



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA

**DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM EM ESTEQUIOMETRIA: UMA
PROPOSTA DE ENSINO APOIADA NA MODELAGEM**

LIVIA CRISTINA DOS SANTOS

Natal, 2013

LIVIA CRISTINA DOS SANTOS

**DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM EM ESTEQUIOMETRIA: UMA
PROPOSTA DE ENSINO APOIADA NA MODELAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como pré-requisito para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Márcia Gorette Lima da Silva

Natal, 2013

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial
Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Santos, Livia Cristina dos.

Dificuldades de aprendizagem em estequiometria: uma proposta de ensino apoiada na modelagem / Livia Cristina dos Santos. - Natal, 2013.

153 f. : il.

Orientadora: Profª. Dra. Márcia Gorette Lima da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

1. Estequiometria – Dissertação. 2. Dificuldades de aprendizagem – Dissertação. 3. Modelagem – Dissertação. 4. Formação docente – Dissertação. I. Silva, Márcia Gorette Lima da. II. Título.

RN/UF/BSE-CCET

CDU: 662.611.2

RESUMO

Para aprender/ensinar química alguns temas são relevantes, entre eles a estequiometria, que consiste no estudo das relações ponderais de combinação de elementos e compostos entre si. Este assunto é fundamental para a compreensão/representação/previsão das transformações químicas. Ao considerar estes aspectos, nosso estudo apresenta uma proposta para trabalhar o conteúdo de estequiometria com futuros professores de química apoiando-se em elementos da modelagem. Para tanto, realizamos uma revisão de literatura sobre o ensino de estequiometria a partir da qual procurou-se identificar as dificuldades de aprendizagem, utilizando tanto questionários como provas pedagógicas para, a partir delas propor uma unidade de ensino para este conceito e, consequentemente, a avaliação de nossa proposta. Os sujeitos participantes foram estudantes da licenciatura em química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) de diferentes períodos. Como referencial metodológico, apoiamo-nos na análise textual discursiva para caracterização da fala dos participantes. Como principais resultados foram observados a concepção de aparecimento ou desaparecimento de matéria durante as transformações químicas, desconsideração das proporções estequiométricas ao usar desenhos para representar a reação a nível submicroscópico e confusão da grandeza quantidade de matéria com outras grandezas, tais como massa e volume. O produto final é uma sequência didática para o ensino de estequiometria apoiada no referencial sobre modelagem com o objetivo de promover a habilidade de articular os níveis de interpretação da matéria macroscