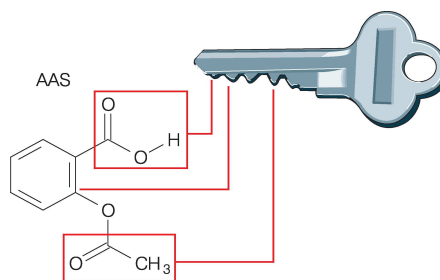
Assim, por meio da análise dos espectros obtidos pela espectrometria de massas foi possível determinar a massa molecular, prever a fórmula molecular das substâncias, além de obter dados que contribuíram para elucidação estrutural por padrões de fragmentação inerentes às diferentes funções orgânicas. Pela espectroscopia de infravermelho obtivemos informações acerca dos grupos funcionais presentes na estrutura das substâncias. A Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio e Carbono-13 indicou

a disposição do esqueleto hidrocarbônico, ou seja, as diferentes situações de ambientes químicos dos átomos de hidrogênio e carbono na estrutura.

Assim, de posse dos resultados e interpretações obtidos nas análises foi possível determinar as fórmulas moleculares e estruturais das substâncias e descobrir a composição do produto encontrado por Lucas. Apresentamos a seguir, o exemplo do AAS:

	Espectrometria de Massa		Espectroscopia de IV		RMN ¹ H	RMN ¹³ C	FÓRMULA ESTRUTURAL
	Fórmula Molecular	Massa molecular	IDH/n° de insaturações	Absorções Importantes (cm ⁻¹)	Absorções Importantes (ppm) Hidrogênios	Absorções Importantes (ppm) Carbonos	
SUBSTÂNCIA A	C ₉ H ₈ O ₃	180	6	1200-1000 → C-O de grupos acilas	11,0 → hidroxila do ácido carboxílico	21,0 → um metila do grupo acetila, CH ₃ C=O	 <p>Ácido Acetilsalicílico Ácido 2-acetoxibenzoico</p>
				3300-2500 → OH de ácidos carboxílicos	2,35 → CH ₃ , ligada a C=O	122,3; 124,0; 126,2; 132,5; 134,9 → anel aromático	
				1606, 1483 -1469 → de C=C anel aromático.	7,14; 7,36; 8,12 → Hidrogênios do anel aromático	151,3 → carbono ligado ao oxigênio	
				1693 → C=O de ácidos carboxílicos		169,8 e 170,2 → grupos acilas	
				1754 → C=O de ésteres			

A fim de contextualizar o conhecimento, apresentamos as fórmulas e estruturas químicas dos fármacos referidos, destacando-se os grupos funcionais do ácido acetilsalicílico, procurando levar o aluno a compreender que a ação dos fármacos sobre o organismo depende de uma complementaridade estrutural entre fármaco e bioreceptores. Para isto, apresentamos o modelo chave-fechadura de Emil Fischer.



Fórmula Estrutural do AAS, no modelo chave fechadura.

Reproduzido de: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/03/remedios.pdf>

Por fim, procuramos mostrar a importância de se obter conhecimentos científicos para a formação de uma cultura mais ampla e para a formação humana centrada na discussão de valores. Para exemplificar, Lucas pergunta a Andréia:

- *Nossa! Porque alguém estaria utilizando aquele produto que eu encontrei?*
- *No mínimo, não sabia da sua constituição. Por isso, filho, é importante adquirir*

conhecimentos sobre as ciências para que se possa tratar com responsabilidade as questões sociais relativas à ciência e à tecnologia.

- *Sabe mãe, antes eu vivia me perguntando porque eu tinha que aprender Química.*

Hoje, eu me pergunto, como posso viver sem compreender esta ciência? Tudo que nos rodeia está repleto de Química. Agora, eu consigo entender o porque do seu empenho e dedicação ao trabalho em Química.

- *É filho, o trabalho que a gente faz como químico tem por objetivo fazer com que*

as pessoas tenham uma melhor qualidade de vida e com isso consigam fazer uma leitura do mundo em que vivem e serem capazes de transformá-lo com responsabilidade em um mundo mais justo, com igual oportunidades para todos.

Ao final do material, apresentamos um glossário composto de um conjunto de termos que julgamos serem necessários para o melhor entendimento do texto.

4.2 Breve Avaliação da Proposta

Participar do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências da Universidade de Brasília (PPGEC/UnB) é uma oportunidade ímpar que professores do Ensino básico têm de produzir conhecimento, dialogar com os pares, refletir e não apenas buscar aplicar o que os pesquisadores julgam ser mais importante ou adequado para uma boa prática docente. O PPGEC/UnB visa promover a qualificação de professores em atividade docente no nível médio e em cursos superiores de licenciatura em termos de conteúdos específicos e dos aspectos teóricos, metodológicos do Ensino de Ciências, e no caso específico desse trabalho, a área de concentração de Ensino de Química (BAPTISTA et al, 2009).

Nesse contexto, a resolução PPGEC nº02/2004, que estabelece critérios para elaboração da dissertação do mestrado profissional, considera que o trabalho de pesquisa profissional aplicada deve conter:

- a) Explicitação do(s) problema(s) focado(s) na dissertação, e;
- b) proposição de ação profissional docente que contribua para a solução do(s) problema(s) explicitado(s), por meio de processos e/ou de materiais, consideradas as condições reais do contexto escolar.

Sendo assim, acreditamos ter cumprido com os critérios estabelecidos pelas normas do programa, no que concerne à confecção do trabalho.

Quando iniciamos a construção da proposição sobre as fórmulas e estruturas químicas, a nossa intenção era a de aplicá-la junto a um contexto escolar, mas, por motivos alheios à nossa vontade, isto não foi possível. Entretanto, podemos refletir sobre a nossa proposta e em um futuro próximo avaliá-la na prática, em sua concretização. Assim, será possível analisar as suas possibilidades e as suas limitações. Essa seria a

continuidade desse trabalho: a sua aplicação, em uma escola real, em condições reais.

No momento, o que podemos dizer é que apesar das dificuldades encontradas a produção do material nos proporcionou um grande aprendizado e a sua confecção deu-nos imenso prazer.

Procuramos construir um material de ensino que utilizasse uma linguagem adequada ao nível de aprendizagem dos alunos, fluente e agradável. Pois, grande parte do conteúdo químico abordado que trata da elucidação estrutural de substâncias orgânicas, a qual utiliza técnicas espectroscópicas de Infravermelho (IV), Ressonância Magnética Nuclear de hidrogênio e carbono-13 (RMN de ^1H e ^{13}C) e a Espectrometria de Massas (EM), não estão inseridas na grade curricular do nível médio. Foi consensual de nossa parte verificar não ser possível qualquer programação de ensino da matéria em apreço que não tenha por base, não apenas a noção do seu teor, mas também, e, sobretudo, o seu interesse do ponto de vista de formação científica.

Para tornar a linguagem mais compreensiva, fizemos uso da História da Ciência com o intuito de mostrar ao aluno que a ciência é um construto humano, complexo e ao mesmo tempo fascinante, não livre das mais diferentes interferências, e também que muito antes de dispormos das técnicas espectrométricas e espectroscópicas para a elucidação das estruturas das moléculas, os químicos já imaginavam esses objetos moleculares e até mesmo antes dos físicos lhes terem reconhecido o direito da existência (LASZLO, 1995). O uso desproporcional do nível representacional em detrimento dos níveis fenomenológico e teórico, criticado na literatura, foi evitado; apesar do tema em tela se referir à linguagem química. Achamos que houve até uma inversão; conseguimos falar sobre a linguagem química, no caso as fórmulas e estruturas químicas, explorando de forma mais enfática os outros dois níveis do conhecimento químico. Buscamos deixar

claro para ao aluno que a representação química chamada fórmula é a ponta de um iceberg, tem como objetivo explicar o visível pelo invisível, ou seja, procura explicar o macroscópico pelo microscópico. Que o trabalho do químico consiste em decifrar a natureza das coisas e traduzi-la em forma de enunciados repletos de significado.

Lançando o olhar para as atividades experimentais, acreditamos que são recursos didáticos importantes no processo de ensino-aprendizagem de ciências. Os experimentos despertam o interesse dos alunos em investigar e buscar respostas para os fenômenos evidenciados pela observação. No nosso material paradidático não propusemos nenhuma atividade experimental, apesar de nos referirmos a ela durante todo o texto. Pretendemos, no futuro, propor algumas atividades ao professor, com o objetivo de transformar o que descrevemos, por meio de palavras, em práticas de sala de aula, fazendo o uso de experimentos que ilustrem o que colocamos no papel. No entanto, não devemos deixar de considerar o que diz Bachelard (1996, p. 50): “É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno”.

E ainda demonstrar que as observações empíricas quando mal conduzidas podem incorrer em erros conceituais. No pensamento de Bachelard (1996, p.68):

Assim, na classe de Química moderna como na oficina do alquimista, o aluno e o aprendiz não se apresentam de início como puros espíritos. A própria matéria não é para eles uma razão suficiente de calma objetividade. Ao espetáculo dos fenômenos mais interessantes, mais espantosos, o homem vai naturalmente com todos os seus desejos, com todas as suas paixões, com toda a alma. Não é, pois, de admirar que o primeiro conhecimento objetivo seja um primeiro erro.

Seria importante averiguar também o potencial do material em relação à

formação inicial e continuada dos professores, visto que o assunto – análise estrutural que utiliza as técnicas espectrométricas – só é atualmente estudado no nível superior e os futuros professores, quando se deparam com o assunto na graduação, sendo novidade, apresentam certa dificuldade no aprendizado dos métodos e análise dos espectros fornecidos pela espectroscopia de IV, RMN de ^1H e ^{13}C e EM (RIBEIRO; SOUZA, 2007).

É sabido que uma das razões para incentivar a formação inicial e continuada de professores diz respeito a problemas que ainda necessitam ser superados com relação a possíveis danos e lacunas da formação docente. Acreditamos que o uso do nosso material de ensino pelos professores possa contribuir para o aperfeiçoamento, em ações de formação continuada, à medida que se diferencia dos materiais de ensino tradicionais.

Procuramos evidenciar que a Química pode ser ensinada como um meio, um instrumento e não como um fim. Buscamos contextualizar o conteúdo químico por meio de um tema químico social, pois acreditamos como Santos (2007, p. 478) que “pela natureza do conhecimento científico, não se pode pensar no ensino de seus conteúdos de forma neutra, sem que se contextualize o seu caráter social, nem há como discutir a função social do conhecimento científico sem uma compreensão do seu conteúdo”.

Uma de nossas constatações foi percebermos que pela força da nossa formação tradicional de professor de ciências (no caso da Química), voltada para o ensino descontextualizado, acrítico, disciplinar, focado no conteúdo, a-histórico e dogmático tivemos dificuldades em desconstruir procedimentos sedimentados na prática docente para construir novas formas de se articular o processo. Isto pode ter deixado muitos resquícios, que no momento não conseguimos enxergar.

Nesse contexto, a crítica que fazemos ao trabalho é que ele foi construído

montando-se partes de um grande quebra-cabeça, por isso muitos aspectos que poderiam ser abordados se tornaram invisíveis aos nossos olhos, pois não tínhamos a visão do todo. Segundo Morin (2005, p.42) “Como nossa educação nos ensinou a separar, compartimentar, isolar e, não, a unir os conhecimentos, o conjunto deles constitui um quebra-cabeças ininteligível”.

Para finalizar, gostaríamos que o paradidático proposto fosse útil na produção de novas dinâmicas de sala de aula e que contribuísse para a formação sócio-cultural de todos aqueles que se embrenham na aventura do conhecimento.

CONCLUSÃO

A sociedade passa por mudanças as quais a escola deve acompanhar, por meio da adequação de suas propostas de ensino. A sociedade tecnológica exige das ciências respostas cada vez mais precisas e específicas às suas demandas. A fim de satisfazer às necessidades desta sociedade, a produção de conhecimento e tecnologia cresce imensamente, ocasionando um abismo entre o que se ensina na escola e o que acontece no mundo fora dela. Nesse cenário, os Parâmetros Curriculares Nacionais instituíram profundas mudanças, quebrando o modelo de ensino meramente expositivo e propondo um modelo centrado no aluno. Novas palavras tais como: habilidade, competência, interdisciplinaridade, contextualização entre outras, representando ações com significados, às vezes, não tão claros para os professores exigem mudanças em sua prática pedagógica. Nesse contexto, os professores necessitam se atualizar, a fim de satisfazer essas novas demandas sociais, dentro de suas áreas de atuação, principalmente, no que se refere às metodologias de ensino específicas de seus conteúdos. Essas, por sua vez, precisam estar devidamente embasadas por aspectos epistemológicos e sociológicos, uma vez que, ter conhecimento do conteúdo que se vai ensinar é importante a qualquer professor, embora seja apenas um quesito da complexa ação de ensinar.

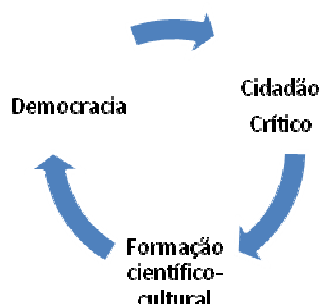
Incorporar ao contexto escolar essas novas metodologias e conteúdos de forma mais compreensível, mais significativa, em linguagem mais acessível, que faça sentido para os alunos e os ajude a construir um conhecimento duradouro são, certamente, os objetivos do professor que se preocupa com a qualidade do ensino. É isso que também

almejamos com a divulgação e aplicação desse trabalho.

O processo de construção do conhecimento escolar em Química deve contemplar como premissa básica a inter-relação que o conhecimento científico estabelece com o contexto histórico-social e tecnológico no qual está inserido. Nós, por meio desse trabalho, desenvolvemos uma proposta de transposição didática de um conhecimento científico ainda não abordado no ensino médio, mas que, no nosso entender é fundamental para se elucidar o significado das fórmulas e estruturas químicas.

Em nossa caminhada procuramos, também, primar pelo ensino para a formação do cidadão, pois acreditamos que a formação científica é parte fundamental desse processo e desenvolve a criticidade.

A sociedade em que vivemos, cada vez mais, exige do cidadão uma formação científica básica para participar ativamente dessa cadeia que se estabelece entre democracia, cidadão e formação científica – cultural.



Ocorre que os conceitos químicos tradicionalmente apresentados aos alunos a cada aula, geralmente, enfatizam apenas aspectos conceituais do conhecimento químico, dificultando a inter-relação com os demais saberes de forma lógica e a compreensão de que o conhecimento está inserido em uma estrutura mais ampla, que faz sentido para o aluno. Para eles, o conhecimento químico apresentado de forma desvinculada da realidade não tem a menor utilidade e só deve ser estudado para passar na prova e foi isso

que nos buscamos evitar.

De uma maneira geral, procuramos trabalhar o conhecimento químico como um meio e não como um fim em si mesmo, fazendo o uso de um tema químico social. E de forma mais específica, procuramos descrever, no nosso modo de interpretar, a dialética que envolve a construção do conhecimento. Segundo a literatura, qualquer conceito químico pode apresentar os seguintes componentes em ordem de complexidade crescente do conceito e em termos de perfil epistemológico: Realismo ou senso comum→Empirismo→Abordagem da Química clássica→Abordagem da Química moderna.

Procuramos então desenvolver, na nossa proposta, um perfil epistemológico do tema no desenrolar da nossa abordagem, do realismo ou senso comum, de observações baseadas nos sentidos (identificação de propriedades organolépticas da amostra desconhecida, estado físico, etc.), passando pelo empirismo (leis ponderais, identificação por propriedades químicas, etc.), indo para a Química clássica (teoria de Dalton, constituição da nomenclatura química e das fórmulas e equações químicas, etc.) até a química contemporânea (técnicas espectrométricas e fórmulas estruturais). Buscamos também desenvolver a contextualização, a interdisciplinaridade e o uso da História da Ciência.

Temos consciência de que concluímos um ciclo, mas um novo ciclo se inicia. Esse trabalho, como todo trabalho de pesquisa, é um grande desafio. Ultrapassamos muitos obstáculos. Ficamos pensando como é difícil construir algo, mesmo para nós professores, o que diríamos dos alunos. Buscamos subsídios em vários autores para fundamentar o que queríamos dizer e muitas vezes foi difícil dizer o que pretendíamos. Faríamos de novo e com certeza faríamos diferente.

Particularmente, ao construir esse projeto, tive a oportunidade de aprender e rever muitos conceitos conviver com a complexidade de se desenvolver um projeto de pesquisa, conhecer vários autores, estudar os documentos oficiais; ações que muitas vezes, no nosso dia a dia de professor, normalmente não são realizadas. Hoje consigo enxergar que o meu aprendizado e formação apenas começaram em busca de ser uma professora de Ciências e não, somente de Química.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C.; LIMA, R. V. B. Uso de suplementos alimentares por adolescentes. *J. Pediatr.* (Rio J.) [online]. 2009, vol.85, n.4. Acesso em: 02/03/2010, pp. 287-294. <Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jped/v85n4/v85n4a04.pdf>.>

ASTOFI, J. P. e DEVELAY, M. *A didática das ciências*. São Paulo: Papirus, 1991.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 314p.

BAPTISTA et all. Formação de professores de Química na universidade de Brasília: construção de uma proposta de inovação curricular. *Química nova na escola*, Brasília-DF, vol 31, nº 2, maio 2009. p. 140-149. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc31_2/12-PEQ-0609.pdf Acesso em: 10/11/2009.

BARREIRO, E, J. Sobre a química dos fármacos, dos remédios e dos medicamentos. *Química Nova na Escola*, São Paulo, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Nº 3 – Maio 2001, páginas 4-9. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc16/>>. Acesso em: 24/02/2009.

BIACHI, J. C. de A. ALBRECHT, C. H. e DAL TAMIR, J. M. *Universo da Química*: livro do professor. São Paulo: FTD, 2005.

BRASIL, MEC/Gabinete do Ministro. Divulgar o resultado das avaliações dos Livros Didáticos dos Componentes Curriculares de Física e Química, realizadas no âmbito do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio - PNLEM/2007. Portaria nº 366 de 31 de janeiro de 2006. Diário oficial da União. Ed. Nº 23 de 01/02/2006. Disponível em:< http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/port366_pnlem.pdf> Acesso em: 25/11/2009.

BRASIL, MEC/SEB. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*, Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. *Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*, Resolução CEB nº 3 de 26 de junho de 1998.

_____. Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da

educação nacional. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm Acesso em: 10/06/2009.

_____. PCN+ *do Ensino Médio*: orientações educacionais complementares aos PCN. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002. Disponível em: < <http://www.mec.gov.br> > Acesso em: 10 abr. 2009.

BROCKINGTON, G; PIETROCOLA, M. *Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?* Acesso em: 02/05/2009. Disponível em: < http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n3/v10_n3_a5.html>

BULCÃO, M. *O racionalismo da ciência contemporânea*: Uma análise da epistemologia de Gaston Bachelard. Rio de Janeiro: Edições Antares, 1981. 148p.

CANTO, E. L. e PERUZZO, F. M. *Química na abordagem do cotidiano*: livro do professor. São Paulo: Moderna, 2003, v. 3.

CHASSOT, A. *Alfabetização científica*: questões e desafios para a educação. Ijuí: Unijuí, 2000. 432p.

_____. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Rev. Bras. Educ.* 2003, n.22, pp. 89-100. Acesso em: 10/08/2009 Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n22/n22a09.pdf>>.

_____. Para que(m) é útil o ensino? Ijuí: Unijuí, 2^a ed. Canoas: Ulbra, 2004. 172p.

CHEVALLARD, Y. *La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Trad. Claudia Gilman. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1991, 196 p.

DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. Cromatografia um breve ensaio. *Química nova na escola*. São Paulo. Nº 07, maio 1998.

FARIAS, R. F. de. *Introdução à Química forense*. Campinas, SP: Editora Átomo, 2007. 100p.

FELTRE, R. *Química*: livro do professor. São Paulo: Moderna, 2004, v. 1

FILGUEIRAS, C. A. L. Duzentos anos da teoria atômica de Dalton. *Química Nova na*

Escola, São Paulo, nº 20, p.38-44, Novembro de 2004.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 31ªed. São Paulo: Paz e Terra, 1996. 148p.

JAPIASSÚ, H. *A revolução científica moderna*. 2ª ed. São Paulo, SP: Letras & Letras, 1997. 284p.

KIILL, K. B; GIBIN, G. B; FERREIRA, L. H. Estudo do tema equilíbrio Químico nos livros aprovados pelo PNLEM a partir da análise seqüencial. XIV ENEQ, UFPR - Curitiba: PR, Julho 2008, 127.66 KB (130.720 Bytes). Acesso em: 19/12/2009. Disponível em: < <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0255-1.pdf>>.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das Ciências. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, vol. 14, nº 1, Jan/Mar 2000. p.85-93. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/spp/v14n1/9805.pdf>> Acesso em: 08/06/2009.

LAILOLO, M. Livros didáticos: um quase manual de usuário. *Em Aberto*, Brasília, vol.16, n. 69, jan/mar. 1996. p. 3-7. Acesso em: 19/12/2009. Disponível em: http://www.publicacoes.inep.gov.br/arquivos/%7B5F8D6FDF-2BF0-476F-9271-88ADE36BAD1A%7D_Em_Aberto_69.pdf.

LASZLO, P. *A palavra das coisas ou a linguagem da Química*. Trad. Raquel Gonçalves e Ana Simões. Lisboa: Gradiva,1995. 283p.

LAVOISIER, Antoine-Laurent. *Tratado elementar de Química*. Trad. Laís dos Santos Pinto Trindade. São Paulo: Madras, 1789. 399p.

LOBATO, et al. Dirigindo o olhar para o efeito estufa nos livros didáticos de ensino médio: é simples entender esse fenômeno? *Ensaio pesquisa em educação em ciências*, UFMG-MG, vol.11, nº 1, junho 2009. 221.16 KB (226.472 Bytes). Disponível em:< <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/161/231>> Acesso em: 19/12/2009.

LOPES, A. C. *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*. Rio de Janeiro - RJ: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 1999. 236p.

_____. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. *Enseñanza de las ciencias*. Vol. 11 nº3. 1993.p. 324-330. Acesso em: 07/03/2009. Disponível em:< <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21303/93272>>.

_____. Os parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio e a submissão ao mundo produtivo: o caso do conceito de contextualização. *Educ. Soc.*, Campinas, v. 23, n. 80, setembro/2002, p. 386-400 Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/es/v23n80/12938.pdf>> acesso em 11/06/2009.

_____. Políticas curriculares: continuidade ou mudança de rumos? *Revista Brasileira de Educação*, Rio de Janeiro, n. 26, maio/ago. 2004. P. 109-118. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n26/n26a08.pdf> acesso em: 11/06/2009.

MAAR, J. H. *Pequena História da Química*. Florianópolis: Papa-livro, 1999.848p.

MACHADO, H. A; MOURA, A. L.A; Concepções do papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº. 2, páginas 27-30, novembro, 1995.

MALDANER, O. A. *A formação inicial e continuada de professores de Química professores/pesquisadores*. 3ª ed. Ijuí: Unijuí, 2006. 424 p. (Coleção educação em Química).

MORIN, E. *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. Trad. Catarina Eleonora F. da Silva e Jeanne Sawaya. 10ª Ed. São Paulo: Cortez, 2005. 118p.

MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. *Química, volume único: ensino médio (livro do professor)*. São Paulo: Scipione, 2005.

MORTIMER, E. F. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino: Mudança conceitual e perfil epistemológico. *Química Nova*, Belo Horizonte - MG, vol. 15, nº 3, Set.1992, p. 242-249. Acesso em: 20/09/2009. Disponível em: [http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1992/vol15n3/v15_n3_%20\(14\).pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1992/vol15n3/v15_n3_%20(14).pdf) >.

_____. A evolução dos livros didáticos de Química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto*, Brasília, vol. 7, n. 40, out/dez. 1988. p. 25-41. Disponível em: <http://www.publicacoes.inep.gov.br/arquivos/%7B6D957EAC-C419-4C20-873B-24B9627C83CA%7D_ano_7_nº_40_out.-dez._1988.pdf> Acesso em: 19/12/2009.

_____. O significado das fórmulas químicas. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº 3, p.19-21, Maio de 1996.

_____. Para além das fronteiras da Química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de Química. *Química nova*, Belo Horizonte, vol 20 nº 2. Mar/apr. 1997, p. 200-207.

Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v20n2/4935.pdf>. Acesso em 06/03/2009.

MORTIMER, E. F; MACHADO, A. H. e ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de Química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. *Quím. Nova*, Belo horizonte, vol.23, nº. 2, abr/mai 2000, p. 273-283. Acesso em 10/09/2009 Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n2/2131.pdf>>.

NÓBREGA, O. S., SILVA, E. R. e SILVA, R. H. *Química*, volume único: livro do professor. SãoPaulo: Ática, 2005.

OKI, M. da C. M. O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. *Química nova na escola*, São Paulo, nº26, novembro 2007, p. 24-28. Disponível em: < <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc 26/>> Acesso em: 21/09/2009.

PARENTE, L. T. S. *Bachelard e a Química: no ensino e na pesquisa*. Fortaleza, Ce: Ed. Da Universidade Federal do Ceará, 1990. 143p.

PEREIRA, C. L. N; SILVA, R. R; A Química orgânica nos livros do PNLEM/2008: um olhar sobre a história da Ciência e a experimentação. *XIV ENEQ*, UFPR - Curitiba: PR, Julho 2008, 48.48 KB (49.647 Bytes). Acesso em: 19/12/2009. Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0920-1.pdf>>.

PEREIRA, R. F.; LAJOLO, F. M.; HIRSCHBRUCH, M. D. Consumo de suplementos por alunos de academias de ginástica em São Paulo. *Rev. Nutr.*, Campinas, v. 16, n. 3, set. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rn/v16n3/a04v16n3.pdf> acesso em: 25/01/2010.

PIETROCOLA, M. et al. As ilhas da racionalidade e o saber significativo: O ensino de ciências através de projetos. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, Minas Gerais, Vol 02 / nº 1. Março 2002. p. 1-18.Disponível em: < <http://www.fae.ufmg.br/ensaio/> >. Acesso em: 06/03/2009.

RIBEIRO, C. M. R; SOUZA, N. A. de. Esquema geral para Elucidação de substâncias orgânicas usando métodos espectroscópico e espectrométrico. *Química. Nova*, rio de Janeiro, 2007, Vol. 30, No. 4, 1026-1031. Acesso em: 04/04/2009. Disponível em: < <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n4/46-ED06368.pdf>>.

RICARDO, E. C. Implementação dos PCN em sala de aula: dificuldades e possibilidades. *Física na Escola*, São Paulo, v. 4, n. 1, 2003. Disponível em:< <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol4/Num1/a04.pdf>>. Acesso em: 16 de agosto de 2009.

ROQUE, N. F; SILVA, J. L. P. B. A linguagem da Química e o ensino de Química orgânica *Química Nova*, Salvador, vol. 31, nº 4, Mar/abr 2008, p. 921-923. Disponível em:< <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n4/33-ED08026.pdf>> Acesso em: 20/09/2009.

SANTOS, M. de O. S.; MÓL, G. S. Planilha para avaliação de livros didáticos de química para o ensino médio: um instrumento de auxílio ao professor. *VI ENPEC*, Florianópolis: SC, Nov/dez 2007. Disponível em:< <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/>> acesso em: 10/10/2009.

SANTOS, W. L. P. dos ; Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. *Revista Brasileira de Educação*, Brasília: DF, v. 12, n. 36 set./dez. 2007. Acesso em: 19/01/2010. Disponível em:< <http://inep.gov.br/pesquisa/bbeonline/obras.asp?autor=SANTOS,+WILDSON+LUZ+PEIREIRA+DOS>>.

SANTOS, W. L. P. dos; SCHNETZLER, R. P. *Educação em Química: compromisso com a cidadania*. Ijuí: Unijuí, 1997. 144p.

_____. Função social: o que significa o ensino de química para formar o cidadão. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº 4, p.28-34, novembro de 1996.

SANTOS, W. L. P. et al. *Química & Sociedade*. 1. ed. São Paulo: Nova Geração, 2005.

SCHNETZLER, P. R; A pesquisa no ensino de Química e a importância da Química nova na escola, *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº. 20, novembro, 2004 páginas 49-54. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc 20/>>. Acesso em: 24/02/2009.

_____. Concepções e alertas sobre formação de professores de Química, *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº. 16, páginas 15-20, novembro, 2002. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc 16/>>. Acesso em: 24/02/2009.

SCHNETZLER, P. R; ARAGÃO, R. M. R; Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de Química, *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº. 1, páginas 27-31, maio, 1995.

STRAHERN, P. *O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química*. Trad. Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2002. 264p.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA/IF/IQ/PPGEC. Determina os critérios para elaboração

da dissertação do mestrado profissionalizante. Resolução PPGEC nº 02/2004. Normas gerais do programa. Disponível em: <<http://vsites.unb.br/ppgec/normas.htm>> acesso em 15/01/2010.

VERBETE Criticismo. In: MORA, José Ferrater. Dicionario de filosofia. Madrid: Alianza, 1988, p.674.

VIANNA, I. O. de A. *Metodologia do trabalho científico: um enfoque didático da produção científica*. São Paulo: E.P.U., 2001.

VIDAL, P. H. O; CHELONI, F. O.; PORTO, P. A. O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº 26, páginas 29-32 nov. 2007. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc26/>>. Acesso em: 21/08/2009

WADA-AMA. World Anti-Doping Agency. The World Anti-Doping code. The 2010 prohibited list international standard. Disponível em: http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/WADA_Prohibited_List_2010_EN.pdf. Acesso em: 10/01/2010.

APÊNDICE – PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Ciências Biológicas

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

FÓRMULAS E ESTRUTURAS QUÍMICAS: DE

ONDE VÊM?

ELUCIDAÇÃO ESTRUTURAL POR

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Carla Cristina Corrêa da Costa

Brasília – DF

Março

2010



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Biologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

FÓRMULAS E ESTRUTURAS QUÍMICAS: DE ONDE VÊM?

**ELUCIDAÇÃO ESTRUTURAL POR
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Carla Cristina Corrêa da Costa

Proposta de ação profissional resultante da dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Gerson de Souza Mól e co-orientação da Prof. Dra. Inês Sabioni Resck apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Química”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília – DF

Março
2010

ÍNDICE

<i>APRESENTAÇÃO</i>	98
<i>INTRODUÇÃO</i>	100
<i>I - VOCÊ CONHECE O QUE CONSOME?</i>	102
<i>II – DESVENDANDO AS PARTES. O QUÍMICO É UM DETETIVE.</i>	104
<i>II – O QUEBRA-CABEÇA DA QUÍMICA...</i>	131
<i>IV - ANÁLISE ESPECTRAL: EM BUSCA DO INVISÍVEL.</i>	139
<i>GLOSSÁRIO</i>	198
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	209

APRESENTAÇÃO

De onde surgem as representações das moléculas...

Pelo que contam os livros, compreender a estrutura da matéria é uma questão que já instigava os filósofos gregos. As propostas que eles apresentaram foram bem aceitas até que John Dalton trouxe à luz a sua Teoria Atômica no início do século XIX. Passados duzentos anos, outras teorias, cada vez mais complexas, surgiram descrevendo detalhes cada vez mais íntimos da matéria, mas o modelo atômico de Dalton ainda é muito utilizado na Química por ajudar a entender uma série de características e processos dos diferentes materiais e substâncias. Proposto um modelo para a constituição da matéria, faltava entender como se dava a organização dos átomos. Nesta direção Amedeo Avogadro deu um importante passo ao propor o conceito de molécula. Ao ser aceito, 50 anos após, esse conceito tornou-se fundamental para a química e a palavra 'molécula', hoje em dia, faz parte do vocabulário não só dos cientistas, mas também de pessoas da sociedade que não atuam na área.

Tão comum se tornou a palavra molécula que se pode dizer que é de domínio público. Crianças falam na molécula da água.

Essas moléculas são representadas por fórmulas que também estão

incorporadas em nosso cotidiano. O oxigênio já virou marca tanto no nome – elemento químico ou substância – como na fórmula. A água tem sua fórmula, mesmo que grafada de forma errada, utilizada como marca registrada de água engarrafada. Os químicos se referem às substâncias por meio de suas fórmulas.

No entanto, apesar de tão populares, e tão utilizadas no ensino de química, as fórmulas químicas das substâncias são ainda um mistério. Todo mundo concorda com elas, mas não se sabe muito bem de onde vieram. Poucos sabem que Dalton imaginou a fórmula da água como sendo HO e por isso, obteve uma tabela de “pesos atômicos” com incorreções.

Se um aluno perguntar para um professor como é que ele sabe que a fórmula da água é realmente H₂O e como ele pode afirmar que a geometria é mesmo angular, com certeza ele passaria aperto para responder de forma consistente. Isso se aplica também a muitos professores de nível superior.

É desse sentimento e de outros sentimentos de sala de aula que nasceu a idéia deste texto. Com a intenção de que ele seja adaptado para atender também os alunos é que ele foi produzido na forma de uma trama literária. Neste formato, foi possível levar o texto a abordar outras questões relacionadas ao ensino formal, como o uso de suplementos alimentares e substâncias consideradas como dopagem.

Esperamos que esta seja uma leitura divertida e agradável.

INTRODUÇÃO

Escutamos todos os dias, por meio de diversos meios de comunicação e até no ambiente escolar, que para se ter uma boa saúde, é necessária a prática de exercícios físicos diariamente, além da adoção de uma dieta saudável e equilibrada. Muitas pessoas, baseando-se nestas informações, ignoram a ajuda de especialistas e decidem ir sozinhas à busca do corpo perfeito. Mas, com o passar do tempo, percebem que nem sempre é fácil atingir esse objetivo. Exercitar-se e fazer dietas inapropriadas, sem a orientação de um profissional adequado, pode ser desastroso para a saúde, acarretando doenças.

Por outro lado, quando se buscam as orientações dos especialistas, algumas dificuldades podem ser encontradas e servir de desestímulo. Deixar de comer alimentos deliciosos e calóricos e fazer exercícios físicos constantemente exigem esforços que nem todos estão dispostos a fazer. E é quando surge a questão: será que há outras formas e caminhos de se atingir o corpo desejado sem ter que passar por tantas privações?

Buscando receitas “milagrosas”, as pessoas adquirem e recebem orientações das mais variadas fontes não especializadas, que as motivam a fazer uso de produtos desconhecidos. Cuidado! A orientação profissional para

qualquer atitude que se venha tomar refletirá no sucesso almejado e é a única opção sensata ser seguida.

Com certeza, você não é uma destas pessoas, não é mesmo? Mas a estória, narrada a seguir, aborda um tema sobre esse assunto, além de fornecer conhecimentos de Química. Vale à pena concentrar sua atenção no caso de Lucas, um aluno do ensino médio.

I - Você conhece o que consome?

Lucas, um jovem de 16 anos, almeja ter um físico invejável e sonha acordado com todas as maravilhas que esse corpo pode lhe proporcionar. No entanto, Lucas desconhece o que é disciplina, pois não gosta de caminhar ou praticar esportes. Vai à academia, quando muito, duas vezes por semana, e quando lá chega, fica conversando com os colegas e dificilmente cumpre a sua carga de exercícios. As horas dedicadas ao sono por ele são irregulares, sem horário definido, e ainda não gosta de frutas e muito menos de verduras e legumes.

Certo dia Lucas foi “malhar” e encontrou, no armário comunitário da academia, um recipiente contendo um produto de coloração branca. Esforçou-se para ler o rótulo e com muita dificuldade percebeu que estava escrito: “Suplemento alimentar”¹². Imediatamente, mostrou aos colegas e logo ficou sabendo do que se tratava, pois muitos dos amigos faziam uso de produtos semelhantes. Então, o jovem rapaz, entendendo que o produto não pertencia a ninguém, colocou-o na mochila e foi para casa. Lá chegando, pegou o frasco e

¹² No Brasil, o conceito de suplemento é utilizado como algo que vai suprir ou complementar as necessidades nutricionais específicas de um indivíduo. A necessidade de suplementação deve ser avaliada por um profissional competente (médico ou nutricionista), considerando que, para a grande maioria das pessoas, uma alimentação adequadamente balanceada é suficiente para atender as necessidades diárias.

observou-o com curiosidade, mas, ficou com receio de utilizá-lo, e por descuido, esqueceu-o em cima da mesa do computador, em seu quarto.

Ao chegar do trabalho, Andréia, a mãe de Lucas, à procura do filho, foi adentrando no quarto e avistou o frasco em cima da mesa. Como professora e pesquisadora em Química de uma grande universidade, Andréia é curiosa devido às características de sua profissão. E por isso, com rapidez, aproximou-se e apoderou-se do produto. Mais tarde, quando Lucas chegou em casa, a mãe o chamou para conversar, questionando-o sobre o assunto. O rapaz não soube explicar muita coisa, disse o que acontecera e que não havia utilizado o produto. Ficando muito preocupada e como trabalhava justamente com a análise de materiais desconhecidos e tinha acesso aos equipamentos necessários para identificação e caracterização de produtos químicos, resolveu levar uma amostra do produto encontrado para o laboratório a fim de realizar a sua identificação. Para que o filho entendesse o risco que corria ao consumir produtos de origem duvidosa, a mãe o levou para acompanhar os trabalhos de análise, visto que, o jovem não estava obtendo boas notas em Química e poderia ser uma boa oportunidade de conciliar as duas coisas. Além disso, seria uma chance de estarem mais próximos e dele conhecer o trabalho dela.



II – DESVENDANDO AS PARTES. O QUÍMICO É UM DETETIVE.

Chegando ao laboratório, mãe e filho, equiparam-se com jalecos e óculos de proteção, tidos como Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários. A mãe instruiu o filho quanto às normas de segurança no laboratório. Explicou a ele que no laboratório, não se deve comer, brincar, levar a mão aos olhos e boca, deve-se usar jaleco, óculos de proteção, usar calças compridas e sapatos fechados. Logo após, mostrou-lhe as vidrarias, várias substâncias químicas e os equipamentos que seriam utilizados nas análises da amostra recolhida do produto considerado suplemento alimentar.

- Como posso descobrir de que é formado esse suplemento alimentar? – Perguntou o rapaz observando o produto encontrado.

- Primeiramente, vamos considerar que não sabemos se esse produto é, ou não é um suplemento alimentar – responde a mãe – ele pode ter sido adulterado. Olhe só o aspecto deste rótulo. Não tem nem data de validade. Está

sem o registro da ANVISA¹³.

- É mesmo, então como vamos chamá-lo? Pergunta Lucas.
- Nós o chamaremos de amostra desconhecida. Uma amostra desconhecida é uma porção de matéria que representa o sistema em análise. Em seguida, observaremos as características ou propriedades dessa porção de matéria – disse a pesquisadora removendo uma parte do produto para outro recipiente.
- O que são características ou propriedades da matéria? Meu professor já falou sobre este assunto, mas eu não entendi muito bem – perguntou Lucas.
- São particularidades de cada material. Vamos começar analisando as características ou propriedades macroscópicas da nossa amostra.
- Propriedades macroscópicas? – questionou o rapaz.
- Isto mesmo! As propriedades macroscópicas são aquelas características observáveis a olho nu, ou seja, que não necessitam de lentes para a visualização. O que você está vendo? O material é homogêneo ou heterogêneo? – questiona a pesquisadora mostrando ao rapaz o recipiente contendo a

¹³ No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é o órgão responsável pela regulação da rotulagem de alimentos. Ela estabelece as informações que um rótulo deve conter, visando à garantia de qualidade do produto e à saúde do consumidor. Mais informações no sítio: <http://www.anvisa.gov.br>.

amostra.

O rapaz observando-a com curiosidade, pergunta:

- Qual é a diferença entre um material homogêneo e um material heterogêneo?

- O material homogêneo tem aparência macroscópica uniforme e as mesmas propriedades em toda a sua extensão, por isso só tem uma fase. Já o material heterogêneo consiste de duas ou mais fases distintas.

O rapaz pensa e prossegue.

- Eu não entendi, a senhora poderia me explicar o que é fase.

- Uma fase é uma parte homogênea do sistema. Imagine um sistema hipotético que contenha água e óleo; quantas fases você pode observar?

- Bom, eu observo que a água e o óleo não se misturam. Então, isso significa que o sistema água e óleo contêm duas fases. Uma fase é a água e a outra é o óleo – respondeu o rapaz.

- Muito bem! Mas, agora eu te pergunto. E se acrescentássemos ao sistema uma pequena quantidade de cloreto de sódio (NaCl), o típico sal de cozinha, supondo que ele se solubilize por completo na água, ou seja, na fase aquosa. O que você observaria?

O rapaz parou, pensou por alguns instantes e respondeu.

- Bom, se o sal se dissolvesse totalmente na água, o sistema

continuará a conter duas fases: uma seria composta pelo óleo e a outra pela água com sal.

- Certo! – Exclamou a pesquisadora que, em seguida, perguntou. – O que se pode concluir com esse raciocínio?

- Pode se concluir que um material pode possuir uma aparência homogênea ou heterogênea quando analisada.

E a pesquisadora complementa...

- Se o aspecto for homogêneo, só se observa uma fase, mesmo que essa fase seja constituída por mais de uma substância. Caso seja heterogêneo, duas ou mais fases serão observadas. Quando uma amostra, independentemente de ser homogênea ou heterogênea, contiver mais de uma substância ela será denominada de material. O material, por sua vez, pode ser homogêneo ou heterogêneo.

O rapaz ficou pensativo e perguntou:

- No caso de um material heterogêneo é mais fácil perceber que há mais de uma substância. Mas, como reconhecemos se uma amostra homogênea é constituída de uma ou mais substâncias se ela apresenta um mesmo aspecto?

- Realmente, se nos basearmos apenas nos aspectos de homogeneidade e heterogeneidade da amostra desconhecida não conseguiremos descobrir a sua constituição e por isso, teremos que observar outras

características.

Observando com cuidado o frasco contendo a amostra desconhecida, Lucas verificou que se tratava de um sólido de aspecto homogêneo. Então questionou:

- O que iremos fazer para determinar se esse sólido homogêneo é constituído de uma ou mais substâncias?
- Primeiramente, teremos que continuar analisando nossa amostra na perspectiva macroscópica. Diga-me, qual é a cor da nossa amostra?

E o jovem respondeu:

- Branca.
- Você sabia que a cor de uma amostra pode nos dar informações bastante úteis a respeito de sua constituição? – indagou a pesquisadora.
- É mesmo! Que tipo de informação a cor pode nos dar?

A fim de investigar o que o rapaz sabia sobre o assunto¹⁴, a pesquisadora perguntou:

- Se estivéssemos em um lugar no qual não houvesse luz, você saberia me dizer qual é a cor dessa amostra?

¹⁴ No ensino de ciências, as idéias que os alunos trazem para a sala de aula são denominadas de concepções alternativas. É importante que o professor as conheça para orientar melhor suas atividades de ensino, buscando formas de ensino mais efetivas. Por isso, o professor gosta tanto de perguntar.

- Claro que não! Eu não iria enxergar nada pela falta da iluminação. –
retrucou o rapaz.

- E por que esse fenômeno acontece?

- Bom, o que eu sei é que quando a luz solar ou uma luz artificial semelhante toca uma superfície ou algo material que possua cor, a maior parte das cores é absorvida, com exceção de uma, que é aquela que é emitida e observada pelo nosso olho. Quando não há absorção de cor, percebemos a cor branca, mas quando há absorção total das cores, o que se vê é o preto.

- Certo! Você sabe por que isso acontece? Será que este fenômeno pode estar relacionado com a composição química do material?

- Acho que sim, mas não sei explicar como. – Falou Lucas expressando um tom de dúvida.

- Bom, você não deve se esquecer de que a luz do sol ou uma luz artificial semelhante é composta por todas as cores. Quando esta luz incide em algum objeto, as cores, que a compõe, serão ou não absorvidas pelos materiais em questão. A cor refletida ou não absorvida será percebida pelos nossos olhos. Se não houver luz, esse processo simplesmente não ocorre. E se ele não ocorre, você não enxerga.

- Puxa! Eu nunca tinha entendido isso de verdade. – argumenta Lucas e complementa – Então, isto significa que esta blusa que a senhora está usando

O espectro eletromagnético

É o conjunto de todas as ondas eletromagnéticas.

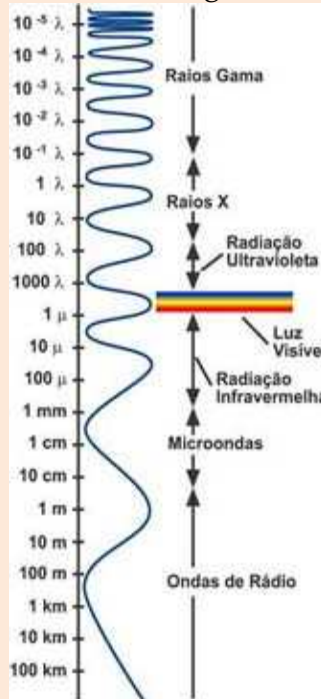


Figura 1: O espectro eletromagnético.

possui a cor vermelha, por que o vermelho é a cor refletida e não absorvida? – diz Lucas apontando para a blusa que sua mãe estava vestindo.

- Parece estranho, mas é assim mesmo! Um objeto só terá cor se uma luz incidir sobre ele. Na verdade, a matéria apenas possui a propriedade de absorver ou refletir as cores que compõe a luz ou representa o espectro eletromagnético.

O rapaz ficou pensativo e mais do que depressa concluiu:

- O que faz a matéria possuir ou não uma determinada cor depende da sua capacidade de

absorver ou refletir as cores e essa capacidade está intimamente ligada à sua composição química.

- É isso mesmo filho! É a constituição química, naturalmente relacionada à estrutura química, que determina a cor do material quando está sendo iluminado. – complementou Andréia. – Viu porque a cor pode nos dar informações importantes sobre a constituição da matéria e também sobre a respectiva estrutura? – questionou.

- Nossa! Fale-me mais a respeito desse assunto.

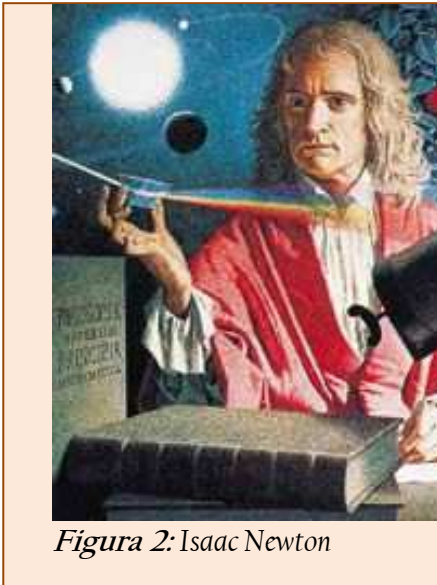


Figura 2: Isaac Newton

combinações.

Como já estava no final do expediente, os dois decidem ir para casa. Ao sair do laboratório, Andréia olhou para o céu e avistou um lindo arco-íris que se formava no horizonte. Chamou a atenção do filho para o fenômeno e disse:

- Olhe aquele arco-íris. Ele representa o fenômeno natural de dispersão da luz do sol nas gotículas de água da chuva. Este conjunto de sete cores definidas representa o espectro visível observado em um fenômeno natural promovido pela energia solar, que é estudado na espectroscopia e que corresponde a faixa de radiações¹⁵ (400-800nm) no espectro eletromagnético. Aliás, há outras radiações no espectro eletromagnético tais como ultravioleta, infravermelho e radiofrequências que são estudadas em técnicas

¹⁵ 1nm = 10⁻⁷cm.

espectroscópicas.

- Nossa! Que “legal”! Os meus olhos estão percebendo como a espectroscopia é interativa com a natureza. Qual a origem deste termo?

- Bom, foi Isaac Newton, pesquisador inglês, quem iniciou o estudo científico das propriedades da luz. Em finais de 1665, por motivos de uma epidemia que assolou a região, a Universidade de Cambridge, a qual Isaac Newton iniciava a sua carreira acadêmica, fechou durante dezoito meses. O jovem Newton refugiou-se durante esses meses na casa dos seus pais. Foi durante esse ano e meio que realizou seus estudos sobre a composição da luz branca. Em 1666, fechado em uma sala escura onde apenas um raio solar entrava através de um pequeno orifício, ao fazer incidir esse raio solar sobre um prisma de vidro, viu formar-se uma banda de cores na parede do fundo; adicionando uma lente entre o prisma e a parede onde aparecia esta banda de cores conseguiu que as cores se espalhassem por mais de 25 centímetros. Experimentou interpor um segundo prisma no feixe luminoso dispersado pelo primeiro prisma e verificou que quando a dispersão dos dois prismas era aditiva, a imagem formada pelas diferentes cores tornava-se maior; quando a dispersão dos dois prismas se opunha, as diferentes cores recombinavam-se, produzindo novamente a luz branca do feixe de luz solar que entrava na sala pelo pequeno orifício. Foi para descrever o fenômeno da dispersão aditiva e de recombinação dos dois prismas,

resultando num jogo de cores que apareciam e desapareciam que Newton, nesse trabalho publicado em 1672 (seis anos depois de ter observado o fenômeno da dispersão e recombinação da luz solar pela primeira vez), usou a palavra “spectrum” para caracterizar o que observara. É que movendo ainda que levemente, o prisma que dispersava a luz branca nas suas componentes coloridas, a imagem colorida saltava de um lugar para o outro, como se tratasse de um fantasma. A palavra espectroscopia, etimologicamente falando, significa o estudo de fantasmas.

Chegando a casa, Lucas fechou-se em seu quarto e pôs a refletir sobre as informações que havia aprendido naquele dia, e ficou extasiado em pensar que a Ciência não é algo pronto e acabado, como entendera na escola. É algo que está em constante construção e pode ser relacionado ao cotidiano.

No dia seguinte, ficou entusiasmado para voltar ao laboratório. Lá chegando, retomaram as atividades. Lucas tomou o frasco contendo a amostra desconhecida e com firmeza deduziu:

- Se esse material possui a cor branca é porque está interagindo com a luz e conseqüentemente reflete todas as cores. Neste caso, o que a espectroscopia pode afirmar a cerca da identidade dessa amostra?

- Bom, substâncias orgânicas com grupos funcionais conjugados com muitas insaturações ou ligações duplas são coloridas, devido à absorção na faixa

espectral do visível desses grupos covalentes insaturados denominados cromóforos. Já as substâncias saturadas ou com baixo grau de insaturação são transparentes na região do visível e, portanto, são brancas ou incolores.

- As substâncias orgânicas são as que contêm átomos de carbono e são estudadas pela Química Orgânica, não é mesmo?

- Exatamente. No entanto, existem algumas substâncias que possuem na composição átomos do elemento químico carbono, mas não são consideradas orgânicas.

- Eu posso cheirar a amostra? – perguntou o rapaz, segurando o recipiente que continha a amostra nas mãos.

- Não, nem cheirar e nem provar – falou a pesquisadora – diferentemente de nosso cotidiano, no laboratório não devemos utilizar os nossos sentidos, ou seja, as propriedades organolépticas, para identificar os materiais. Na maioria dos casos, isto não é recomendável, pois não sabemos do que a amostra é constituída. O cheiro de muitas substâncias orgânicas é extremamente característico, particularmente os de baixa massa molar, face à volatilidade. Com alguma experiência podemos reconhecer os odores característicos de muitas classes funcionais. Entretanto, a prática não é recomendável. Devemos tomar cuidado ao cheirar substâncias desconhecidas, pois muitas substâncias são irritantes e venenosas para o organismo humano,

podendo até provocar queimaduras e intoxicações.

- Então, analisando as características da amostra, percebemos que se trata de um sólido homogêneo de coloração branca. Eu não posso cheirá-lo, nem prová-lo, pois a sua constituição química pode ser nociva à minha saúde. – afirmou Lucas.

- Isso mesmo! Para continuar as nossas investigações a cerca da constituição da nossa amostra, necessitamos determinar outras características ou propriedades.

- Quais propriedades?

- Sabemos que cada substância possui um conjunto de propriedades físicas e químicas que lhe é característico e lhe dá uma identidade. Uma substância é uma forma particular de matéria que apresenta uma composição fixa, definida por sua constituição.

O rapaz franziu a testa com espanto e perguntou:

- Então, se analisarmos as propriedades da nossa amostra, poderemos obter informações sobre as substâncias que a compõe?

- Exato! Para entender como a matéria se classifica pela sua constituição química, devemos primeiro distinguir as transformações físicas das químicas e as propriedades físicas das químicas – explicou Andréia fazendo gestos com as mãos.

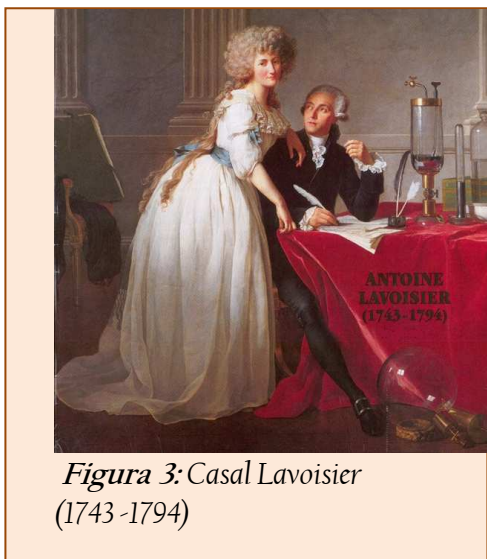


Figura 3: Casal Lavoisier (1743-1794)

- E como podemos fazer isso?

- É simples, uma transformação física ocorre quando apenas a forma da matéria se modifica, permanecendo a sua constituição química intacta. As mudanças de estado físico são exemplos de transformações físicas. – Explica Andréia amassando uma folha de papel.

- E as transformações químicas e as propriedades químicas? – perguntou o rapaz.

- Já as transformações químicas, que também são chamadas de reações químicas, são mudanças em que uma ou mais espécies de matéria que se transformam em uma ou mais novas espécies químicas. As propriedades químicas estão relacionadas às reações químicas pelas quais as substâncias podem passar. Você já ouviu falar no químico francês Antoine Laurent de Lavoisier (1734-1794)?

- Eu já estudei sobre Lavoisier, no meu livro didático, dizem que ele é o pai da Química.

- Sim, e essa paternidade histórica é devida a vários motivos.

- Quais seriam esses motivos? – questionou o rapaz.

- Bom, Lavoisier realizou diversas reações químicas medindo a massa

de reagentes e produtos em balanças, e conseguiu, mediante suas observações, refutar a teoria do flogístico, identificar o elemento químico oxigênio, além de participar da reforma da nomenclatura química. Ele também redefiniu o conceito de elemento e composto e enunciou a lei da conservação da matéria.

- Lavoisier enunciou uma lei? O que é uma lei?

- Uma Lei é uma generalização, uma afirmação válida para qualquer caso que se enquadre em sua estrutura. A lei de Lavoisier não se refere às reações químicas específicas, mas a quaisquer reações que se encaixem em seus enunciados. Porém uma lei não é uma explicação. As leis e as teorias apresentam uma relação muito importante. As teorias devem ser capazes de explicar o que as leis afirmam, ou seja, as teorias têm que estar de acordo com as evidências experimentais disponíveis.

- Isso eu já estudei. A lei da conservação da matéria diz que a massa total durante uma transformação ou reação química não varia, ou seja, em uma transformação química, a massa dos reagentes é igual à massa dos produtos. – complementou Lucas.

- É isso mesmo! – respondeu Andréia.

- Então, devemos a Lavoisier o conhecimento científico utilizado para analisar a nossa amostra desconhecida, não é mesmo?

- Claro, Lucas! Não só a ele, mas a muitos outros.

Por alguns instantes, mãe e filho ficam pensativos. E em seguida, Andréia diz:

- Então, como a nossa amostra é um sólido vamos tentar determinar uma propriedade física chamada de temperatura de fusão.

- E se fosse um líquido?

- Aí, nós poderíamos determinar a temperatura de ebulição.

- Por que temos que determinar essas propriedades físicas?

- Para obter informações sobre as características das substâncias e, conseqüentemente, caracterizá-las e avaliá-las em relação ao grau de pureza.

Pelos valores da temperatura de fusão e de ebulição podemos avaliar o grau de pureza de uma amostra. As substâncias apresentam valores de temperatura de fusão e de ebulição constantes, enquanto os materiais apresentam valores de temperatura de fusão e de ebulição que variam em uma ampla faixa de valores dependendo da composição. A temperatura de ebulição de líquidos também depende da altitude dos lugares. Isto é, variam e por isso deve ser comparada com valores da literatura.

- Isto demonstra que quando conseguimos determinar experimentalmente a temperatura de fusão ou de ebulição de uma amostra é porque ela está pura?

- Diríamos que ela foi purificada. Uma amostra purificada apresenta

uma temperatura de fusão ou ebulição bem definida, na qual ela se funde ou destila lenta e gradualmente numa faixa de um a dois graus. Então, vamos determinar se a nossa amostra possui uma temperatura de fusão? Para isso precisamos preparar a amostra.

Andréia começou colocando um pouco da amostra em um vidro de relógio. Em seguida, introduziu, em um tubo capilar, uma pequena quantidade do sólido, forçando-o contra a extremidade aberta do tubo. Quando o sólido já estava dentro do capilar, Andréia o inverteu e com pequenos golpes no vidro, fez o sólido descer no tubo.

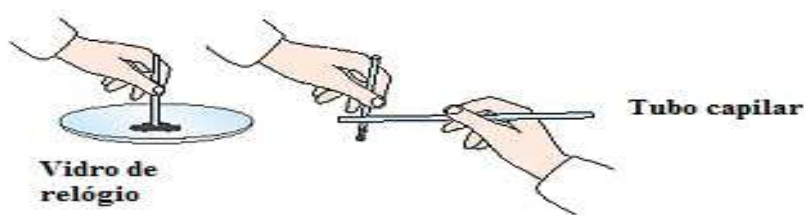


Figura 4: Esquematização do preparo da amostra para a determinação da temperatura de fusão ou ponto de fusão.

E para finalizar, com a ajuda de seu filho, prendeu o tubo capilar a um termômetro. Neste intervalo, Lucas já tinha preparado o banho de aquecimento e os dois puderam observar a transformação física da amostra desconhecida.

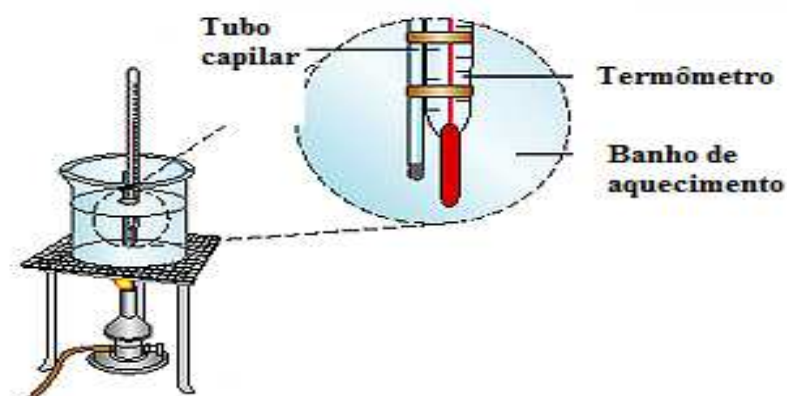


Figura 5: Esquematização da determinação da temperatura de fusão ou ponto de fusão com recurso a um capilar.

- Como se sabe qual é a temperatura de fusão da nossa amostra?
- É só observar a temperatura que o sólido fundirá. Observe atentamente a amostra durante o aquecimento e anote a temperatura quando observar alguma alteração.

Lucas ficou observando a fusão, enquanto sua mãe cuidava de outras atividades do laboratório. Depois de terminada a fusão, ele desligou o aquecimento e foi ao encontro da mãe.

- Filho, o que você observou?
- Observei que a fusão se deu em uma ampla faixa de temperatura.
- Pelo que já conversamos o que você pode concluir?
- Bom, eu concluo que não temos uma substância, mas sim um material formado por uma mistura de substâncias.
- Parabéns filho, você está se revelando um ótimo aprendiz de

Química. Quem sabe você não está encontrando seu caminho profissional. Sabia que no passado era muito comum os filhos seguirem a profissão dos pais? Hoje é diferente. É você quem deve escolher a sua profissão. Com o tempo você descobrirá. Agora precisamos saber quantas substâncias compõem esta amostra.

- E o que podemos fazer para descobrir isso?
- Utilizaremos um método físico-químico de separação chamado de cromatografia.

- Cromatografia me lembra cor, é isso mesmo?

- Sim, a palavra de origem grega: *chrom* significa cor e *graphie*, escrita, mas o processo não é dependente da cor¹⁶. A cor, neste método, facilita a identificação dos componentes separados. Os termos **cromatografia**, **cromatograma** e **método cromatográfico** foram criados pelo botânico russo Mikhael S. Tswett, que em 1906 utilizou estes termos para descrever suas experiências com extratos de folhas e gema de ovo que são bem coloridos. Tswett usou colunas de vidro contendo vários sólidos finamente divididos através das quais os extratos foram percolados e a seguir eluídos com éter de petróleo para obter a separação dos componentes em bandas coloridas ao longo

¹⁶DEGANI et al. Cromatografia um breve ensaio. *Química Nova Na Escola*, São Paulo, nº7, p. 21-25, maio 1998.

das colunas cromatográficas. Assim nasceu a cromatografia líquida que hoje é utilizada para separar componentes de misturas, cujos componentes são distribuídos em uma fase estacionária sólida, e eluídos por um fluido líquido que se move através da coluna. Com o passar do tempo, outros métodos cromatográficos denominados cromatografia em camada delgada (CCD), cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e gasosa (CG) foram introduzidos nas atividades de pesquisas e acadêmicas.

- Suponho que na separação por cromatografia líquida das substâncias que compõem a amostra haja interação entre as suas moléculas com a fase estacionária, tornando-as presas a ela – comentou o rapaz.

- É mais ou menos isso! Quando moléculas, átomos ou íons aproximam-se uns dos outros, dois fenômenos podem acontecer: eles podem reagir ou eles podem interagir. Uma reação química por definição requer que ligações químicas sejam quebradas e/ou formadas. As forças intramoleculares, responsáveis pelas ligações químicas, mantêm os átomos constituintes das moléculas unidos. A intensidade dessas ligações afeta as propriedades químicas das substâncias. Já nas interações intermoleculares as moléculas se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra quebra ou formação de novas ligações químicas. Estas forças são bem menos intensas. Este processo envolve uma quantidade de energia menor do que o anterior. Estas interações são chamadas de interações

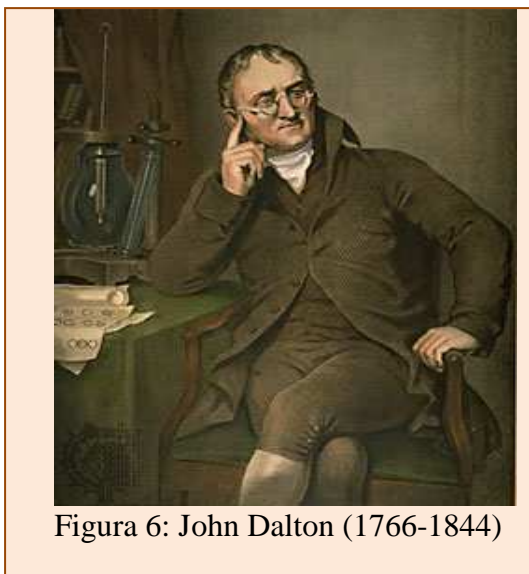


Figura 6: John Dalton (1766-1844)

intermoleculares e determinam as propriedades físicas das substâncias.

- Puxa! Eu sabia que as substâncias podiam reagir formando novas substâncias, mas dessa capacidade de moléculas, átomos ou íons interagir entre si, eu não tinha conhecimento!

- Eu entendo. É que você deve estar representando os átomos de acordo com a Teoria Atômica de Dalton. De acordo com esta teoria, as entidades que compõe a matéria são desprovidas de carga elétrica.

- É verdade que a teoria atômica de Dalton forneceu explicações para a lei da conservação da massa enunciada por Lavoisier? – questionou Lucas.

- Sim, não só para a lei de Lavoisier, mas também para as leis ponderais formalizadas no final do séc. XVIII. Estas leis somente puderam ser explicadas quando John Dalton (1766-1844) propôs a sua hipótese atômica.

- A sua hipótese atômica se desenvolveu e foi sendo transformada por uma série de novas idéias de outros pesquisadores, como a idéia de molécula, introduzida por Amedeo Avogadro de Quarenga (1776-1856), a de valência de Edward Frankland (1825-1899) e Fiedrich August Kekulé (1829-1896) entre outras proposições. Ao final deste esforço de várias gerações de químicos, foi

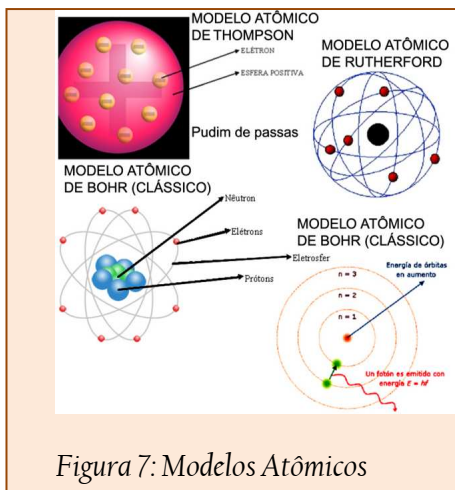


Figura 7: Modelos Atômicos

possível chegar a uma teoria atômico-molecular que ampliou e consolidou a hipótese inicial.

- Recordo-me das aulas de Química

em que o professor ensinou que Dalton postulou, dentre outras coisas, que a matéria era constituída por partículas minúsculas ou

átomos, parecidos com esferas maciças e indivisíveis que não poderiam ser criados nem destruídos. Já para os outros modelos atômicos idealizados, posteriormente, os átomos eram constituídos de núcleos e elétrons. Os núcleos com carga positiva, pois neles estão localizados os prótons; os elétrons distribuídos fora do núcleo têm carga negativa. – complementa Lucas rascunhando alguns modelos atômicos em uma folha de papel.

- Logo, em substâncias constituídas por dois ou mais átomos, a diversidade de forças atrativas e repulsivas entre os núcleos e elétrons é maior. Como os núcleos e elétrons têm cargas opostas, atraem-se mutuamente. Ao mesmo tempo, elétrons repelem elétrons e núcleos repelem núcleos. Ou seja, cargas de sinais diferentes se atraem e cargas de sinais iguais se repelem.

Assim, a pesquisadora explica ao rapaz que o fenômeno das interações intermoleculares surge devido às forças de natureza elétrica, existentes entre as moléculas. Estas interações eletrostáticas promovem um comportamento

molecular, que gera um momento de dipolo, representado pela letra grega μ (leia-se mi) que varia de acordo com a distância e o produto das cargas que interagem. Nos gases, por exemplo, as moléculas passam a maior parte do tempo, tão afastadas que as forças entre elas são quase desprezíveis. No entanto, nos líquidos e sólidos, esta distância é bem menor e as forças entre as moléculas são bem maiores. A composição química e a estrutura tridimensional também exercem grande influência sobre as forças intermoleculares, relacionando-se intimamente com as propriedades físicas dos sistemas químicos.

- Lembra-se de quando determinamos a temperatura de fusão da nossa amostra? Pois é, a temperatura de fusão é a temperatura na qual a amostra passa do estado sólido para o estado líquido. Para que este fenômeno ocorra é necessário que o sistema absorva energia. E assim, cada um desses processos irá variar de acordo com a magnitude das interações intermoleculares. À medida que a magnitude destas forças aumenta, fica mais difícil rompê-las e, conseqüentemente maiores serão os valores de temperatura de fusão e de ebulição.

Voltando à amostra desconhecida, Andréia e Lucas aplicaram esses conceitos apresentados para caracterizá-la por meio de outro método cromatográfico de simples realização, já que a utilização da Cromatografia Líquida para separar os componentes da amostra requer várias horas de trabalho, principalmente porque se desconhece a natureza do material. Tal método cromatográfico denominado de Cromatografia de Camada Delgada (CCD) é um método mais rápido e de baixo custo. A CCD (texto anexo) pode fornecer informações relevantes a respeito das estruturas das moléculas que compõem as substâncias, tais como, a presença de grupos funcionais polares, capacidade de formar ligações hidrogênio, entre outras. Por meio da CCD, e por observação da placa revelada, descobriram que a amostra desconhecida era formada por três substâncias, as quais foram denominadas *A*, *B* e *C*. Esta separação dos componentes da amostra baseia-se no deslocamento diferenciado das substâncias devido às interações com a fase

A cromatografia em camada delgada, CCD, é uma técnica de adsorção líquido-sólido. A separação se dá pela diferença de afinidade dos componentes da mistura. A técnica consiste em aplicar, uma pequena quantidade de amostra em solução em um dos cantos inferiores de uma placa, devidamente preparada. Coloca-se a placa dentro de uma câmara ou cuba, com tampa, contendo o solvente (eluente ou móvel) em um volume tal que o seu nível fique abaixo do ponto de aplicação da amostra. O solvente começa a avançar em sentido ascendente, provocando uma migração diferenciada dos componentes da amostra, dependendo do grau de adsorção das moléculas de cada composto diretamente no suporte e de suas afinidades pela fase móvel. O resultado é uma série de manchas distribuídas verticalmente na placa.

móvel (solvente) e estacionária (sílica). As fases estacionárias mais usadas em CCD são polares, e por isso, a fase móvel não deve ser constituída de solventes pouco polares, que não removeriam as substâncias do ponto de aplicação, nem solventes muito polares, capazes de arrastar os componentes da amostra até o topo da placa. Em vista disso, melhores resultados são obtidos com misturas de solventes, de modo a se obter uma polaridade média em relação à polaridade dos componentes da amostra.

Cabe lembrar que a amostra em questão apresentava-se incolor, mas substâncias incolores podem ser reveladas aplicando-se reagentes apropriados sobre a placa. Estes reagem ou interagem com as substâncias, tornando-as coloridas, como exemplificadas na Figura 8.

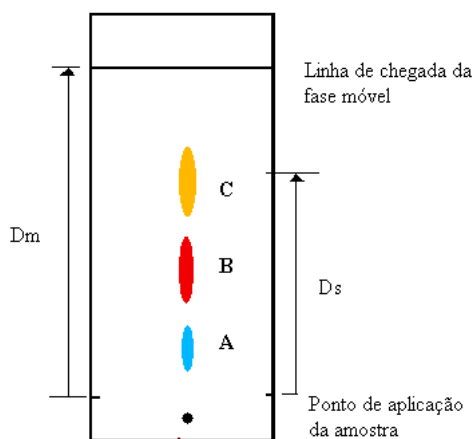


Figura 8: Esquematização da cromatografia em camada delgada (CCD) das amostras A, B e C. O fator de retenção (R_f) é a razão entre a distância percorrida pela substância C em questão, (D_s) e a distância percorrida pela fase móvel (D_m). As cores apresentadas na figura foram obtidas após a revelação com vapores de iodo, I_2 . A disposição apresentada na placa foi observada ao usar uma mistura de dois solventes de diferente polaridade.

Como se pode observar, a amostra é constituída de substâncias que possuem diferentes Fatores de Retenção (R_f). Isto se deve ao fato dessas substâncias contidas na amostra desconhecida interagirem de forma distinta com a fase estacionária. As substâncias em questão foram denominadas em *A*, *B* e *C* de acordo com a ordem crescente de Fator de Retenção (R_f). Substâncias mais polares, que interagem mais intensamente com a fase estacionária, são mais adsorvidas e menos carregadas pela fase móvel, apresentando menores R_f . Já as substâncias menos polares ou apolares, são menos retidas pela fase estacionária por interagirem menos com ela, e, assim, são mais facilmente carregadas pela fase móvel.

- Então, pelo que entendi a substância *A* é a mais polar, seguida da *B*, e a menos polar é a *C*?

- Sim, é o que se afirma, neste caso, por meio da CCD.

- Bom, já descobrimos que a nossa amostra desconhecida é composta de três substâncias. Mas, que substâncias são estas? Como podemos separá-las? Nossa! Estou me sentindo um verdadeiro detetive!

- É isso mesmo! Os químicos e os detetives têm muitas coisas em comum. Ambos estão em busca de identificar alguma coisa. Procurando pistas, levantando hipóteses e deduções até encontrar soluções para os problemas enfrentados. A diferença é que o detetive trabalha com pessoas e situações,

enquanto o químico trabalha com substâncias. E assim como o detetive deve conhecer o comportamento das pessoas, o químico necessita conhecer o comportamento das substâncias que são caracterizadas por meio de suas propriedades físicas e químicas. Uma das muitas atribuições dos químicos é a de separar diversas substâncias uma das outras e em seguida identificá-las. Vale lembrar que em certos casos os trabalhos de químico e detetive se fundem e têm-se os peritos criminalistas¹⁷. Há também as propriedades espectroscópicas, que se relacionam com a absorção e emissão de radiações eletromagnéticas. Lembra-se das radiações ultravioleta, infravermelho e radiofrequências que compõem o espectro eletromagnético?

- Sim, eu me lembro.

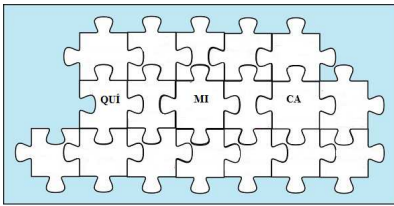
- Pois é. Ainda existe a técnica de espectrometria de massa que como o nome diz envolve a determinação peso ou massa molecular e a fórmula estrutural. Os livros que descrevem estas técnicas que eu citei as definem também como técnicas espectrométricas. As análises químicas feitas com essas técnicas que identificam as substâncias, por meio de suas características estruturais, fazem parte das atividades de rotina de todos os químicos. E é isso o que nós iremos fazer após a realização das análises para avaliar as propriedades

¹⁷ Os peritos criminalistas, neste sentido, atuam como químicos forenses.

químicas da amostra desconhecida.

- Eu nunca imaginei que o trabalho de um químico fosse tão importante e interessante!

- Que bom, filho, que você está aprendendo a valorizar o trabalho do químico! Vamos agora identificar as substâncias que compõem o suposto suplemento alimentar em questão, separando-as de acordo com suas propriedades químicas e, em seguida, partiremos para a análise espectral. Para isso, necessitamos realizar uma *Análise Orgânica Sistemática*.



II – O QUEBRA-CABEÇA DA QUÍMICA...

- O que é análise orgânica sistemática?
- É uma seqüência de procedimentos que permite analisar, de forma mais eficiente, uma amostra constituída por substâncias orgânicas. Quando um químico tem em mãos uma amostra desconhecida e necessita saber de que ela é formada, não se pode basear somente na literatura disponível e usar as informações existentes para comparar com as propriedades da amostra. É indispensável seguir um método sistemático. Esta é uma característica das ciências experimentais. Este método deve, inicialmente, fornecer informações que permitam excluir tantas possibilidades estruturais quantas sejam possíveis; depois reduzir o número de estruturas possíveis a apenas algumas possibilidades; para finalmente, estabelecer e confirmar a estrutura.
- Isso me lembra a situação de quando a gente tem um molho de chaves e não sabe qual abre a fechadura e fica testando até encontrar a chave certa.
- Se você tiver um método, poderá ser muito eficiente e rápido para

encontrar a chave certa. A marcha analítica é um processo que envolve tentativas, hipóteses e levantamento de suposições. No entanto, é necessário ter a consciência de que o estudo da separação por métodos analíticos, cujas técnicas foram intensamente desenvolvidas nas últimas décadas, exige dos químicos o conhecimento para escolher dentre as técnicas disponíveis, as mais adequadas. Esta metodologia de análise foi criada para minimizar os possíveis erros, diminuir o uso de equipamentos sofisticados e gastos com materiais e, conseqüentemente, reduzir a produção de resíduos que poluem o ambiente.

- Qual o primeiro passo para se fazer esta análise?

- O primeiro passo já foi dado. Quando testamos a solubilidade da amostra em água, verificamos que ela é insolúvel neste solvente. Agora, faremos testes de solubilidade em soluções diluídas de ácidos e bases, a fim de diferenciar o caráter ácido ou básico de componentes da amostra desconhecida. Esta prática também fornece informações valiosas sobre a composição estrutural destes componentes da amostra. O aumento da solubilidade indica a existência de grupo funcional ácido ou básico. Se alguma das substâncias contidas na amostra desconhecida se solubilizar melhor em uma solução ácida aquosa ou básica aquosa do que na água, teremos um ensaio positivo para a existência de um grupo funcional básico ou ácido, respectivamente. Então, para dar continuidade à análise, vamos solubilizar uma porção da amostra em um

A maior parte dos compostos solúveis em ácido clorídrico diluído é considerada bases. Assim, a maior parte das aminas alifáticas (primárias, secundárias e terciárias) e aromáticas primárias formam sais (compostos polares, solúveis em água) com ácido clorídrico diluído.

solvente orgânico disponível no laboratório, no caso o éter etílico, que não é solúvel em água. Em seguida, acrescentaremos um pouco de ácido clorídrico (HCl) diluído em água.

- O HCl dissolvido irá reagir com a substância contida na amostra que for básica, não é mesmo? Eu já estudei isso! Os ácidos reagem com as

bases para formarem os sais. Estas reações são chamadas de reação de neutralização!

- Isso mesmo, extrai-se da amostra a substância básica, por meio de uma reação ácido-base, formando um sal, que fica dissolvido na fase aquosa.

- Olha! Que interessante! Dissolvemos a nossa amostra que é composta de três substâncias desconhecidas em um solvente orgânico e obtivemos uma mistura homogênea. Em seguida, acrescentamos o ácido clorídrico diluído. Este reagiu com a substância básica contida na amostra. Com este procedimento, obtivemos uma mistura heterogênea com duas fases: uma contendo as substâncias que não reagiram com o ácido diluído, dissolvidas em éter etílico, e a outra contendo o sal, formado a partir da substância básica, dissolvido em água. – concluiu Lucas.

- Em seguida, trataremos a fase aquosa, que contém o sal formado,

com uma base forte, que ao voltar à sua estrutura original ficará insolúvel em água novamente.

- O que será feito com o composto orgânico, o líquido menos denso, que se separou?

- Posteriormente, iremos purificá-lo.

- A senhora já tem idéia da identidade desta substância?

- Sim. Pode-se dizer que esta substância é uma amina alifática com oito ou mais carbonos ou uma amina aromática¹⁸.

- É possível relacionar este resultado com as informações que foram obtidas na Cromatografia de Camada Delgada?

- Sim, mas somente como suposição. Conforme indica a literatura, substâncias solúveis em HCl diluído possuem em suas moléculas, na sua maioria, pelo menos um átomo de nitrogênio básico. Essas substâncias, ao reagirem com o ácido em questão, formam sais solúveis em água. A presença de átomo de nitrogênio, também confere à molécula um caráter polar. Então, pela disposição das substâncias na placa de CCD, acredito que esta substância por ser polar, seja *A* ou *B*. Mas, só teremos certeza de sua identidade ao final da

¹⁸ SHRINER, R. L. et al. **Identificação sistemática de compostos orgânicos**. Traduzido por: Horácio Macedo. 6 ed. Rio de Janeiro-RJ: Editora Guanabara Dois S.A. 1983 original: The Systematic Identification of organic Compounds, p.76.

análise.

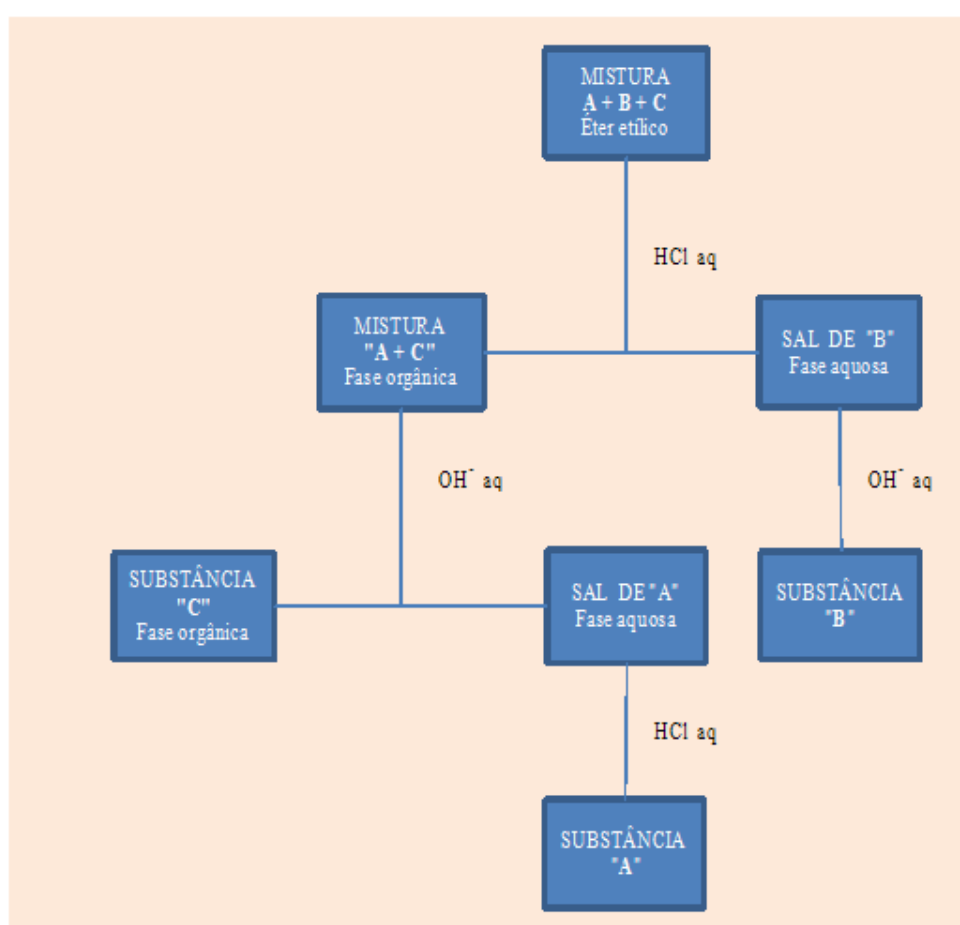
Em seguida, a parte orgânica dissolvida em éter etílico, decantada na primeira etapa do procedimento, foi tratada com uma solução aquosa de hidróxido de sódio, a fim de se determinar a presença de ácidos na mistura. Mais uma vez, a fase aquosa e a fase orgânica (etérea) foram separadas. Neste caso, houve, na fase aquosa, a formação de um sal solúvel demonstrada posteriormente pela sua precipitação com a adição de uma solução de HCl aquoso. A separação do composto sólido, insolúvel em água, ocorreu através da filtração sob vácuo ou pressão reduzida.

Da fase orgânica (etérea) restante, após a evaporação do éter etílico, obteve-se uma substância sólida que não apresentou reatividade com as soluções de ácido e base mencionadas.

- Estamos quase montando o “quebra-cabeça”, não é mesmo? – falou o jovem entusiasmado.

- Ainda falta muito para sabermos quais são as substâncias. No entanto, já posso inferir dizendo que uma das substâncias, pelas propriedades químicas apresentadas, pode ser um ácido orgânico (possivelmente um ácido carboxílico com mais de seis átomos de carbono), pois se solubilizou em solução de hidróxido de sódio que é uma base. Em relação à placa de CCD, ilustrada na *Figura 8*, acredito que esta seja a substância *A*, pois foi a que apresentou o menor

R_f , portanto a mais polar, devido às fortes interações intermoleculares apresentadas por sua estrutura. A substância *B*, também apresenta interações intermoleculares demonstradas pelo R_f , é uma base, pois se solubilizou em ácido. E a substância *C* é um verdadeiro mistério, pois apresenta funcionalidades que não reagem com bases ou ácidos. No Fluxograma 1, estão sistematizados os procedimentos acima descritos.



Fluxograma 1: Fluxograma contendo os procedimentos realizados na análise qualitativa da amostra desconhecida. As substâncias isoladas foram denominadas de *A*, *B* e *C*.

- E agora? – Questiona o rapaz e complementa – verificamos, em primeiro lugar, macroscopicamente, que a nossa amostra era um sólido

A recristalização é um dos métodos mais utilizados para purificar sólidos. Consiste em se dissolver totalmente o sólido no dissolvente quente, em geral em temperatura próxima à da ebulição. A seguir a mistura ainda quente deve ser filtrada por gravidade, para separar as impurezas insolúveis. Com o resfriamento, que pode ser feito à temperatura ambiente, e em seguida em banho de gelo a substância recristaliza-se. A separação dos cristais é feita por filtração a vácuo, e finalmente realiza-se a secagem.

homogêneo. No entanto, por meio da CCD, descobrimos que ela é formada por três substâncias as quais denominamos de *A*, *B* e *C*. Depois, iniciamos a análise orgânica sistemática e conseguimos separar as três substâncias. Acredito que tenhamos que purificá-las para identificá-las!

- Muito bem! Todas as substâncias isoladas, quimicamente, normalmente são impuras e deverão ser purificadas por recristalização (sólidos) ou por destilação (líquidos). A fim de se obter o grau de pureza das substâncias isoladas da amostra

desconhecida e caracterizá-las, será necessário determinar as temperaturas de

A destilação fracionada é o principal método para purificar líquidos constituídos da mistura de componentes com diferentes temperaturas de ebulição.

fusão das substâncias *A*, e *C*, visto que à temperatura ambiente, apresentam-se como sólidos. Como, a substância *B*, apresentou-se na forma líquida à temperatura ambiente, será necessária a

determinação de sua temperatura de ebulição. Os dados experimentais para as substâncias *A*, *B* e *C* são mostrados na tabela 1.

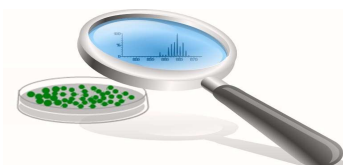
Substância	Estado Físico	Método de purificação	Temperatura de Fusão/Ebulição (°C)(1 atm)
A	Sólido	Recristalização Etanol/água	t.f. 135
B	Líquido	Destilação fracionada	t.e. (200-203)
C	Sólido	Recristalização	t.f. (151,1-152,5)

Tabela 1: Determinação das Temperaturas de Fusão (tf) das substâncias A e C e Temperatura de Ebulição (t.e.) da substância B Reproduzido de: The Merck Index na Encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals, 1983.

- Fizemos a purificação e determinamos o grau de pureza. Qual será o próximo passo para finalmente determinarmos as fórmulas moleculares ou massas moleculares e as estruturas moleculares das substâncias que constituem a nossa amostra? – questionou o rapaz.

- O nosso próximo passo será ir para casa. Amanhã iniciaremos as análises espectrais.

IV - ANÁLISE ESPECTRAL: EM BUSCA DO INVISÍVEL.



No dia seguinte, Andréia e o seu filho retornaram ao laboratório e reiniciaram as atividades.

- Hoje iniciaremos os nossos estudos realizando a análise de espectrometria de massa de nossas amostras.

- O que é mesmo a espectrometria de massa?

- A espectrometria de massa (EM) é uma das ferramentas analíticas mais utilizadas na atualidade. Ela nos fornece informações sobre a massa molecular, fórmula molecular e várias fragmentações que possibilitam a elucidação estrutural das moléculas que constituem as substâncias.

- Que interessante! Qual é o aparelho que faz isto?

- É o espectrômetro de massa que fornece um espectro com as informações acima mencionadas.

- Um espectro de massas?

- Isto mesmo! Mas, tal espectro não está relacionado à radiação eletromagnética, e sim, a um espectro ou gráfico, de distribuição das massas dos íons positivos formados pela quebra das moléculas após serem bombardeadas

com feixes de elétrons, ou seja, consiste em uma técnica destrutiva. Na espectrometria de massa, por bombardeio ou impacto de elétrons (IE), os íons quando detectados, são registrados na forma de picos correspondentes à relação massa-carga (m/z) da molécula e de seus fragmentos.

Um exemplo de espectro de massa da substância metanol (CH_3OH) é ilustrado na Figura 9, para exemplificar melhor a referida técnica.

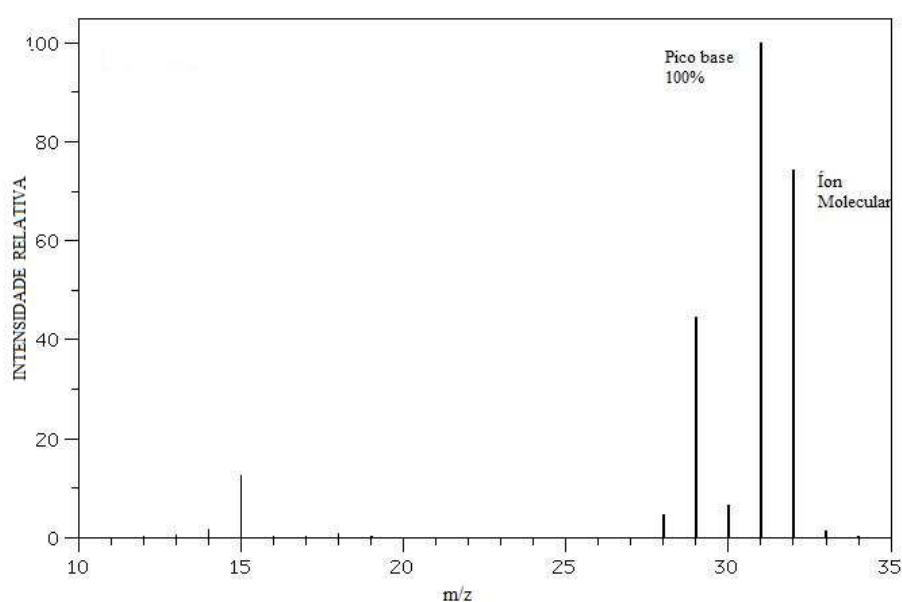
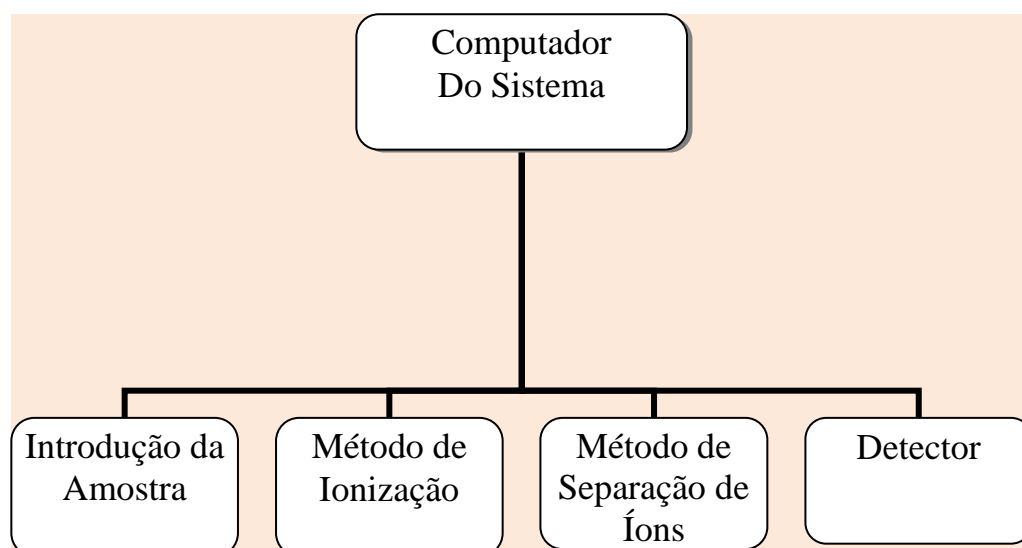


Figura 9: Espectro de massas por impacto de elétrons (IE) do metanol. As linhas verticais correspondem aos picos correspondentes à relação massa-carga (m/z) da molécula e de seus fragmentos.

- Parece complicado – retrucou o rapaz.
- Eu diria que a técnica de espectrometria de massa é relativamente simples. Deixe eu te explicar um pouco como ela surgiu e como ela funciona. Em 1912, J. J. Thompson (1856-1940) demonstrou que era possível separar substâncias na fase gasosa por meio de diferenças de massa (m) e carga (z) de

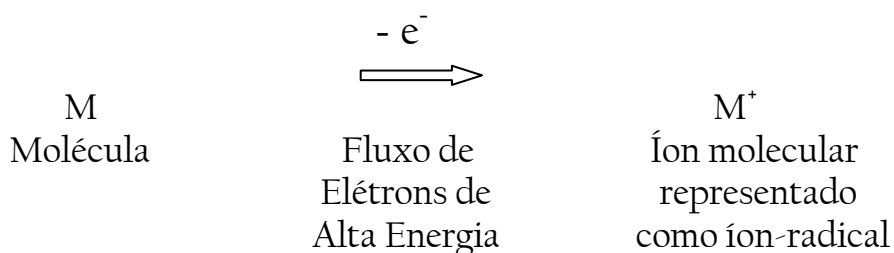
suas moléculas, que é o princípio de funcionamento dos espectrômetros de massa. Atualmente, todos os espectrômetros de massas têm métodos de ionização da amostra e separação dos íons com base na relação m/z . Nestes instrumentos, a amostra é ionizada e, conseqüentemente, os íons formados são separados, detectados e quantificados. Praticamente todos os espectrômetros de massas modernos são ligados a um computador que controla a operação do instrumento, recolhe e guarda os dados obtidos, além de fornecer os resultados (espectros) na forma de gráficos ou tabelas. Um espectrômetro de massa pode ser apresentado como o fluxograma 2, embora, vale ressaltar que existem vários equipamentos de custos elevados com métodos de ionização da amostra e vários métodos de separação dos íons. Por isso não iremos ver todos.



Fluxograma 2: Esquema de um espectrômetro de massa típico. Reproduzido de: SILVERSTEIN, R. M; WEBSTER, F. X; KIEMLE, D. J. *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*, 2006.

- Quais são os mais utilizados?
- Com relação aos métodos de ionização, o método do impacto de elétrons (EI), apresentado anteriormente, é a técnica mais utilizada para caracterizar substâncias orgânicas. No que se refere aos métodos de separação dos íons, os mais importantes analisadores de massa são: os espectrômetros de massa com setores magnéticos e espectrômetro de massas de quadrupolo – complementa a pesquisadora.

- Como funcionam estes instrumentos?
- Bom, para ambos os equipamentos, uma pequena amostra introduzida no espectrômetro de massas do tipo impacto de elétrons é bombardeada por um feixe de elétrons de alta energia (geralmente 70 eV) e é acelerada. Quando um fluxo de elétrons de alta energia atinge uma molécula orgânica na fase gás, ele remove um dos elétrons de valência, produzindo um íon positivo denominado de íon molecular ou íon-radical. O bombardeio de elétrons transfere uma quantidade tão grande de energia às moléculas que estas se fragmentam após a sua formação. Os fragmentos se quebram em outros menores, alguns dos quais são positivos e outros, eletricamente neutros.



E continua Andréia...

- No caso do analisador de massas por setor magnético, os fragmentos percorrem, então, um túnel curvo sob forte campo magnético que afeta suas trajetórias de acordo com suas razões de massa-carga (m/z), ilustrado na Figura 10. Os fragmentos neutros não são afetados pelo campo magnético e perdem-se na parede do túnel. Os fragmentos positivos são separados pelo espectrômetro de massas sobre um detector, que os grava como picos nas várias razões m/z . Como normalmente o número de cargas z em cada íon é 1, o valor de m/z é simplesmente a massa m de cada íon. No entanto, se alguns dos íons moleculares formados permanecerem intactos durante um tempo suficientemente longo, sem se fragmentar, alcançando o detector, observa-se, no espectro emitido, um pico correspondente ao íon molecular. A identificação do pico do íon molecular é importante, pois ele fornece a massa molecular da substância em estudo.

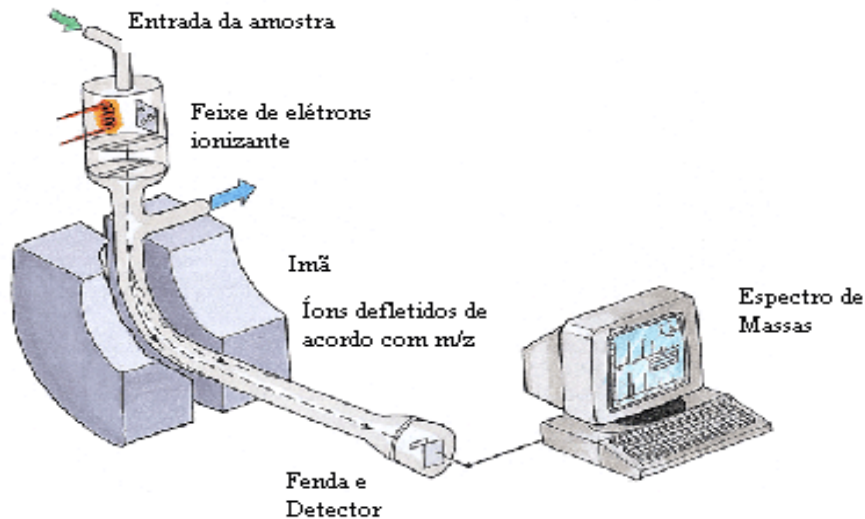


Figura 10: Representação esquemática de um espectrômetro de massas de ionização por impacto de elétrons (EI) com analisador por setor magnético

- E no caso do espectrômetro de massas de quadrupolo?
- Observe a Figura 11 e preste atenção! Um arranjo de quadrupolo é formado por quatro tubos cilíndricos paralelos, dois positivos e dois negativos de comprimento que varia de 100 a 200 mm, montado segundo os vértices de um quadrado. A voltagem aplicada afeta a trajetória de íons que viajam pelo trajeto centralizado entre os quatro tubos. Para uma dada condição de corrente e voltagem, somente íons com uma dada razão massa/carga seguem o trajeto entre os tubos e todos os outros são desviados para fora do quadrupolo.
- O quadrupolo funciona como um filtro, não é mesmo?
- Isto mesmo! Um filtro de massas ajustável. Embora todos os íons entrem por uma extremidade somente os íons com um valor determinado de m/z passam através do filtro e são detectados.

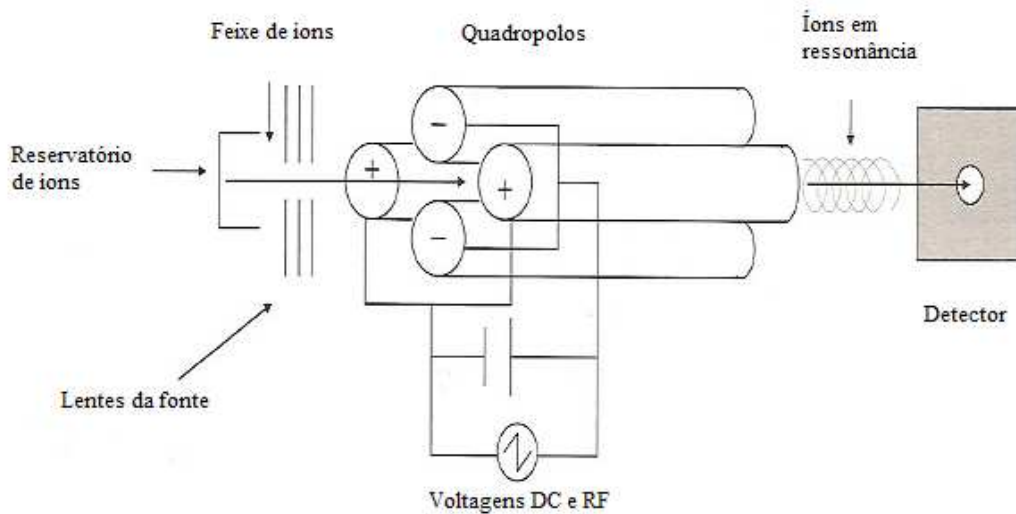


Figura II: Esquema do “filtro de massas” com quadropolos ou separação de íons.

- Qual a diferença entre estes dois tipos de analisadores e qual a gente vai utilizar para realizar as nossas análises?
- Bom, o analisador por setor magnético, principalmente o de focalização dupla, possui uma alta resolução, consegue detectar uma faixa de massas (m/z) que varia de 1 – 15000, cujos valores apresentam quatro casas decimais. Essa resolução muito alta permite a medida de massas com valores correspondentes ao real, ou seja, identifica fórmulas moleculares sem erros, porém o seu custo é bastante alto. Infelizmente, nós não dispomos deste instrumento aqui na universidade. Já o de quadropolo é de fácil manuseio, possui uma boa sensibilidade e é de baixo custo. Porém a faixa de massas (1-5000) e a resolução são baixas, sem valores decimais. Este é o instrumento que temos aqui na universidade e vamos utilizá-lo.

Neste momento, Andréia e Lucas iniciaram a análise da substância, que foi chamada de *A*, no espectrômetro de massas de Impacto de elétrons e obtiveram o seguinte espectro de massas:

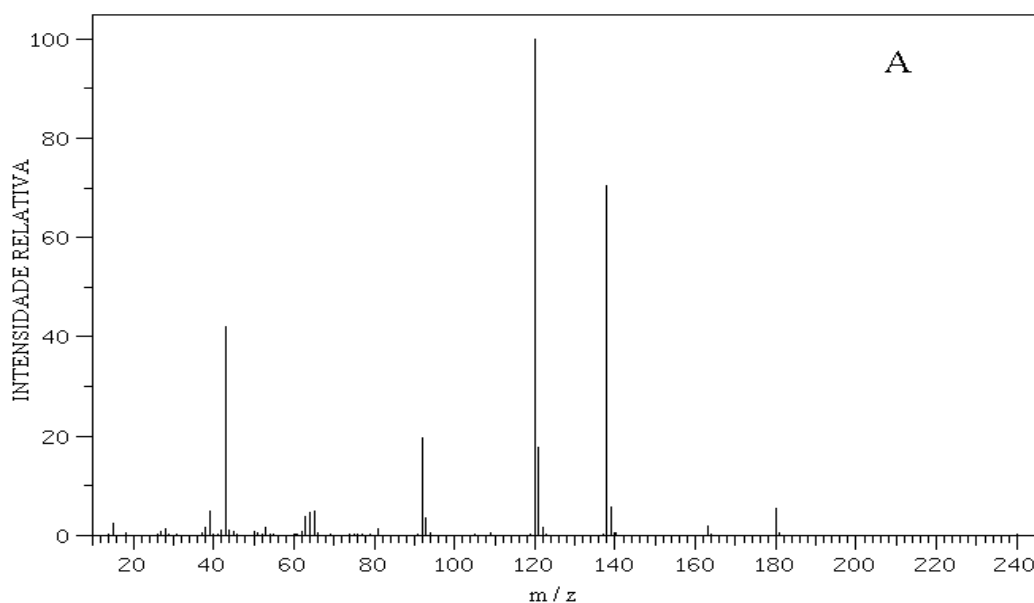


Figura 12: Espectro de massas da substância A.

- Observe este espectro de massas, filho! Ele está representado na forma de gráfico de barras com massas (valores de m/z) sobre o eixo x e a intensidade relativa (número de íons de um dado m/z que atinge o detector) sobre o eixo y . Juntos, a massa e a abundância de cada íon podem oferecer uma grande ferramenta para elucidar as estruturas de moléculas.

- Então, analisando o nosso espectro, os valores apresentados no eixo x são os valores das massas dos íons formados e no eixo y a intensidade desses íons.

- Correto! Qual é o pico que corresponde ao do íon molecular da substância *A*? Pergunta Andréia a Lucas.

- A senhora me disse que o equipamento informa sobre o pico do íon molecular que corresponde à massa molecular da substância, conforme está me mostrando agora. Neste caso, eu penso que o da substância *A* deve ser a relação m/z igual a 180.

- Está certo, Lucas!

- Mas, eu ainda tenho dúvidas... Como podemos interpretar as informações recolhidas pelo espectro de massas de uma substância? – Perguntou o rapaz, confuso.

- Bom, primeiramente atribui-se arbitrariamente a intensidade de 100% ao pico mais intenso do espectro de massas, chamado de pico base com relação ao eixo y . As intensidades de todos os outros picos são dadas em valores proporcionais, como frações percentuais deste pico. Vale ressaltar que o pico base, não necessariamente, representa o pico do íon molecular. Quando o íon molecular se fragmenta rápido, outro íon com valor menor m/z poderá gerar um pico mais intenso e ainda, em alguns casos, o pico do íon molecular é tão pequeno que se torna imperceptível. Quando isto ocorre, métodos alternativos de ionização branda, no lugar de bombardeio de elétrons, podem ser utilizados evitando a fragmentação.

- Então, no espectro da substância *A* que nós obtivemos, o pico base da substância está em m/z 120 e o pico do íon molecular está em m/z 180. Isto significa que a massa molecular da substância *A* é de 180. - conclui o rapaz. - Como podemos, por meio dos dados obtidos no espectro, determinarmos as fórmulas moleculares das substâncias, já que o espectrômetro de massa não fornece essas informações?

- Comumente, pode-se observar, no espectro de massas, picos além do pico molecular chamados de $M^+ + 1$ e de $M^+ + 2$. Ele ocorre nos espectros porque muitos elementos possuem mais de um isótopo de ocorrência natural, de acordo com a tabela a seguir.

Elemento	Isótopo Mais Comum		Abundância Natural de Outros Isótopos (Baseado nos 100 Átomos dos Isótopos Mais Comuns)			
Carbono	^{12}C	100	^{13}C	1,11		
Hidrogênio	^1H	100	^2H	0,016		
Nitrogênio	^{14}N	100	^{15}N	0,38		
Oxigênio	^{16}O	100	^{17}O	0,04	^{18}O	0,20
Flúor	^{19}F	100				
Silício	^{28}Si	100	^{29}Si	5,10	^{30}Si	3,35
Fósforo	^{31}P	100				
Enxofre	^{32}S	100	^{33}S	0,78	^{34}S	4,40
Cloro	^{35}Cl	100	^{37}Cl	32,5		
Bromo	^{79}Br	100	^{81}Br	98,0		
Iodo	^{127}I	100				

Tabela 2: Principais Isótopos Estáveis de Elementos Comuns.

- Eu não compreendi esta tabela. A senhora poderia me explicar melhor? –perguntou o rapaz com expressão de dúvida.

- Claro, filho! Olhe para a Tabela 2, por um momento. Note que o isótopo mais comum do carbono é o ^{12}C . Os dados da tabela estão nos informando para cada 100 átomos desse isótopo mais comum de carbono, 1,11 átomos, em média, serão do carbono-13. É bom recordar que a determinação das massas dos elementos químicos que se baseiam na massa de carbono-12, foi

realizada em espectrômetro de massa. Seria interessante comprovar os valores tabelados para os elementos químicos na Classificação Periódica, para compreender que os valores decimais que apresentam são devidos aos respectivos isótopos naturais.

- Então, no caso do hidrogênio, o seu isótopo mais comum é o ^1H e de cada 100 destes átomos, e cerca de 0,016 são de H^2 ou D (deutério) - complementou o rapaz.

- Exatamente! - confirma Andréia e prossegue:

- Estudos revelam que o pico $M^+ + 1$, referenciado em percentagem ao M^+ , corresponde aos isótopos mais pesados dos elementos - carbono, hidrogênio e oxigênio - por possuírem uma unidade de massa maior do que o isótopo mais comum. E para quatro dos elementos - oxigênio, enxofre, cloro e bromo - o isótopo mais pesado está duas unidades de massa acima do isótopo mais comum ($M^+ + 2$), conforme está disposto na tabela 2, também é referenciado em percentagem ao M^+ . Resumidamente, algumas informações adicionais podem também nos auxiliar nas análises para determinar a fórmula molecular desta substância desconhecida.

- Que tipos de informações? - impacientemente pergunta Lucas.

- Calma! Eu vou enumerá-las:

I. M^+ é ímpar ou par? De acordo com a regra do nitrogênio, se for par, então o composto deve conter um número par de átomos de nitrogênio (zero é considerado um número par);

II. A abundância relativa do pico $M^+ + 1$ indica o número provável de átomos carbono da molécula, isto é, o número de átomos de C = abundância relativa/1,11;

III. É importante a análise do pico $M^+ + 2$, pois a sua abundância relativa indica a presença (ou ausência) de S (4,4%), Cl (33%) ou Br (98%) (ver tabela 2).

- Nossa! Isto é muito complicado. – diz Lucas.

- Atualmente é mais fácil! Os equipamentos modernos nos fornecem todas essas informações, mas para entendê-las corretamente e usá-las é necessário ter conhecimento sobre a técnica, conforme te ensinei. No caso, a substância *A*, por exemplo, foi caracterizada por essa técnica contendo o íon molecular ou massa molecular igual a 180 e o pico base como o íon mais predominante com $m/z = 120$. Isto é, houve perda de um fragmento $m/z = 60$ ($180 - 120 = 60$) que no banco de dados é registrado como a perda de ácido acético.

- Como é mesmo a fórmula molecular do ácido acético? – pergunta Lucas fazendo um rascunho em uma folha de papel.

- É $C_2H_4O_2$.

- Isto significa que o ácido acético, no nosso caso, é um fragmento da substância *A* cuja relação $m/z = 60$. E as amostras *B* e *C*? Elas serão identificadas?

- Nas condições experimentais que dispomos aqui no laboratório, conseguimos também o espectro de massa para a amostra *B*, mas infelizmente a amostra *C*, está ainda com muitas impurezas, talvez devido à extração com éter etílico, e por isso, vamos analisá-la posteriormente. A amostra *B*, espectro de massa ilustrado na Figura 13, teve o íon molecular ou massa molecular igual a 135 e o pico base como o íon mais predominante com $m/z = 44$, correspondente ao íon $C_2H_6N^+$. Observe que pelo espectro da Figura 13, não perceberíamos a massa molecular, daí a importância do banco de dados que está no equipamento para nos fornecer também a fórmula molecular $C_9H_{13}N$. Uma informação importante nesta análise está na massa molecular com valor ímpar o que indica a presença de pelo menos um nitrogênio na estrutura.

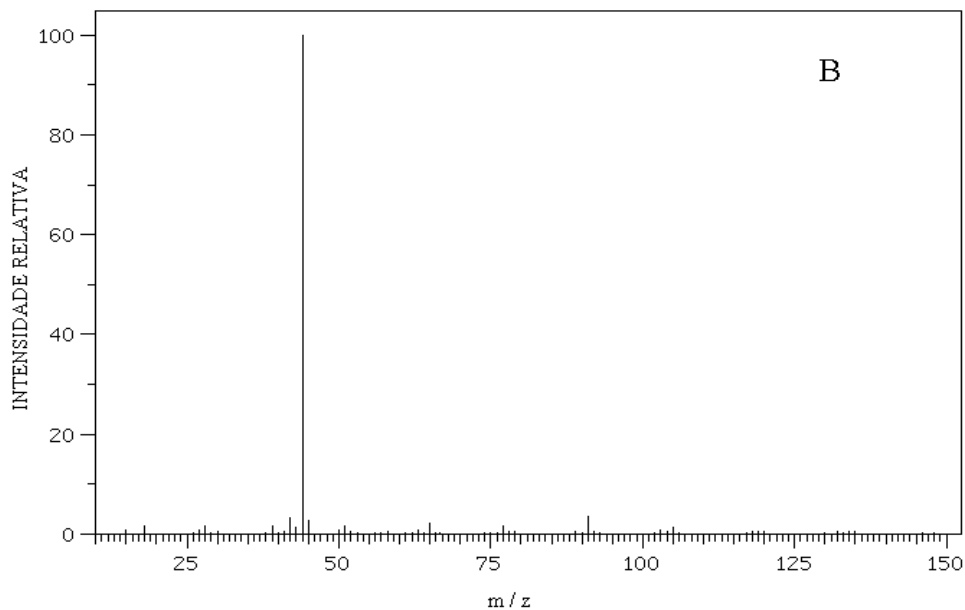


Figura 13: Espectro de massas da substância B.

Finalmente, a amostra *C*, que apresentou na análise impurezas, provavelmente, devido à extração em éter etílico, foi possível inferir sobre a sua massa e fórmula molecular pela fragmentação que se destacou como pico base m/z 98 (C_5H_8NO) e m/z 142 ($C_6H_{10}N_2O_2$) associada à massa molecular da substância em estudo. Observe que em ambos os fragmentos têm nitrogênio, implicando que a massa molecular 142 e a fórmula molecular ($C_6H_{10}N_2O_2$) justificam os dois nitrogênios da molécula.

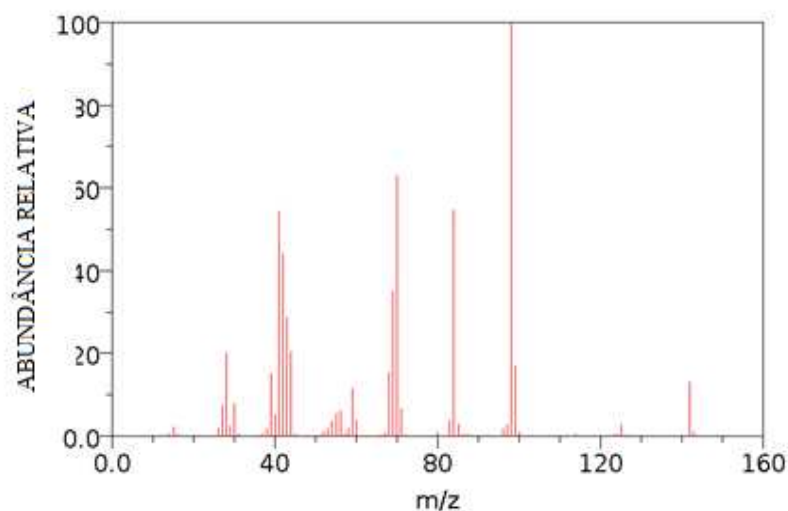


Figura 14: Espectro de massas da substância *C*.

- Até aqui, eu entendi. Mas, como descobriremos a fórmula estrutural das substâncias? – questiona o rapaz.
- Para descobrir a fórmula estrutural da substância precisamos realizar outras investigações e fazer alguns cálculos.
- Cálculos?
- Vamos calcular, primeiramente o IDH da substância *A* para exemplificar. E em seguida, realizaremos os mesmos procedimentos para as substâncias *B* e *C*.
- IDH? O que significa isto? – Questiona o rapaz.
- É o Índice de Deficiência de Hidrogênio. O IDH indica a ausência ou presença de insaturações, isto é, ligações duplas, triplas ou anéis na estrutura das moléculas.

- E como é que se faz o cálculo?

Este cálculo pode ser feito por mais de um método no qual se utiliza a seguinte expressão: $IDH = (C - M/2 + T/2) + 1$; C = número de átomos de carbono; M = número de átomos monovalentes e T = número de átomos trivalentes. Os átomos bivalentes (O e S) são desconsiderados. A fórmula molecular da substância A foi proposta pelo banco de dados do espectrômetro como $C_9H_8O_3$, indicando o $IDH = (9 - 8/2) + 1 = 6$ insaturações. Comparativamente, somente anéis aromáticos ou benzênicos podem apresentar um número de insaturações tão elevado, levando a pensar que a referida substância deva ter pelo menos um anel benzênico. Por esses cálculos podemos ter uma idéia mais clara sobre as estruturas das moléculas A, B e C, conforme mostrado na tabela 3.

SUBSTÂNCIA	FÓRMULA MOLECULAR	IDH	Nº DE INSATURACIONES	DADOS SOBRE A ESTRUTURA MOLECULAR
A	$C_9H_8O_3$	$(9 - 8/2) + 1$	6	Anel benzênico
B	$C_9H_{13}N$	$(9 - 13/2 + 1/2) + 1$	5	Anel benzênico
C	$C_6H_{10}N_2O_2$	$(6 - 10/2 + 2/2) + 1$	3	Duplas ou Triplas ligações

Tabela 3: Dados obtidos dos cálculos do IDH das substâncias A, B e C.

- E para mais detalhamento, vamos investigar com as técnicas

espectroscópicas, iniciando com Infravermelho para caracterizar melhor as funcionalidades presentes. – complementou Andréia.

- Nós já conversamos sobre a espectroscopia, a senhora me disse que a espectroscopia é a interação da radiação eletromagnética com a matéria.

- Sim, mas no nosso caso, verificaremos o efeito da radiação eletromagnética infravermelha que resulta em absorções das moléculas, na faixa de número de ondas 4000 a 400 cm^{-1} , denominadas como frequências vibracionais (ν) das funções orgânicas presentes.

- Como este tipo de radiação eletromagnética interage com as moléculas? – Questiona Lucas.

- A radiação infravermelha causa o aumento da amplitude de vibração das ligações covalentes entre átomos e grupos de átomos de substâncias orgânicas. Como os grupos funcionais das moléculas orgânicas possuem átomos ligados por arranjos específicos, a absorção de energia infravermelha (IV), por uma molécula orgânica, ocorrerá de acordo com os tipos de ligações entre os átomos presentes nos grupos funcionais específicos daquela molécula. Alguns tipos de vibrações ou frequências vibracionais (estiramento e deformação) permitidas são mostrados na figura deste livro:

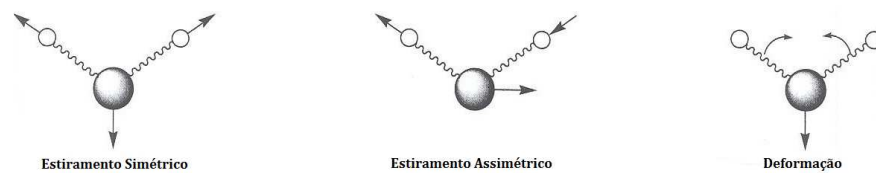


Figura 15: Modos de vibração das moléculas de água (estiramento e deformação).

- Nossa! As ligações covalentes parecem “molas” ligando os átomos. –

Comenta Lucas.

- “Molas”, que vibram constantemente, alongando-se e contraindo-se.

E quando absorve a radiação IV, a “mola” que liga os dois átomos alonga-se e comprime-se um pouco mais. – Explica Andréia fazendo gestos com os dedos – Como cada frequência absorvida pela molécula corresponde a um determinado movimento molecular, podemos inferir os tipos de movimentos de uma molécula analisando o seu espectro de IV. Interpretando, então, esses movimentos ou estes espectros, podemos descobrir os tipos de ligações (grupos funcionais da molécula). Mas não se esqueça que, como acontece muito na Química, essa é uma representação que auxilia o entendimento e não quer dizer que a ligação química é uma pequena mola.

- Parece ser simples.
- É simples, rápida e de baixo custo.
- Como é o funcionamento do espectrômetro de infravermelho?
- Ele opera passando o feixe de radiação IV através da amostra e

comparando a radiação que é transmitida pela amostra com um feixe de

referência. Qualquer frequência absorvida pela amostra será evidenciada pela diferença entre os feixes demonstrados na Figura 16. O espectrômetro, então, registra os resultados na forma de gráficos, mostrando a absorvância versus a frequência vibracional, denominação dada ao número de onda (cm^{-1}).

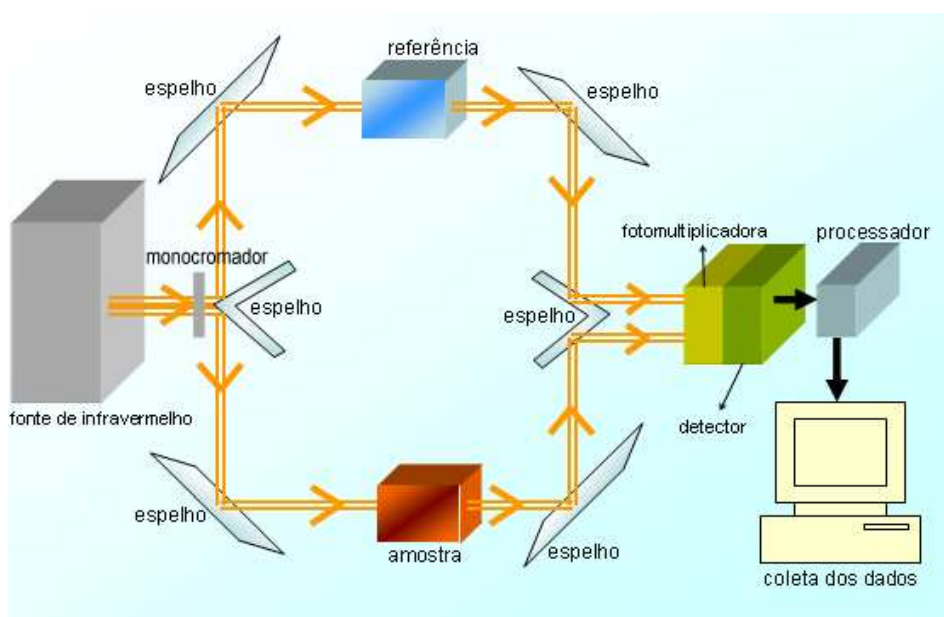


Figura 16: Diagrama de um espectrômetro de infravermelho.

- Imagino que o mais complicado seja interpretar os espectros de IV.
- deduz o rapaz.
- A interpretação completa de um espectro de IV é difícil porque a maioria das moléculas orgânicas tem muitas vibrações de estiramento e deformação diferentes apresentando muitos picos no espectro. A vantagem é que um espectro de IV serve como impressão digital característica de uma determinada substância. É improvável que duas substâncias diferentes

apresentem o mesmo espectro. Felizmente, não é necessária a interpretação completa do espectro de IV para obter as informações estruturais de interesse. A maioria dos grupos funcionais tem bandas de absorção de IV características que mudam muito pouco de uma substância para outra. Baseando-se nesta constância, há muitas publicações que resumem as informações no formato de esquemas e tabelas, os quais facilitam a interpretação dos espectros de IV, como mostra a figura abaixo:

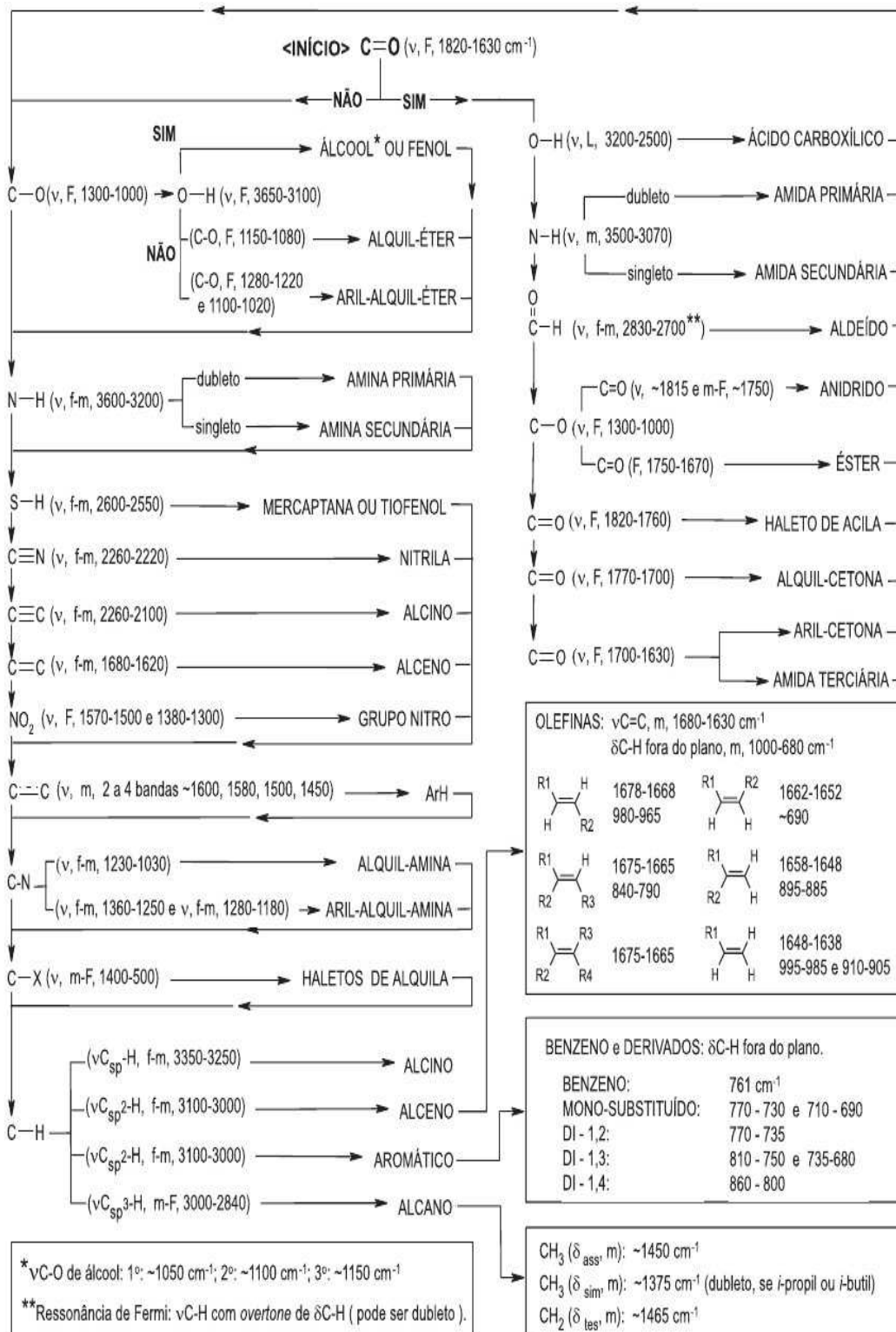


Figura 17: Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho.

- Vamos seguir o esquema da Figura 17 e interpretar o espectro das

substâncias *A*, *B* e *C*? – argumenta Lucas. – o que devemos fazer primeiro?

- Primeiramente, seguindo o esquema da Figura 17, observaremos a presença ou ausência de absorção devida ao grupamento *carbonila* ou *acila*. Se o espectro da substância apresentar absorção entre 1820 a 1630 cm^{-1} , relativa à frequência vibracional ($\nu_{\text{C=O}}$), seguir a seta à direita e identificar o grupo funcional responsável pela absorção (ácido carboxílico, amida, aldeído, anidrido, éster, haleto de acila, cetona, aril-cetona). Em seguida, ir para o lado esquerdo para identificar a presença ou ausência de outras funções orgânicas. Se não apresentar absorção entre 1820 a 1630 cm^{-1} , seguir as setas à esquerda, a fim de identificar as ligações ou grupos funcionais presentes ou ausentes na estrutura da molécula. Existindo uma dupla ligação ou anel aromático, caracterizar o padrão de substituição nos quadros específicos: olefinas ou benzeno e derivados. E por fim, verificar a presença de grupos CH_2 e CH_3 , no quadro dos alcanos. De posse de todos estes dados, baseados nos espectros de infravermelho, no Índice de Deficiência de Hidrogênio (IDH) e na fórmula molecular, identificar as principais frequências vibracionais, assinalar a função ou funções orgânicas e propor uma possível estrutura ou estruturas para as substâncias analisadas.

- Hum, hum! Muito complicado!

- Parece um pouco difícil devido a muitas informações dadas, mas

veja o espectro de IV da amostra *A*, na Figura 18.

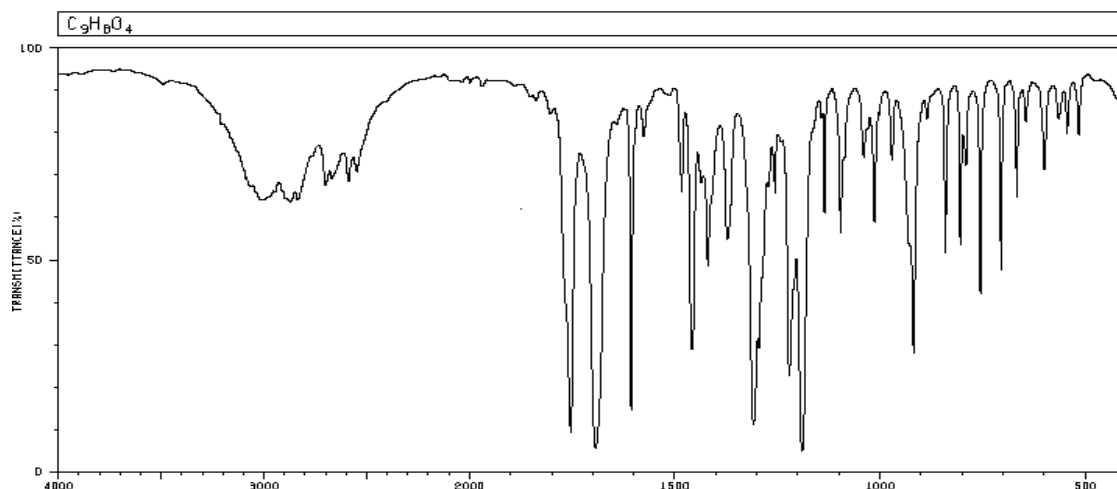


Figura 18. Espectro de IV da substância A.

- As absorções mais intensas são as que normalmente estão relacionadas com os grupos funcionais da amostra A acima. Seguindo o esquema da Figura 17, observamos que há fortes absorções em 1693 ($\nu_{C=O}$ de ácidos carboxílicos) e em 1754 cm^{-1} ($\nu_{C=O}$ de ésteres) e, conseqüentemente, essas informações nos leva às faixas 2600-2500 cm^{-1} (hidroxila de ácidos carboxílicos) e 1200-1000 cm^{-1} (ν_{C-O} de grupos acilas). Outras absorções importantes em ν_{C-O} 1606, 1483 e 1469 cm^{-1} , devido a $\nu_{C=C}$ justificam a presença de anel aromático definido pelo cálculo do IDH. Lembra desse cálculo? E mais ainda, considerando que os dois grupos funcionais (ácido carboxílico e éster) estejam presentes, justificamos a análise obtida por espectrometria de massa que nos deu a fórmula estrutural $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_3$. – Justifica Andréia.

Seguindo o mesmo raciocínio, Andréia e Lucas verificaram que os

dados espectroscópicos de infravermelho observados nos espectros da amostra *B* foram 1487 e 1585 cm^{-1} devido às duplas ligações de anéis aromáticos, e 3360 e 3445 cm^{-1} relativo às vibrações N-H (assimétrica e simétrica). Enquanto na amostra *C*, as frequências vibracionais foram 1657 e 1697 cm^{-1} devido ao grupo acila de amida e 3378 e 3564 cm^{-1} referente às vibrações N-H (assimétrica e simétrica).

FÓRMULA MOLECULAR	IDH/ Nº DE INSATURAÇÕES	ABSORÇÕES IMPORTANTES (cm^{-1})/ FUNÇÕES ORGÂNICAS
$\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_3$	6	1200-1000 → C - O de grupos acilas. 1606, 1483 -1469 → Anel aromático. 1693 → C=O de ácidos carboxílicos. 1754 → C=O de ésteres. 2600-2500 → Hidroxila de ácidos carboxílicos.
$\text{C}_9\text{H}_{13}\text{N}$	5	1487 - 1585 → Duplas ligações e Anel Aromático. 3445-3360 → N-H
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$	3	1657 -1627 → Acila de Amida 3564-3378 → N-H

Tabela 4: Dados obtidos com a espectroscopia de IV.

Depois de realizada a espectroscopia de infravermelho das três substâncias, Andréia e Lucas iniciaram a espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

- Então, mãe. Nós já realizamos a espectrometria de massas e descobrimos a fórmula e a massa molecular das substâncias *A*, *B* e *C*. Analisamos as amostras pela espectroscopia de infravermelho e evidenciamos os seus grupos funcionais. E agora? Há outra técnica espectroscópica?

- Sim. A outra técnica é a espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), na faixa de radiofrequências, considerada a mais valiosa técnica de que dispõe os químicos orgânicos, pois fornece o número de carbonos e hidrogênios de uma molécula orgânica. Utilizadas em conjunto, as técnicas citadas (infravermelho, espectrometria de massas e ressonância magnética nuclear) permitem sempre a determinação das estruturas até mesmo de moléculas muito complexas.

- Como ocorre a interação da radiação eletromagnética com a matéria na Ressonância Magnética Nuclear?

- Olha só, sabemos que os átomos que compõem a matéria possuem elétrons, que são partículas de carga negativa; os núcleos, providos de partículas com cargas positivas chamadas de prótons e os nêutrons desprovidos de carga elétrica.

- Sim, mãe já conversamos sobre isso.

- No entanto, alguns núcleos de átomos se comportam como se estivessem girando em torno de seu eixo por meio de dipolo magnético ilustrado nas Figuras 19 e 20.

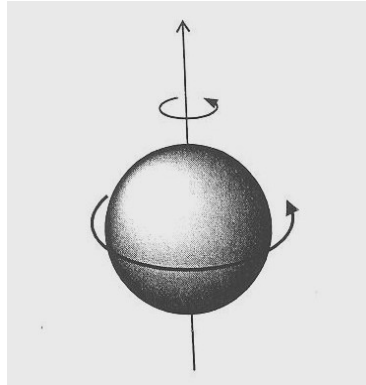


Figura 19: A circulação da carga do núcleo gera um dipolo magnético.

-Nossa! Parece a Terra girando em torno de seu eixo no seu movimento de rotação?

- Analogamente, podemos também comparar com o movimento que se tem quando observamos um pião girando sob o efeito do campo gravitacional, ilustrado na Figura 20. Como possuem carga positiva, os núcleos desses átomos em rotação se assemelham aos minúsculos ímãs e interagem com um campo magnético externo.

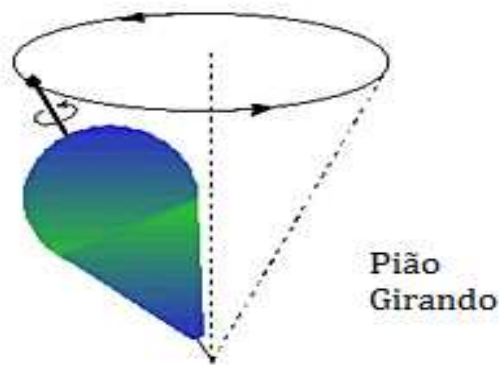


Figura 20. Pião girando.

- A senhora falou que apenas alguns núcleos se comportam desta maneira?

- Eu vou te explicar. Todos os núcleos que têm número ímpar de prótons (^1H , ^{15}N , ^{19}F , ^{31}P , por exemplo) e todos os núcleos que têm número ímpar de massa (^{13}C , por exemplo) apresentam propriedades magnéticas. Os núcleos com números pares de prótons ou de massas (^{12}C , ^{16}O) não dão origem a fenômenos magnéticos. No caso da técnica de ressonância magnética nuclear, submetem-se substâncias constituídas de átomos de ^1H e ^{13}C a um campo magnético muito forte e, simultaneamente, se irradia energia eletromagnética na faixa das radiofrequências.

- E o que acontece com os núcleos, eles continuam em rotação em torno dos seus eixos?

- Sim, só que sob a influência de um campo magnético forte, os spins nucleares dos núcleos magnéticos, que se orientavam aleatoriamente, passam a

se orientar de forma específica, assim como uma bússola se orienta no campo magnético da Terra. Um núcleo ao girar orienta-se com o seu campo magnético próprio alinhado paralelamente (no mesmo sentido) ou no sentido oposto (antiparalelo) do campo externo, em analogia com ímãs ilustrados na Figura 21.

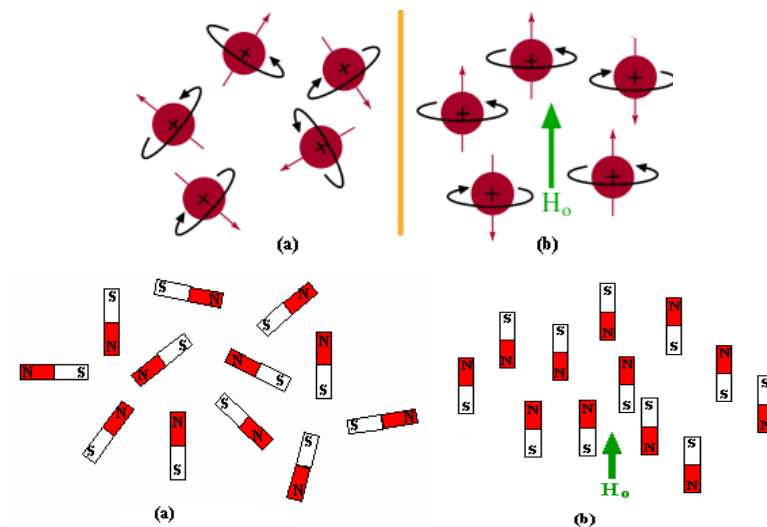


Figura 21: a) Os spins nucleares são orientados aleatoriamente na ausência de campo magnético externo. b) Na presença de um campo magnético externo (B_0), os spins apresentam uma orientação específica. Alguns dos spins em paralelo e outros em antiparalelo ao campo externo.

- Isto eu entendi, mas a senhora ainda não me explicou qual é a função da radiação eletromagnética da radiofrequência neste processo.

- É exatamente o que eu irei comentar agora. Os elementos hidrogênio (^1H) e carbono (^{13}C) têm spin nuclear (I) igual a $1/2$, uma propriedade que permite um campo magnético ter duas orientações, devido à expressão $2I + 1$, isto é, os spins se posicionam e se opõem ao sentido do campo e oposição ao campo. Há energia nas duas orientações dos spins, que resultam em uma população de spins que se comportam como se fosse um pião sob o efeito do

campo gravitacional da terra, isto é, fazem uma órbita de precessão demonstrada na Figura 22.

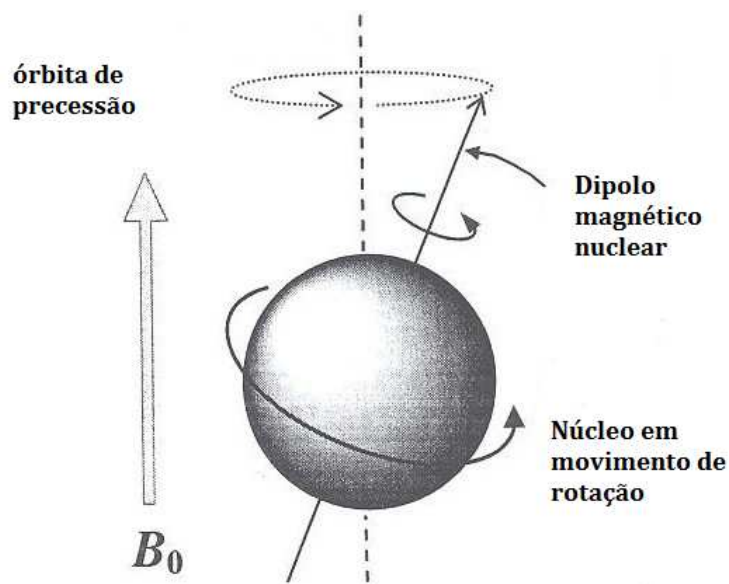


Figura 22: Representação clássica de um núcleo em precessão em um campo magnético de magnitude B_0 , por analogia com um pião de precessão

- Se os núcleos assim orientados com o campo gravitacional forem submetidos à radiação eletromagnética de uma frequência adequada, externamente aplicada, que também promove uma órbita de precessão, dizemos que os núcleos estão em ressonância com a radiação aplicada, daí o nome Ressonância Magnética Nuclear. – Complementa Andréia.

- Pode haver diferença no número de núcleos se variarem a força do campo magnético?

- Isto mesmo! Haverá uma população de spins diferenciada, isto é, quanto maior a intensidade do campo magnético externo, maior será a diferença de energia entre os dois estados de spin e, portanto, aumenta-se o número de

núcleos. E neste caso haverá a necessidade de se utilizar uma radiação de frequência mais alta (maior energia) e da mesma forma, se o campo é mais fraco, menos energia é necessária para a transição entre os estados de spin nuclear.

- Qual é a radiação eletromagnética que possui a frequência capaz de conter a energia necessária?

- Quando se utilizam ímãs com intensidade de campo na faixa de 1,41 - 4,7 tesla (T) a energia da radiofrequência (rf) na faixa de 60 MHz (1 MHz=10⁶Hz) é suficiente para fazer um núcleo de ¹H entrar em ressonância. Atualmente, há campos muito fortes, até 900 MHz, denominados supercondutores.

- Como é o funcionamento do espectrômetro de RMN?

Na Figura 23 é apresentado um esquema de um espectrômetro de RMN com um supercondutor. A amostra é colocada dentro da sonda de RMN que fica no centro de uma bobina supercondutora, resfriada por nitrogênio e hélio líquido. Um computador central comanda o equipamento, enviando, captando e processando os sinais de RMN na forma de espectro.

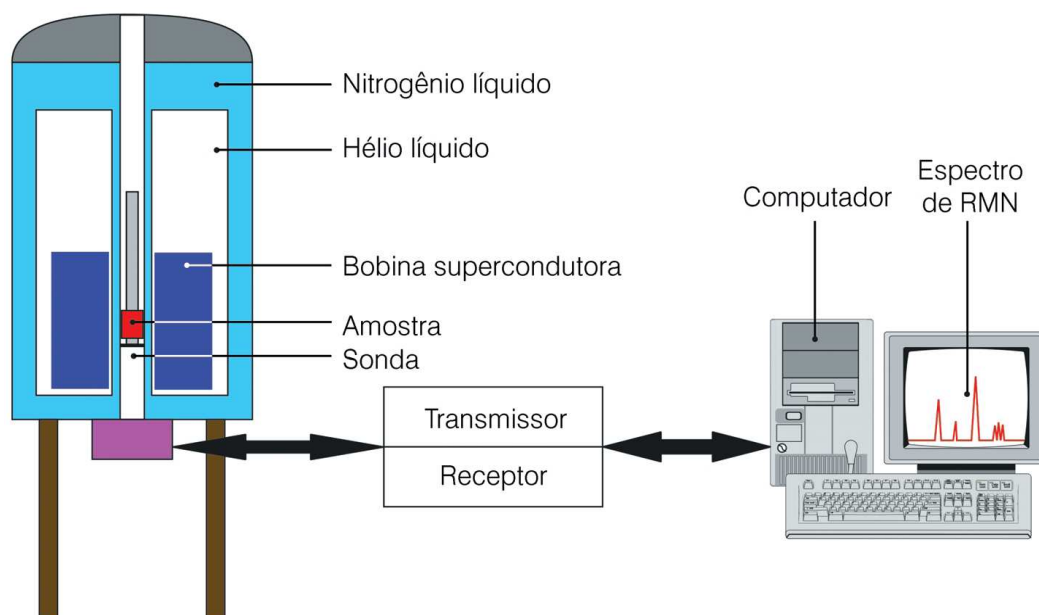


Figura 23: Esquema de operação de um espectrômetro de RMN. Um tubo fino de vidro contendo a solução da amostra é colocado entre os pólos de um ímã potente e é irradiado com energia na faixa de rf.

- O espectro de ressonância magnética nuclear registra as funções orgânicas? Os hidrogênios e carbonos não são idênticos nos compostos?

- Calma! Se todos os núcleos de ^1H e ^{13}C absorvessem a mesma quantidade de energia de rf na mesma frequência, o resultado do espectro seria uma única banda de absorção RMN no espectro de ^1H ou ^{13}C de uma molécula, o que seria de pouca utilidade na determinação da estrutura.

- É mesmo! Mas o que acontece então?

- Como você já sabe, o núcleo das moléculas estão cercados de elétrons. Quando um campo magnético externo é aplicado, os elétrons criam seus próprios e pequenos campos magnéticos locais. Estes campos magnéticos locais se opõem ao campo externo, de modo que o campo efetivo que o núcleo experimenta é um pouco menor do que o campo aplicado. Assim, os núcleos são

blindados (protegidos) pelos elétrons em movimento. Como cada núcleo de uma molécula está em um ambiente eletrônico ligeiramente diferente, cada núcleo experimenta uma blindagem ligeiramente diferente, e o campo magnético efetivo não é o mesmo para todos eles.

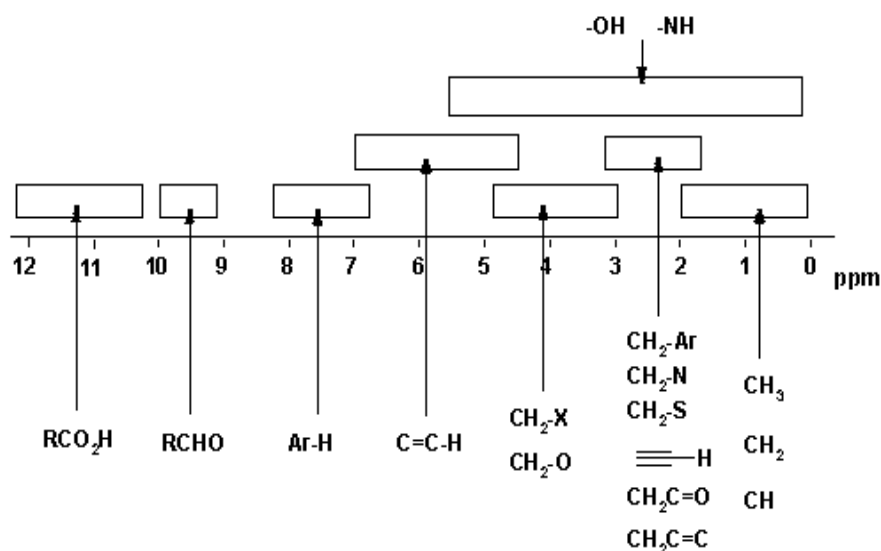


Figura 24: Deslocamentos químicos de diferentes tipos de hidrogênio.

- Então, são essas diferenças que o aparelho de RMN registra? –

Questiona Lucas.

- Sim, são representados pelos deslocamentos químicos¹⁹ registrados em diferentes posições do espectro que representam o mapa da estrutura com

¹⁹ Deslocamentos químicos são expressos em ppm, dados pela expressão Hz/MHz, onde o valor em Hz é obtido pela posição do pico referenciado ao TMS (tetrametilsilano, referência interna, O ppm) e o valor em MHz representa a frequência do aparelho.

relação ao carbono e ao hidrogênio. E com a prática, é possível interpretar espectros e obter informações acerca da estrutura de uma molécula desconhecida.

- Como podemos analisar o espectro de RMN?

- Bom, os deslocamentos químicos das unidades delta (δ) das funções orgânicas são medidos ao longo da escala horizontal do espectro dado em unidade de parte por milhão, demonstrado no diagrama da Figura 24.

- Os Espectros de ^1H e ^{13}C podem ser observados ao mesmo tempo?

- Não, estes espectros não podem ser observados ao mesmo tempo no mesmo espectrômetro, pois são necessárias energias diferentes para a mudança do estado de spin em núcleos de elementos diferentes. No caso do carbono-13 a frequência é um quarto da frequência do hidrogênio. Resumidamente, um espectrômetro de 100 MHz para H tem a frequência com o valor de 25 MHz para carbono-13. Os dois espectros precisam ser registrados separadamente porque as frequências ou campos magnéticos são diferentes. Bom, tudo que vimos até agora se aplica aos espectros de ^1H e ^{13}C ; agora, porém, vamos tratar apenas da espectroscopia de RMN de ^1H .

Neste ponto, Andrea e Lucas iniciaram a espectroscopia de RMN de ^1H das substâncias *A*, *B* e *C*.

- Vamos analisar, primeiramente, o espectro de RMN de ^1H da

substância *A* (Figura 25) obtido no espectrômetro de 300 MHz. – argumenta Andréia. – A primeira característica a descrever é a relação entre o número de sinais no espectro e o número de tipos diferentes de átomos de hidrogênio da substância em questão. Cada átomo de hidrogênio quimicamente distinto em uma molécula tem o seu próprio pico de absorção característico. Assim podemos determinar os tipos de hidrogênios da amostra.

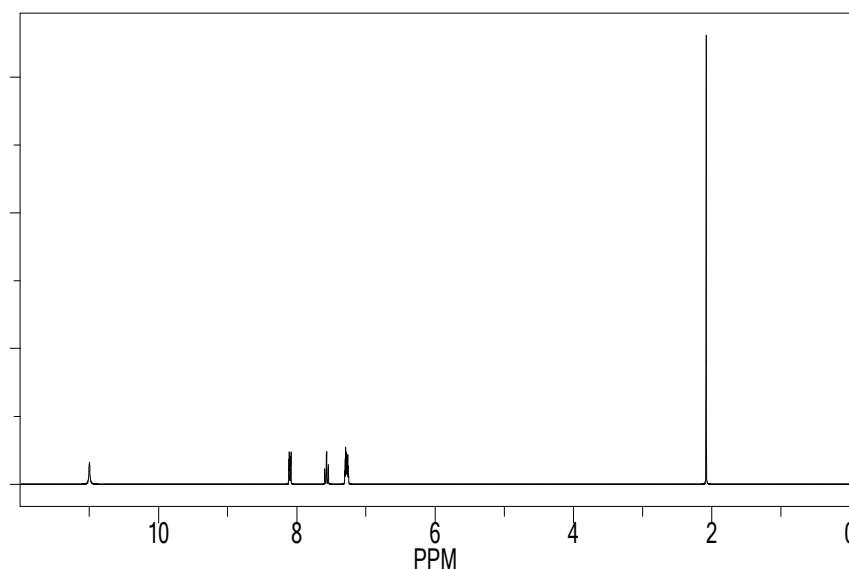


Figura 25: O espectro de RMN de ^1H da substância *A*.

- Então podemos observar que na estrutura da molécula há seis tipos de sinais diferentes, denominados deslocamentos químicos (2,35; 7,14; 7,36; 8,12 e 11,0 ppm) que correspondem a seis tipos de hidrogênios diferentes, localizados em ambientes diferentes entre si na molécula. – Analisa Lucas.

- Muito bem! Pelo banco de dados²⁰ os deslocamentos químicos correspondem respectivamente: 2,35 ppm (CH₃ ligado a C=O); 7,14; 7,36; 8,12 ppm (hidrogênios do anel aromático) e 11,0 ppm (hidroxila do ácido carboxílico). Essas informações são suficientes para elucidação estrutural, mas outros conceitos sobre a técnica são muito importantes e esse momento é oportuno para introduzi-los. Assim, o próximo ponto a examinarmos é a magnitude relativa dos sinais. O que importa não é necessariamente a altura de cada pico, mas a área abaixo deles. Quando medidas com exatidão, estas áreas estão na mesma proporção do número de átomos de hidrogênio responsáveis por cada sinal.

- E como a gente vai medir estas áreas?

- Estas áreas, atualmente, são medidas pelo espectrômetro automaticamente, por isso os espectros não as mostram. O aparelho constrói curvas chamadas de integrais, acima de cada sinal. As curvas integrais são superpostas ao espectro na forma de uma curva semelhante aos gráficos de curvas de titulação. Só que neste caso a diferença entre o máximo e mínimo da curva, corresponde ao número de hidrogênios que geram aquele pico. E ainda uma terceira característica necessita ser examinada.

²⁰ Programas para simulação de espectros de RMN de ¹H e ¹³C são disponíveis para a obtenção dos respectivos espectros.

- Qual é esta característica?
- Trata-se do desdobramento de sinal ou acoplamento spin-spin.
- O que é isso?
- É o fenômeno resultante das influências magnéticas entre os spins

dos hidrogênios da molécula. Para cada interação spin-spin, obtém-se uma constante física, chamada “J”, que se expressa em Hz (seg^{-1}).

- Nossa! Isto parece complicado!
- Então, preste atenção! Até agora vimos que cada tipo diferente de

hidrogênio (ambiente magnético diferente) promove o aparecimento de um pico no espectro de RMN. Lembre-se de que se os hidrogênios fossem idênticos, em todas as substâncias, essa técnica não teria utilidade, pois só perceberíamos um pico apenas no espectro. Como se explica, então, o espectro ter picos com aparência diferente denominada multiplicidade (singleto, duplete, triplete, multiplete, etc.)? Este fenômeno é causado pela interação ou acoplamento dos spins nucleares de hidrogênios. Em outras palavras, o pequeno campo magnético de um núcleo afeta o campo magnético experimentado pelos núcleos vizinhos. Vale ressaltar que os efeitos do acoplamento não são normalmente observados se os hidrogênios acoplados estão separados por mais de três

ligações covalentes simples²¹. Com essas informações você pode verificar que os picos relativos aos hidrogênios do anel aromático da amostra *A* são desdobrados, demonstrando que há acoplamento entre eles, já a hidroxila e o grupo metila estão isolados, aparecendo como singletos.

- Ah! Entendi! Então os hidrogênios que se encontram próximos produzem estes efeitos de acoplamentos que são chamados de singletos, dupletos e tripletos. E as amostras *B* e *C*? Serão também analisadas?

- Claro! Estamos investigando, não é? Os deslocamentos químicos obtidos no espectro da amostra *B* (Figura 26) foram comparados com os valores do banco de dados que forneceu: 1,10 ppm (CH₃ ligado a CH, como um duplete); 2,0 ppm (2 hidrogênios ligados ao nitrogênio, como um singlete); 2,64 ppm (CH como dois dupletos); 2,89 ppm (CH como dois dupletos), 3,10-3,30 ppm (CH na forma de multiplete) e entre 7,08 - 7,21 (5 hidrogênios do anel aromático).

²¹ Conhecendo os valores dos acoplamentos, J, define-se a vizinhança ou conectividade de hidrogênios e respectivos carbonos na molécula.

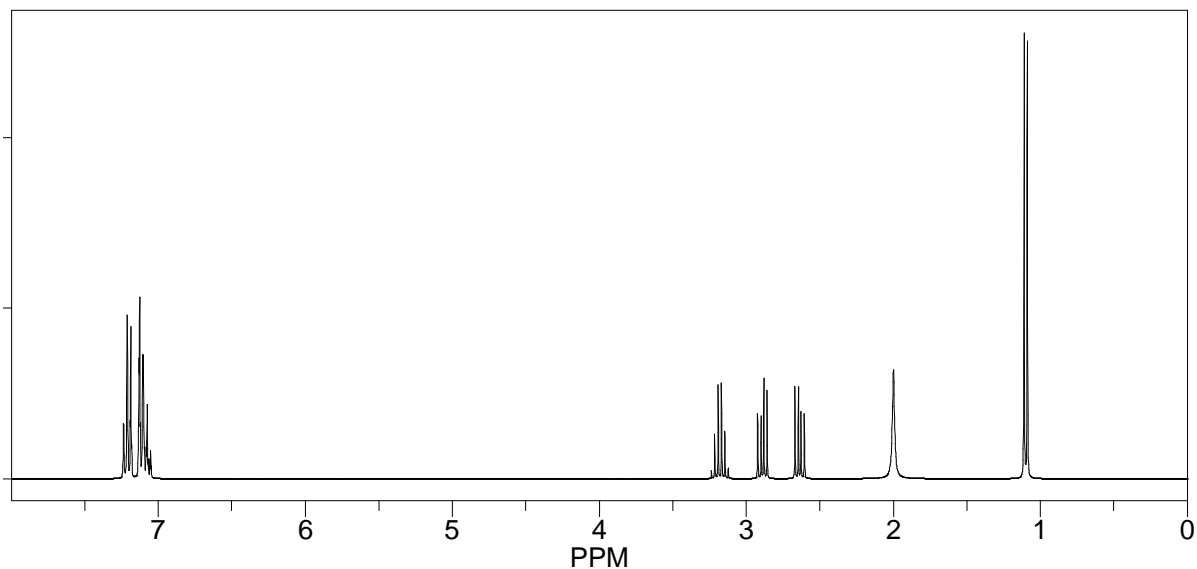


Figura 26: O espectro de RMN de ^1H da substância *B*. Reproduzido de:

- Já a amostra *C* (Figura 27), apesar de impurezas presentes, os valores para os deslocamentos químicos corresponderam aos dados tabelados da seguinte maneira: 1,90 - 2,10 ppm (CH_2 como um multipletto), 2,23 ppm (CH_2 como um triplete), 3,40 ppm (CH_2 como um triplete), 4,09 (CH_2 como um singletto) e 6,0 (2 hidrogênios ligados ao nitrogênio, como um singletto). - continua Andréia.

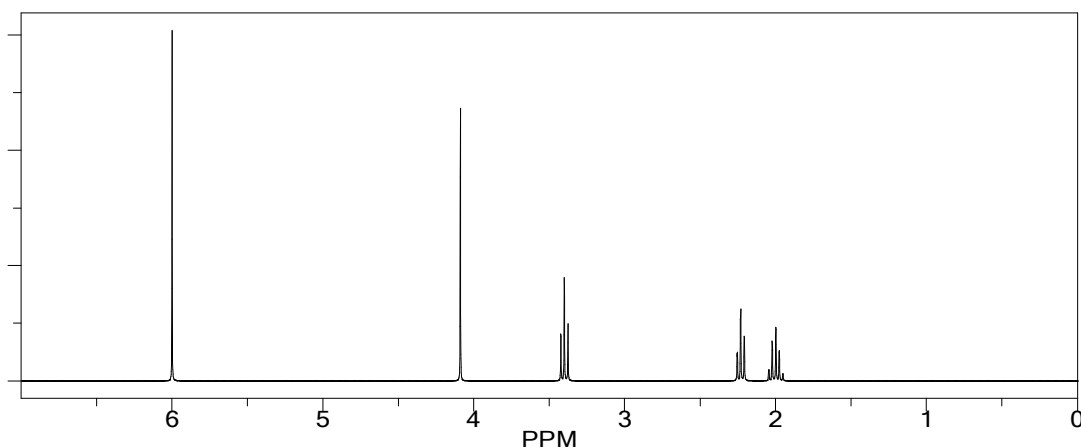


Figura 27: O espectro de RMN de ^1H da substância *C*.

- É bom lembrar que as noções sobre acoplamentos de spin-spins de hidrogênios são importantes nas análises dessas amostras, para evidenciar a vizinhança entre os hidrogênios. Assim, os multipletos observados resultam de acoplamentos que não seguem as definições aprendidas porque devem ter muitos hidrogênios vizinhos ou acoplamentos cujos valores são diferentes e complicam na apresentação dos picos. Essas informações obtidas pelo RMN ^1H são suficientes para elucidação estrutural de moléculas mais simples, mas no nosso caso ainda precisamos justificar as suas estruturas químicas com outra técnica espectroscópica, e por isso, o próximo passo é a análise de RMN de ^{13}C .

- E no caso da RMN de ^{13}C ?

- Na RMN de ^{13}C os espectros são mais fáceis de interpretar, pois cada tipo de átomo de carbono em uma molécula orgânica comum produz apenas um pico de ^{13}C , possibilitando a contagem dos diferentes carbonos presentes na molécula. É bom ressaltar que carbonos que estejam em posições simétricas são observados apenas uma única vez. Mas vamos aos esclarecimentos que demonstram algumas informações sobre o carbono-13, que é o único isótopo natural do carbono-12 que tem spin nuclear (I) igual a 1/2. A sua abundância, como mostra a tabela 2 é apenas 1,1% e isto significa que de 100 átomos de carbono, apenas 1,1 podem ser observados por RMN. Por isso, a probabilidade de dois átomos de carbono-13 estarem adjacentes é muito

pequena, o que minimiza a possibilidade acoplamento carbono-carbono que cause desdobramento de sinais em picos múltiplos. Os deslocamentos químicos dos C-13 também são afetados pela blindagem (proteção) devida à densidade eletrônica relativa ao redor do núcleo, o que pode fornecer informações preciosas com relação ao ambiente eletrônico de cada um deles inclusive descobrir a quantos hidrogênios cada um está ligado. Nesse caso, o espectro obtido com o acoplamento entre hidrogênios e carbonos-13, uma vez que os spins de ambos podem se acoplar, e muito complexo, principalmente para substâncias com muitos átomos de carbono. Na rotina todos os espectros de carbono-13 são registrados sem acoplamento com os hidrogênios, isto é, os grupos CH₃, CH₂ e CH, aparecem desacoplados e por isso, os denominamos genericamente de espectros desacoplados.

- Então o espectro de RMN de ¹³C da amostra *A*, apresentado na Figura 28, significa que se têm nove carbonos desacoplados e com deslocamentos químicos diferentes?

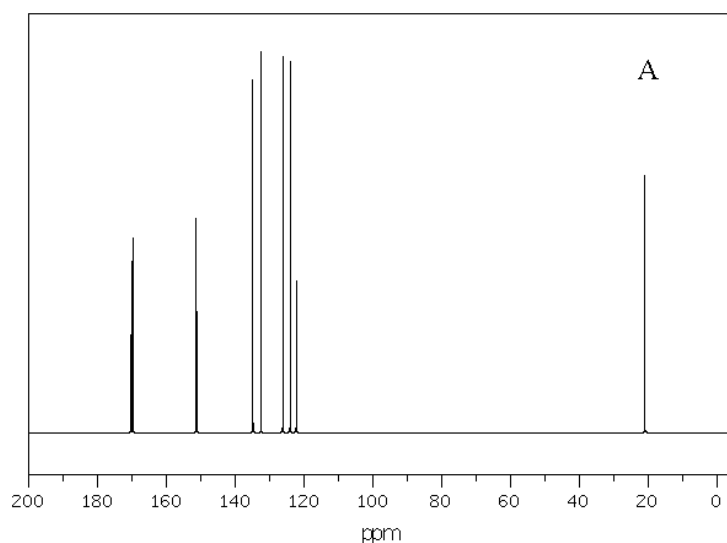


Figura 28: O espectro de RMN de ^{13}C da substância A.

- Sim. Os deslocamentos químicos 21,0; 122,3; 124,0; 126,2; 132,5; 134,9; 151,3; 169,8 e 170,2 ppm, podem ser interpretados, com base nas informações das tabelas, da seguinte maneira: o valor mais blindado (21,0 ppm) corresponde a um metila do grupo acetila, $\text{CH}_3\text{C}=\text{O}$; os valores 122,3; 124,0; 126,2; 132,5; 134,9 ppm são característicos de carbonos, isto é, ligados ao anel benzênico, sendo que o último 151,3 ppm, está muito deslocado possivelmente por estar ligado ao oxigênio presente na estrutura; e finalmente o valor 169,8 e 170,2 ppm que referem-se a grupos acilas.

- Nossa! Acho que montamos o nosso quebra-cabeça!

- Sim, todas estas informações possibilitam responder questões estruturais que podem ser respondidas pela RMN, e que são complementadas pela espectroscopia de IV e pela espectrometria de massas. O nosso

conhecimento científico possibilita chegarmos à resposta correta, isto é, todas as informações têm que ser convergentes para a identificação da amostra *A*, que é o ácido acetilsalicílico (Figura 29).

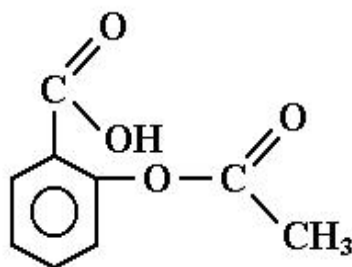


Figura 29: Fórmula estrutural do Ácido Acetilsalicílico (Substância *A*).

- Hum! Muito interessante!
- Já tínhamos esta informação pela espectrometria de massa, mas você observou como foi produtiva toda explanação sobre as técnicas de IV e RMN de ^1H e ^{13}C ? E como será também útil para elucidar as estruturas das amostras *B* e *C*?
- É realmente impressionante! Gostaria de desvendar logo as estruturas das amostras *B* e *C* que têm nitrogênios.
- O espectro da amostra *B* (Figura 30) apresenta sete picos com os deslocamentos químicos: 23,4 ppm (CH_3); 48,0 ppm (CH ligado ao nitrogênio), 48,1 ppm (CH_2 ligado ao anel aromático) e 126,1; 128,2; 128,9 e 138,1 ppm (carbonos do anel aromático), sendo o último valor relacionado com o carbono

que se liga ao grupo substituinte no anel. Pelo número de carbonos do anel benzênico, observa-se também a simetria, isto é, se são observados quatro carbonos diferentes, leva a crer que há monossustituição no anel. Com todas as informações obtidas até agora, confirmamos o que o banco de dados da espectrometria de massa tinha indicado para a amostra *B* ser a *anfetamina*, ilustrada abaixo, na Figura 31.

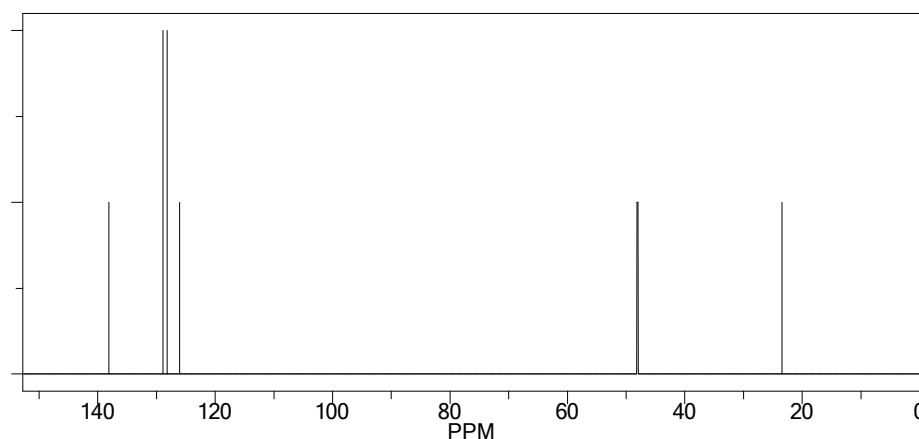


Figura 30: O espectro de RMN de ^{13}C da substância *B*.

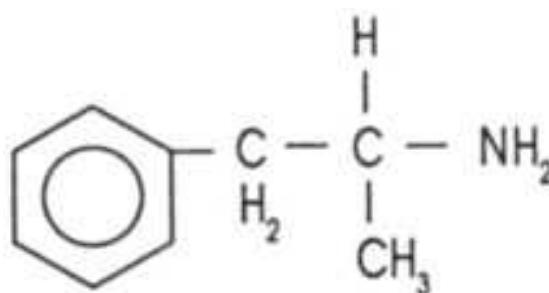


Figura 31: Fórmula estrutural da Anfetamina (substância *B*).

- Puxa! Só falta a amostra *C*! O mistério está quase desvendado! Só falta a amostra *C* – Diz Lucas entusiasmado.

- Quanto à amostra *C* (Figura 32), são observados seis carbonos, o

mesmo número de carbonos da molécula, com os deslocamentos químicos: 17,1 ppm (CH_2), 31,9 ppm (CH_2); 45,4 ppm (CH_2 ligado ao nitrogênio); 55,2 ppm (CH_2 ligado ao nitrogênio e ao grupo acila); 169,9 ppm (C=O de amida) e 173,7 ppm (C=O de amida). As funções amidas foram identificadas no IV e demonstram que a diferença entre as duas se resume na tensão angular que uma apresenta, por estar em um anel de cinco membros, conforme revelado pela estrutura proposta no banco de dados da espectrometria de massa e que resulta também no valor maior de deslocamento químico 173,7 ppm, para a referida função.

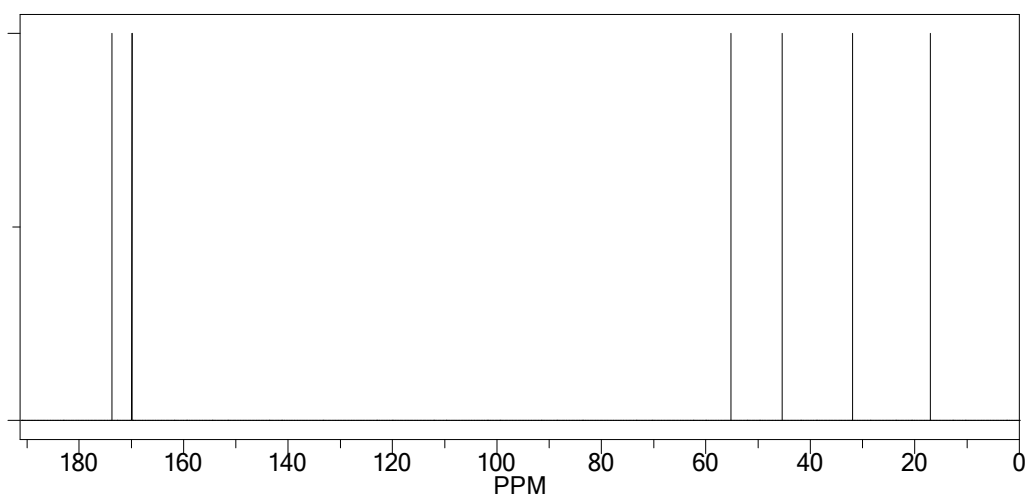


Figura 32: O espectro de RMN de ^{13}C da substância C.

Embora as técnicas IV e RMN de ^1H e ^{13}C apresentem detalhamento das funções orgânicas, foi fundamental a espectrometria de massa para nos auxiliar com o banco de dados ao informar que se trata da substância *Piracetam* (Figura 33).

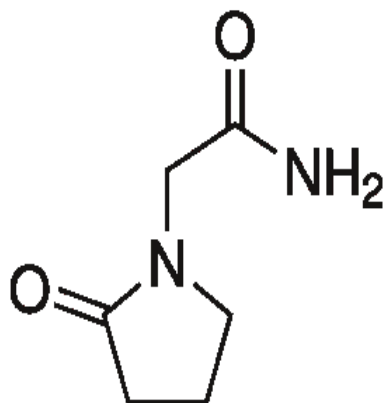


Figura 33: Fórmula estrutural do Piracetam (substância C).

- Legal! Desvendamos o mistério! Só não entendi porque foram necessárias todas as técnicas usadas enquanto já poderíamos abreviar o nosso tempo de investigação?

- Calma! A base científica de uma investigação se fortalece com vários dados fornecidos pelas técnicas (IV, RMN e Espectrometria de Massa) que se complementam. É assim que se chega ao resultado de um trabalho científico, sem dúvida alguma! Agora, filho, gostaria que você sistematizasse todos os dados que obtivemos em uma tabela, para que a gente possa visualizar melhor o nosso “quebra-cabeça”.

- Vou fazer isso.

Depois de um tempo...

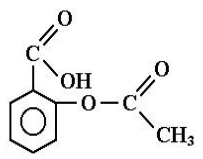
SUBSTÂNCIA A	Espectrometria de Massa		Espectroscopia de IV		RMN ¹ H	RMN ¹³ C	FÓRMULA ESTRUTURAL
	Fórmula Molecular	Massa molecular	IDH/nº de insaturações	Absorções Importantes (cm ⁻¹)	Absorções Importantes (ppm) Hidrogênios	Absorções Importantes (ppm) Carbonos	
SUBSTÂNCIA A	C ₉ H ₈ O ₃	180	6	1200-1000→ C - O de grupos acilas	11,0→ hidroxila do ácido carboxílico	21,0→ um metila do grupo acetila, CH ₃ C=O	 <p>Ácido Acetilsalicílico</p> <p>Ácido 2-acetoxibenzoico</p>
				3300-2500 →OH de ácidos carboxílicos	2,35 →CH ₃ , ligada a C=O	122,3; 124,0; 126,2; 132,5; 134;9→anel aromático	
				1606, 1483 - 1469→ de C=C anel aromático.	7,14; 7,36; 8,12→ Hidrogênios do anel aromático	151,3→ carbono ligado ao oxigênio	
				1693→ C=O de ácidos carboxílicos		169,8 e 170,2→ grupos acilas	
				1754→ C=O de ésteres			

Tabela 5: Dados obtidos da análise da substância A.

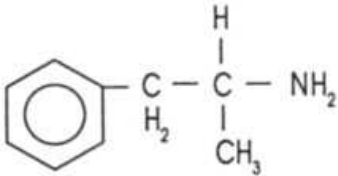
SUBSTÂNCIA	Espectrometria de massa		Espectroscopia de IV		RMN ¹ H	RMN ¹³ C	FÓRMULA ESTRUTURAL
	Fórmula Molecular	Massa molecular	IDH/n° de insaturações	Absorções Importantes (cm ⁻¹)	Absorções Importantes (ppm)	Absorções Importantes (ppm)	
B	C ₉ H ₁₃ N	135	5	1487 - 1585 → C=C de Anel Aromático	1,10 → CH ₃ ligado a CH, duplete	23, 4 → CH ₃	 <p style="text-align: center;">Anfetamina</p> <p>(±)-1-fenil-2-propanamina</p>
				3445 e 3360 → N-H	2,0 → 2 hidrogênios ligados ao nitrogênio, singleto	48,0 → CH, ligado ao Nitrogênio	
					2,64 → CH, dois dupletos	48,1 → CH ₂ ligado ao anel aromático	
					2,89 → CH, dois dupletos	126,1; 128,2; 128,9 e 138,1 → carbonos do anel Aromático	
					7,08 a 7,21 → 5 hidrogênios do anel aromático	138,1 → carbono que se liga ao grupo substituinte no anel	

Tabela 6: Dados obtidos da análise da substância B.

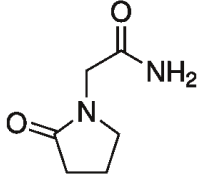
SUBSTÂNCIA C	Espectrometria de massa		Espectroscopia de IV		RMN ¹ H	RMN ¹³ C	Fórmula Estrutural  Piracetam 2-oxo-1-pirrolidinacetamida
	Fórmula Molecular	Massa molecular	IDH/n° de insaturações	Absorções Importantes (cm ⁻¹)	Absorções Importantes (ppm)	Absorções Importantes (ppm)	
C ₆ H ₁₀ N ₂ O ₂	142	3	1657 e 1627 → Acilas de Amida	2,0 → CH ₂ , multipletto	17,1 → CH ₂		
				2,23 → CH ₂ , multipletto	31,9 → CH ₂		
				3,40 → CH ₂ , multipletto	45,4 → CH ₂ (ligado ao nitrogênio)		
				4,09 → CH ₂ , singleto	55,2 → CH ₂ (ligado ao nitrogênio e ao grupo acila)		
				6,0 → 2 hidrogênios ligados ao nitrogênio, singleto	169,9 → C=O de amida		
				173,7 → C=O de amida			

Tabela 7: Dados obtidos da análise da substância C.

- Então, já sabemos quais substâncias compunham o produto que achei, mas estas substâncias são perigosas? São ilícitas? – pergunta Lucas.

- Para responder a sua pergunta precisamos consultar a literatura. Vamos lá?

- Para começar, eu queria saber uma coisa. Existe alguma diferença entre as denominações droga, fármaco, medicamento e remédio?

- Olha, filho. Segundo a literatura, chama-se droga a matéria-prima mineral, vegetal ou animal da qual se pode extrair um ou mais princípios ativos; de acordo com esta definição, os agentes terapêuticos de origem sintética não são drogas. Já o fármaco é a substância química de composição definida que pode ter aplicação em Farmácia, seja como preventivo, seja como curativo, seja como agente diagnóstico; a ser aceita esta definição, a matéria-prima mineral, vegetal ou animal da qual se pode extrair uma ou mais bases medicamentosas não é fármaco, pois sua constituição química não é necessariamente conhecida. O medicamento é o mesmo que fármaco, mas especialmente quando se encontra na sua forma farmacêutica.

- E no caso do remédio?

- Temos o costume de chamar os medicamentos ou fármacos de remédios; esta denominação, no entanto, não é a mais aconselhável, pois remediar não é curar. O mais certo é utilizarmos os termos fármaco ou

medicamento.

- Um dia, eu fui à farmácia comprar um medicamento e o farmacêutico me forneceu um medicamento com outro nome. Disse-me que se tratavam do mesmo medicamento, apenas com o nome comercial diferente.

- Isto é muito comum. O que ocorre é que os fármacos possuem três ou mais nomes, mas o nome químico é o único que descreve a estrutura química do fármaco. Este nome é dado de acordo com as regras de nomenclatura das substâncias químicas. Mas, como este nome, às vezes, é muito longo e complicado para a maioria das pessoas, não é muito adequado para o uso rotineiro. Usa-se com frequência, para designar os medicamentos, os nomes comerciais, que mudam de acordo com o fabricante. Mas é o nome oficial que sempre consta em medicamentos que possuem o mesmo princípio ativo, independentemente do nome comercial. Por isso, que o farmacêutico te forneceu um medicamento com o nome comercial diferente, mas com nome oficial igual.

- Agora, eu entendi. Mas devemos sempre ficar atentos aos nomes oficiais para ter certeza de que se trata do mesmo medicamento.

E assim, Andréia e Lucas por meio de pesquisas descobriram que a substância *A*, é denominada, segundo a nomenclatura oficial, de ácido acetilsalicílico ou aspirina; o seu nome químico é ácido 2-acetoxibenzoico e,

no comércio, o seu nome figura com nomes tais como: Ácido Acetilsalicílico, Aspirina, AAS, dentre outros. Tal fármaco é classificado como analgésico e antipirético, ou seja, combate sintomas como dor e febre e recentemente tem sido utilizado como preventivo contra infartos do miocárdio.

- Eu me lembro de que quando eu era pequeno e estava com febre que a senhora me dava um comprimido bem pequeno. Era um comprimido de AAS? – perguntou Lucas.

- Era sim, filho. Este fármaco é muito utilizado no tratamento de crianças.

- Então, ele não faz mal à saúde?

- Eu não disse isso! Embora o ácido acetilsalicílico seja um analgésico antipirético de escolha, não são destituídos de efeitos adversos, principalmente náuseas, vômitos, hemorragia gastrointestinal, além de causar intoxicações agudas nos casos de ingestão excessiva. O seu uso também provoca distúrbios na coagulação do sangue, pois inibe a agregação das plaquetas.

- Eu sempre tive curiosidade de saber como estas substâncias agem no organismo. - disse Lucas.

- Olha filho! De uma forma geral, o modelo de chave e fechadura da Figura 34, explica como ocorrem estes mecanismos.

- Modelo de chave e fechadura? A senhora deve estar brincando,

não é mesmo?

- Não, não estou brincando. É isso mesmo! Foi Emil Fisher quem formulou um modelo pioneiro, capaz de permitir uma racionalização dos efeitos das substâncias no organismo. Este modelo conhecido como “chave e fechadura” contém um conceito fundamental que vigora até os dias atuais. Fisher definiu que as moléculas dos compostos ativos nos organismos seriam chaves, que interagiriam com macromoléculas do próprio organismo (bioreceptores) que seriam as fechaduras. Desta interação chave-fechadura teríamos a resposta farmacológica de substâncias endógenas. Desta forma, conhecendo a estrutura molecular do fármaco (a chave) e sabendo-se quais grupos funcionais estão presentes em sua molécula (os “dentes” da chave) poder-se-ia compor a topografia provável, aproximada, do bioreceptor (a fechadura). Assim, onde na chave temos uma reentrância, na fechadura teremos uma protuberância, complementar, e assim por diante.

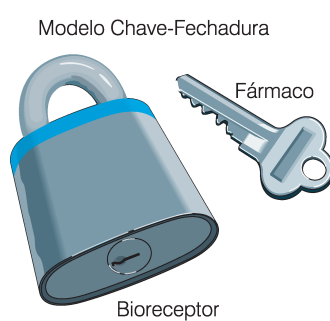


FIGURA 34. Modelo chave – fechadura. :

- A senhora pode me dar um exemplo?

- Claro! Vou te dar o exemplo do ácido acetilsalicílico (AAS). Identificamos na molécula do AAS (substância *A*) a sua fórmula molecular $C_9H_8O_3$, que possui três grupos funcionais.

- É mesmo! A molécula do ácido acetilsalicílico possui o grupamento ácido carboxílico, o grupamento acetila e o anel benzênico. Estes são, no caso, os dentes da chave. – conclui Lucas. – É o que é a fechadura?

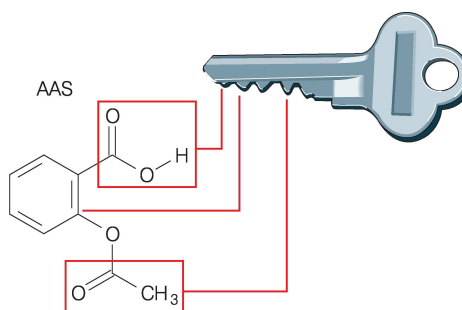


FIGURA 35: Fórmula Estrutural do AAS, no modelo chave fechadura.

- Sabendo-se que o ácido carboxílico presente no AAS é um ácido benzóico pouco solúvel em água, e sendo o pH do sangue ligeiramente neutro, podemos antecipar que este grupo funcional se encontra ionizado na corrente sanguínea, na forma de um carboxilato. Então, provavelmente, no sítio receptor (fechadura), este interagirá com um aminoácido carregado positivamente constituindo uma interação iônica. Seguindo o mesmo raciocínio, a acetila pode interagir com o sítio receptor por meio de ligações hidrogênio efetuado pelo grupo acila do éster. E finalmente o anel benzênico poderá fazer frágeis interações moleculares tipo de Van der Waals com os

receptores complementando a farmacodinâmica de ação.

- O que é farmacodinâmica de ação?

- É o nome que se dá ao estudo das interações moleculares entre os fármacos e seus bioreceptores. E ao “caminho” que o fármaco percorre no organismo até atingir o sítio receptor, denomina-se de fase farmacocinética.

- Por isso é tão importante determinar as estruturas das moléculas e conseqüentemente os seus grupos funcionais, assim como nós fizemos com as substâncias *A*, *B* e *C*. Não é mesmo?

- Muito bem filho!

- Nossa! Realmente, isto é muito interessante! E a substância *B*, a Anfetamina?

- O caso da Anfetamina é diferente. Essa molécula tem algo de particular que é estudado na Química Orgânica. Na verdade, a fórmula molecular $C_9H_{13}N$ corresponde a duas substâncias chamadas estereoisômeros.

- O que são estereoisômeros?

- Os estereoisômeros são isômeros que só se diferem no arranjo de seus átomos no espaço. A parte da química que estuda estes compostos é chamada de estereoquímica. Os estereoisômeros podem ser divididos em dois grupos: os diastereoisômeros e os enantiômeros. A diferença entre eles é que os enantiômeros são a imagem especular um do outro. O

enantiomerismo ocorre somente com os compostos cujas moléculas são quirais. E isto acontece com a substância *B*. Se observarmos há um carbono assimétrico na estrutura (carbono assimétrico), isto é, quatro grupos diferentes se ligam a esse carbono. Em outras palavras, estamos com uma amostra que por ter atividade ótica desvia o plano da luz polarizada para a direita (dextrógiro) ou para a esquerda (levógiro).

- Eu não entendi muito bem a sua explicação, mãe. O que é ser quiral?

- A palavra quiral é derivada da palavra grega *cheir* que significa mão. Faça uma experiência. Coloque as suas mãos uma embaixo da outra e descobrirá que elas não são superponíveis. – Diz Andréia fazendo o mesmo com as suas mãos.

- Nossa! É mesmo! – exclama Lucas surpreso.

- Isto é imagem especular. A anfetamina é representada por uma mistura racêmica a (+)-1-fenil-2-propanamina, isto é, é formada por quantidades equimolares dos dois enantiômeros denominados D(dextrógiro) ou L(levógiro).

- Se temos uma mistura, porque conseguimos determinar algumas propriedades físicas e químicas da substância *B*?

- Muito bem! Filho. A sua dúvida é bem pertinente, mas o que ocorre é que os enantiômeros, apesar de se constituírem em substâncias

diferentes, possuem as mesmas propriedades físicas e químicas²². O estudo da estereoquímica dos fármacos é de grande importância, pois com a existência de dois enantiômeros, um fármaco pode antagonizar a ação de seu estereoisômero, ou um dos enantiômeros pode apresentar um efeito terapêutico e o outro ser responsável por um efeito secundário, ou ainda os dois apresentarem a mesma atividade, mas, pode ainda apenas, um manifestar um dado efeito indesejável, dentre outras consequências não menos importantes. No entanto, muitos fármacos são comercializados sob a forma racêmica. Existem alguns poucos fatores envolvidos para justificar a comercialização de racematos (mistura equivalente de dois enantiômeros) e poderíamos citar, entre estes, as diversas dificuldades existentes nas sínteses dos enantiômeros puros, muitas vezes envolvendo várias etapas, o que os torna de difícil acesso sob o ponto de vista econômico.

- A Anfetamina é utilizada para qual finalidade?
- No Brasil, a substância é comercializada em forma de fármacos para tratamento de obesidade e pessoas que sofrem de distúrbios psicológicos, sendo encontrada, portanto em medicamentos controlados que exigem receita médica do paciente. Atuam como estimulantes do sistema

²² Consideradas as reações químicas clássicas para grupos funcionais

nervoso central, sendo uma das suas principais características a eliminação da sonolência, mantendo o estado de vigília por horas a fio. Produzem inicialmente euforia e bem-estar, bem como aumento da capacidade física e intelectual. Pode provocar também irritação e inquietação, entre outros efeitos adversos. A Anfetamina é rapidamente assimilada pela corrente sanguínea e, logo depois de ser ingerida, provoca arrepios seguidos de sentimentos de confiança e presunção. As pupilas dilatam, a respiração torna-se ofegante, o coração bate freneticamente e a fala fica atropelada. Em seguida, o usuário da droga pode entrar em estado de euforia e elevação, enquanto seu corpo se agita com uma intensa liberação de energia. Quando essa energia se extingue, o efeito começa a declinar, sendo substituído por inquietação, nervosismo e agitação, passando à fadiga, paranóia e depressão. Esgotadas as sensações da droga, o abuso leva geralmente a dores de cabeça, palpitações, dispersividade e confusão²³.

- E a substância *C*, o Piracetam?
- É uma substância química utilizada para aumentar a capacidade cognitiva, ou seja, melhora as funções cerebrais envolvidas em

²³MARQUES, A. C. P. R.; CRUZ, M. S. O adolescente e o uso de drogas. *Rev. Bras. Psiquiatr.* 2000, vol.22. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-44462000000600009&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 19/08/2009.

processos de aprendizagem, memória, atenção e consciência. É indicado usualmente no tratamento de perda de memória, perda de atenção e direção, bem como nas alterações da função cerebral pós acidente vascular cerebral (AVC); vertigem e dificuldade de aprendizado em crianças.

- Nossa! Porque alguém estaria utilizando aquele produto que eu encontrei?

- No mínimo, não sabia da sua constituição. Por isso, filho, é importante adquirir conhecimentos sobre as ciências para que se possa tratar com responsabilidade as questões sociais relativas à ciência e à tecnologia.

- Sabe mãe, antes eu vivia me perguntando por que eu tinha que aprender Química. Hoje, eu me pergunto como posso viver sem compreender esta ciência? Tudo que nos rodeia está repleto de Química. Agora, eu consigo entender o porquê do seu empenho e dedicação ao trabalho de Química.

- É filho, o trabalho que a gente faz como Químico tem por objetivo fazer com que as pessoas tenham uma melhor qualidade de vida e com isso consigam fazer uma leitura do mundo em que vivem e serem capazes de transformá-lo com responsabilidade em um mundo mais justo, com iguais oportunidades para todos.

GLOSSÁRIO

Absorção - Em espectroscopia é a intensidade com que uma espécie dissipa uma radiação incidente.

Ácido - (Definição de Arrhenius) Substância que liberta íons hidrogênio, H^+ , ao se dissolver em água. (Definição de Brønsted-Lowry) espécie química (molécula ou íon) que cede prótons a outra espécie numa reação de transferência de prótons.

Acila - Em química orgânica, um grupo acilo é um grupo derivado de um oxoácido, normalmente um ácido carboxílico, por eliminação de ao menos um grupo hidroxila.

Adsorção - ligação de moléculas a uma superfície (ou atração das moléculas pela superfície).

Adulterado - Viciar dolosamente a qualidade de uma coisa, juntando-lhe outras mais ordinárias que passam despercebidas à simples vista.

Alcalino - Diz-se de reagente, solução etc., que tem pH maior que 7.

Alcanos - Compostos binários de carbono e hidrogênio de fórmula geral C_nH_{2n+2} , também denominados hidrocarbonetos saturados, por apresentar somente ligações simples entre seus átomos.

Amina - São compostos orgânicos derivados da substituição de um ou mais átomos de hidrogênio na amônia (NH_3) por grupos hidrocarbônicos.

Aminoácido - Composto que tem o grupo amina ($-NH_2$) e o grupo carboxila ($-COOH$).

Anemia ferropriva - É o tipo de anemia mais comum e é causada pela deficiência de ferro.

Ânion - Íon com carga elétrica negativa.

Atividade ótica - Propriedade de certas soluções ou sólidos transparentes de provocar rotação do plano da luz plano-polarizada que os atravessa.

Átomo - Partícula muito pequena de matéria que mantém a sua identidade nas reações químicas.

Base - (Definição de Arrhenius) Substância que liberta íons hidróxido, OH⁻, ao se dissolver em água. (Definição de Brønsted-Lowry) espécie química (molécula ou íon) que recebe um prótons numa reação de transferência de prótons.

Benzeno - É um hidrocarboneto classificado como hidrocarboneto aromático, e é a base para esta classe de hidrocarbonetos: todos os aromáticos possuem um anel benzênico (benzeno), que, por isso, é também chamado de anel aromático.

Carbonila - Radical bivalente constituído de um átomo de carbono e um de oxigênio, e que entra na composição de aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, haletos, ácidos e amidas.

Cátions - Íon com carga elétrica positiva.

Composto - Substância constituída por dois ou mais de dois elementos quimicamente combinados. Tipo de matéria constituída por átomos de dois ou mais de dois elementos quimicamente combinados em proporções fixas.

Comprimento de onda (λ) - Numa onda, a distância entre duas cristas sucessivas ou entre dois cavados sucessivos.

Cromatografia - grupo de técnicas separativas que depende da velocidade de trânsito de uma substância arrastada por uma corrente de gás ou de líquido, e que passa através de uma fase estacionária que interage fracamente com a substância.

Cromatografia a gás - método de separação cromatográfica em que uma mistura gasosa é separada nos seus componentes pela passagem através da coluna recheada com material apropriado. As substâncias na mistura gasosa são atraídas diferentemente pelo material do recheio e deslocam-se com velocidades diferentes através da coluna.

Cromóforos - Parte de uma molécula que é a principal responsável por sua cor.

Destilação - Processo de separação em que um líquido é vaporizado e condensado, em operações sucessivas. Usado na separação de substâncias líquidas de volatilidade diversas.

Diastereoisômeros - Diastereoisômeros são estereoisômeros, que não são enantiômeros.

Dispersão - Fenômeno que causa a separação de uma onda em várias componentes espectrais com diferentes frequências.

Elemento químico - Denomina-se elemento químico todos os átomos que possuem o mesmo número de prótons em seu núcleo, ou seja, o mesmo número atômico (Z).

Eletronegatividade - medida de capacidade de um átomo para atrair elétrons de ligação numa molécula.

Elétrons - Partícula subatômica que tem uma massa muito pequena e possui uma carga elétrica unitária negativa.

Eluente - Solvente polar usado em cromatografia para extrair as substâncias separadas.

Enantiômeros - Isômeros ópticos, pois apresentam todas as propriedades físicas e químicas iguais, mas desviam o plano da luz polarizada para lados diferentes.

Endógeno - Originado dentro do organismo

Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) - São quaisquer meios ou dispositivos destinados a ser utilizados por uma pessoa contra possíveis riscos ameaçadores da sua saúde ou segurança durante o exercício de uma determinada atividade.

Espectro Eletromagnético - É o conjunto de radiações com frequências, ou comprimento de ondas, da radiação eletromagnética.

Espectro Visível - É a porção do espectro eletromagnético cuja radiação composta por fótons, pode ser captada pelo olho humano. Identifica-se esta radiação como sendo a luz visível, ou simplesmente luz.

Espectrômetro de massa - Instrumento que mede a razão entre a massa e a carga de íons e que opera pela deflexão das partículas, carregadas (íons fragmentos de moléculas, etc.) em campos magnéticos e elétricos.

Estereoisômeros - Qualquer um dos isômeros em um exemplo de estereoisomerismo.

Filtração a vácuo - método utilizado para separar misturas heterogêneas do tipo sólido-líquido, em que a filtração simples não é muito eficiente, ou seja, é muito lenta. A filtração a vácuo acelera o processo de filtração.

Flogístico - Uma hipotética substância inodora, incolor e sem peso que se acreditava ser a parte combustível de todas as substâncias inflamáveis; a descoberta do oxigênio provou sua inexistência.

Forças intermoleculares - forças da interação das moléculas

Fórmula estrutural - Fórmula química que mostra como os átomos de uma

molécula se une uns aos outros.

Fórmula Molecular - Fórmula química que dá o número real e exato de átomos de cada elemento presente na molécula da substância.

Frequência (ν) - Número de comprimentos de onda de uma onda que passa por um ponto fixo na unidade de tempo (usualmente o segundo).

Gás - estado da matéria, fluido, facilmente compressível, que enche completamente o espaço do recipiente que o encerra.

Grupo funcional - Parte reativa de uma molécula que tem comportamento químico bem determinado e previsível.

Hipótese - explicação provisória que se admite para construir modelo de fenômenos naturais.

Insaturação - É o nome dado à dupla ligação (ligação "pi") presente num composto orgânico.

Ionização - É o processo de produção de íons em solução, em reação ou quando átomos ou moléculas recebem energia.

Íons - Partícula eletricamente carregada que se forma quando um átomo neutro ou um conjunto de átomos “ganha” ou “perde” um ou mais elétrons.

Isômeros - Compostos químicos que têm a mesma fórmula molecular, mas diferente estrutura molecular ou diferentes arranjos dos átomos no espaço.

Isótopo - Átomos que têm núcleos com o mesmo número atômico, mas números de massa diferentes; os respectivos núcleos têm o mesmo número de prótons, mas número de nêutrons diferentes.

Ligação dupla - ligação covalente em que há compartilhamento, por dois átomos, de dois pares de elétrons ligantes.

Ligação química - força atrativa forte que existe entre átomos que formam a molécula da substância.

Ligações covalentes - Ligação química formada pelo compartilhamento de um par de elétrons por dois átomos.

Ligações de hidrogênio - força fraca ou moderada entre um átomo de hidrogênio ligado covalentemente a um átomo muito eletronegativo e a um par isolado de elétrons em outro átomo eletronegativo, pequeno. Representa-se por segmento pontilhado.

Líquido - estado da matéria, fluido, relativamente incompressível, com volume fixo, porém sem forma determinada.

Luz polarizada - Luz em que os componentes do campo elétrico e magnético se encontram em planos específicos.

Massa Molar - A massa de um mol de substância. Expressa em gramas, é numericamente igual ao peso formal da substância expresso em unidades de massa atômica.

Massa Molecular - A soma das massas atômicas, em unidades de massa atômica (uma), dos átomos que constituem a molécula.

Material - Espécie de matéria que não tem composição química perfeitamente definida.

Molécula - Grupo definido de átomos quimicamente unidos uns aos outros por forças atrativas significativas.

Momento de dipolo - grandeza que mede o grau de separação das cargas numa molécula.

Nêutrons - Partícula constitutiva dos núcleos atômicos. Tem massa quase igual à do próton, mas não tem carga elétrica.

Nomenclatura Química - Denominação sistemática dos compostos químicos.

Núcleo - Porção central do átomo, carregada positivamente e constituída por prótons e nêutrons.

Olefinas - é um hidrocarboneto alifático, ou seja, de cadeia aberta, apresentando pelo menos uma ligação dupla entre os carbonos.

Paradigma - Algo que serve de exemplo geral ou de modelo = PADRÃO.

Peso molecular (PM) - A soma dos pesos atômicos de todos os átomos que constituem uma molécula.

Plaquetas - Elemento figurado do sangue que intervém na sua coagulação (número normal 250 000 por mm^3) = TROMBÓCITO.

Prisma - Cristal que decompõe a luz.

Produto - Qualquer substância formada numa reação química.

Propriedade física - Característica de uma substância que se manifesta sem alteração da identidade química.

Propriedade química - Qualquer característica de um material que envolve transformações químicas.

Prótons - Partícula subatômica que tem uma carga elétrica unitária positiva. A massa do próton é 1840 vezes maior que a massa do elétron.

Radiação Eletromagnética - As ondas eletromagnéticas são uma combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propagam simultaneamente através do espaço transportando energia.

Reação de neutralização - Reação entre um ácido e uma base que leva á

formação de composto iônico e possivelmente água.

Reação química - Transformação em que uma ou mais espécie de matéria é transformada em uma ou mais de uma espécie diferente. Reordenação de átomos presentes nas substâncias reagentes para dar combinações químicas novas presentes nos produtos da reação.

Receptores - Um receptor é uma proteína ou um complexo de proteínas localizado no interior ou na superfície de uma célula, que reconhece especificamente e interage com um composto que atua como um mensageiro molecular (neurotransmissor, hormônio, fármaco, etc). Em um sentido mais amplo, o termo receptor é frequentemente usado como sinônimo para qualquer sítio específico de ligação de fármacos (em oposição a não específico, como a ligação às proteínas do plasma), também incluindo ácidos nucleicos, tais como o DNA.

Resposta farmacológica - É uma reação que depende da dose, velocidade e extensão com que o fármaco se liberta do medicamento e torna-se disponível para atuar no seu alvo.

R_f (fator de retenção) - relação ou quociente das distâncias percorridas simultaneamente desde a origem até o centro da mancha de uma substância e até o máximo percorrido pelo dissolvente.

Rotação - Movimento giratório de um corpo à roda do seu eixo fixo.

Sal - composto iônico formado numa reação de neutralização.

Sólido - Estado da matéria caracterizado pela rigidez mecânica, incompressibilidade, forma fixa e volume definido.

Solvente - É a substância na qual a dissolução ocorre. O solvente mais conhecido e usado no mundo é a água.

Substância - Espécie de matéria que não pode ser separada em outras espécies por procedimentos físicos.

Substâncias Orgânicas - São formadas a partir dos arranjos do elemento químico carbono.

Supercondutor - São certos materiais que apresentam, quando esfriados a temperaturas extremamente baixas, a capacidade de conduzir corrente elétrica sem resistências e nem perdas de energia.

Temperatura de ebulição - Temperatura na qual a pressão de vapor de um líquido é igual à pressão aplicada.

Temperatura de fusão - Temperatura em que existe em equilíbrio a fase sólida e líquida.

Teoria - Conjunto de proposições que traduzem modelo aceito para um grande grupo de fenômenos naturais.

Teoria atômica - A explicação da estrutura da matéria em termos das combinações diferentes dos diversos átomos.

Tubo capilar - O tubo capilar é um tubo de vidro, idêntico a um tubo de ensaio, mas de dimensões muitíssimo pequenas. Tem esta designação uma vez que só se pode introduzir no seu interior substâncias que ocupem muito pouco volume semelhante ao de um capilar.

Vidro de relógio - Objeto, usado em laboratório, para pesar pequena quantidade de substância, para evaporar pequenas quantidades de soluções e para cobrir béqueres e outros recipientes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:

http://www.on.br/revista_ed_anterior/glossario/alfabeto/e/imagens/espectro-eletromagnetico_logo.

Figura 2:

http://www.uranometrianova.pro.br/cursoa/astrofisica_estelar01/fisical010.htm.

Figura 3:

<http://www.general-anaesthesia.com/images/antoine-lavoisier.jpg>.

Figura 4:

. adaptado de: <http://www.unb.br/iq/litmo/>.

Figura 5:

adaptado de: <http://www.unb.br/iq/litmo/>.

Figura 6:

<http://media-2.web.britannica.com/eb-media/21/8421-004-101E314.jpg>.

Figura 7:

<http://sergioqueiroz.files.wordpress.com/2009/08/atomo.jpg>.

Figura 8: Produzido pela autora.

Figura 9:

Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 10:

[http://www.linde.com/International/Web/LG/Br/like35lgspgbr.nsf/repositorybyalias/ana_meth_msl/\\$file/MS_1.gif](http://www.linde.com/International/Web/LG/Br/like35lgspgbr.nsf/repositorybyalias/ana_meth_msl/$file/MS_1.gif).

Figura 11: Reproduzido de: silverstein, r. m; webster, f. x; kiemle, d. j. identificação espectrométrica de compostos orgânicos, 2006.

Figura 12

:Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 13 :Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi

Figura 14: Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 15: Reproduzido de: silverstein, r. m; webster, f. x; kiemle, d. j. identificação espectrométrica de compostos orgânicos, 2006.

Figura 16:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Aparato_de_espectroscopia_IV_versao2.pngWikipedia.

Figura 17: Reproduzido de: quim. nova, vol. 27. nº 4, 670-673,2004.

Figura 18: Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 19: Rreproduzido de: silverstein, r. m; webster, f. x; kiemle, d. j. identificação espectrométrica de compostos orgânicos, 2006.

Figura 20: Reproduzido de: <http://www.cienciaviva.pt/rede/space/home/fig1.jpg>.

Figura 21: Reproduzido de:

<http://www.chem.ucalgary.ca/courses/351/carey5th/ch13/ch13-nmr-1.html>.

Figura 22: Reproduzido de: silverstein, r. m; webster, f. x; kiemle, d. j. identificação espectrométrica de compostos orgânicos, 2006.

Figura 23: Reproduzido de: qne nº16, nov2002.

Figura 24: Reproduzido de: silverstein, r. m; webster, f. x; kiemle, d. j. identificação

espectrométrica de compostos orgânicos, 2006.

Figura 25:

Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 26:

Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 27:

Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 28:

Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 29:

http://2.bp.blogspot.com/_BO7w8uqXVks/SOENiGZqepI/AAAAAAAAAhY/NsMWSEoJun0/s400-R/8170.JPG.

Figura 30: Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 31:

http://www.energia.com.br/professores/alquimistas/curiosidades/formula_02.jpg.

Figura 32:

Reproduzido de: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi.

Figura 33: <http://senseofdisorder.files.wordpress.com/2008/07/piracetam.png>.

Figura 34:

Reproduzido de: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/03/remedios.pdf>.

Figura 35:

Reproduzido de: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/03/remedios.pdf>.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, W. B.; SANTOS, H. F. dos. Modelos teóricos para a compreensão da estrutura da matéria. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*. Minas gerais, nº04, maio, 2001, p. 6-13.

ALVES, C.; LIMA, R. V. B. Uso de suplementos alimentares por adolescentes. *J. Pediatr.*, Rio Janeiro, vol.85, n.4. 2009. pp. 287-294. <Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jped/v85n4/v85n4a04.pdf>.> Acesso em: 02/03/2010.

BAGATIN, O. et al, Rotação da luz polarizada: abordagem histórica com proposta experimental, *Química nova na escola*, Nº 21, maio 2005.

BARREIRO, E, J. Sobre a química dos fármacos, dos remédios e dos medicamentos. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, São Paulo, Nº 3 – Maio 2001, páginas 4-9. Disponível em: <http://qnesc.sbjq.org.br/online/qnesc_16/>. Acesso em: 24/02/2009.

BRADY, J. E.; RUSSEL, J. W; HOLUM, J. R. *Química: a matéria e suas transformações*. Traduzido por: J. A. Souza. 3ª Ed., Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v 1, 2002.

CAMEL, T. de O.; KOEHLER, C. B. G. e FILGUEIRAS, C. A. L.. A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula. *Quím. Nova*, vol.32, n.2, 2009, pp. 543-553. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n2/v32n2a45.pdf>> Acesso em 05/03/2009

CAMPOS, R. C. de; SILVA, R. C. De massas e massas atômicas, *Química nova na escola*, Nº 19, Maio 2004.

CHAGAS, A. P. *Como se faz química: uma reflexão sobre a química e a atividade do químico*. 2ª Ed. Campinas: SP: editora da Unicamp,1992.

COLNAGO, L. A.; ALMEIDA, F. C. L.; VALENTE, A. P. Espectrometria de massa e RMN multidimensional e multinuclear de macromoléculas biológicas. *Química nova na escola*, nº 16, novembro 2002, p. 9-14.

COSTA, A. M. A. da. *Para que serve a espectroscopia*, Coimbra, 73-77, Disponível em:<http://www.spg.pt/boletim/docs/BoletimSPQ_088_073_09.pdf. Acesso em: 23/02/2009.

DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. Cromatografia um breve ensaio. *Química nova na escola*. São Paulo. Nº 07, maio 1998.

DIAS, A. G.; SOARES, R. de O. Quiralidade em moléculas e cristais, *Quim. Nova*, Rio de Janeiro Vol. 32, No. 8, 2230-2233, 2009. Disponível em:<<http://quimica.nova.s bq.org.br/qn/qnol/2009/vol32n8/40-ED09009.pdf> >Acesso em 19/12/2009.

EBBING, D. D. *Química geral*. Traduzido por: Horácio Macedo. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

FARIAS, R. F. de. *Introdução à Química forense*. Campinas, SP: Editora Átomo, 2007. 100p.

FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. *Química nova na escola*, nº3, maio de 1996, p.22-25.

FILGUEIRAS, C. A. L. Duzentos anos da teoria atômica de Dalton. *Química nova na escola*, São Paulo, nº 20, p.38-44, Novembro de 2004.

GOLDFARB, A. M. A. As possíveis origens da química moderna. *Química nova*, Ribeirão preto:SP , v. 16, nº 1, abril de 1993, p. 63-68.

HEIN, M.; ARENA, S. *Fundamentos de Química geral*. Tradução de Gerardo Gerson Bezerra de Souza; Roberto de Barros Faria. 9 ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 598p. Título original: Foundations of College Chemistry.

KOROLKOVAS, A; BURCKHALTER, J.H. *Química farmacêutica*. Trad. Por: Andrejus Korolkovas .Rio de Janeiro-RJ:Guanabara Koogan S. A.1988.

LAVOISIER, Antoine-Laurent. *Tratado elementar de Química*. Trad. Por: Laís dos Santos Pinto Trindade. São Paulo: Madras, 1789. 399p.

LOPES, W. A.; FASCIO, M.. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do Infravermelho. *Química Nova*. Salvador: BA, Vol. 27, No. 4, 670-673, 2004. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2004/vol27n4/24-ED03198.pdf> >Acesso em: 10/02/2009.

MAAR, J. H. *Pequena História da Química*. Florianópolis: Papa-livro, 1999.848p.

MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J.; STANITSKI, C. L. *Princípios de Química*. Tradução de Jossyl de Souza Peixoto. 6.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 681p. Título original: Chemical Principles.

MCMURRY, J. *Química orgânica*. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro. 4ª ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1997. Vol 1. Título original: Organic Chemistry, 4th edition.

MORTIMER, E. F. O significado das fórmulas Químicas. *Química Nova na Escola*, São Paulo, nº 3, p.19-21, Maio de 1996.

NETO, W. N. de A. A. Noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, Nº 7, dezembro 2007.

OKI, M. da C. M. O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. *Química nova na escola*, São Paulo, nº26, novembro 2007, p. 24-28. Disponível em: < <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc/26/>> Acesso em: 21/09/2009.

OLIVEIRA, L. F. C. de. Espectroscopia molecular. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, Juiz de Fora Nº 4 – Maio 2001, p.24 – 30.

PEREIRA, R. F.; LAJOLO, F. M.; HIRSCHBRUCH, M. D. Consumo de suplementos por alunos de academias de ginástica em São Paulo. *Rev. Nutr.*, Campinas, v. 16, n. 3, set. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rn/v16n3/a04v16n3.pdf> acesso em: 25/01/2010.

RIBEIRO, C. M. R. R.; SOUZA, N. A. de . Esquema geral para Elucidação de substâncias orgânicas usando métodos espectroscópico e espectrométrico. *Química nova*, Rio de Janeiro, 2007, Vol. 30, No. 4, 1026-1031. Acesso em : 04/04/2009. Disponível em: < <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n4/46-ED06368.pdf>>.

ROCHA, W. R. Interações intermoleculares. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, Juiz de Fora, Nº 4 – Maio 2001, p. 31-36.

ROQUE, N. F; SILVA, J. L. P. B. A linguagem da Química e o ensino de Química orgânica, *Química nova*, Salvador, vol. 31, nº 4, Mar/abr 2008, p. 921-923. Disponível em:< <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n4/33-ED08026.pdf>> Acesso em: 20/09/2009.

SANTOS, H. F. dos. O conceito da modelagem molecular. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, Nº 4 – Maio 2001.

SEGRÈ, E., *Dos raios X aos quarks: físicos modernos e sua descobertas*. Traduzido por: Wamberto Hudson Ferreira, Brasília: DF: Editora Universidade de Brasília, 1987.

SHRINER, R. L. et all. *Identificação sistemática de substâncias orgânicas*. Tradução de Horácio Macedo. 6 ed. Rio de Janeiro-RJ: Editora Guanabara Dois S.A. 1983. 517p. Título original: The Systematic Identification of organic Compounds.

SILVERSTEIN, R. M; WEBSTER, F. X; KIEMLE, D. J. *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro.7.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2006. 490 p. Título original: Spectrometric identification of organic compounds.

SOARES, B. G.; SOUZA, N. A . DE; PIRES, D. X. *Química orgânica: teoria e técnicas de preparação, purificação e identificação de compostos orgânicos*. Rio de Janeiro-RJ: Guanabara. 1988. 322 p.

SOLOMONS, T. W.; FRYHLE, C. B. *Química orgânica 1*. Tradução de Whei Oh Lin. 7.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2001. 645p. Título original: Organic Chemistry.

STRAHERN, P. *O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química*. Trad. Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2002. 264p.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O átomo e a tecnologia. *Química nova na escola*, n° 3, maio 1996.

TOSTES, J. G. Estrutura molecular o conceito fundamental da química. *Química nova na escola*, Rio de Janeiro, N° 7, MAIO 1998, p.17-20.

VIANNA, H. E. B.; PORTO, P. A. o processo de elaboração da teoria atômica de John Dalton. *Cadernos temáticos de Química nova na escola*, São Paulo n° 07, dezembro de 2007, p. 4-13.

VIDAL, B. *História da Química*. Traduzido por: Antônio Filipe Marques, São Paulo: Edições 70, v. 1, 1986.

VIDAL, P. H. O; CHELONI, F. O.; PORTO, P. A. O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n° 26, páginas 29-32 nov. 2007. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc26/>>. Acesso em: 21/08/2009

VOGEL, A. I. *Química orgânica: análise química qualitativa*, 3ª Ed. Rio de Janeiro: ao livro técnico S.A., v 3, 1971.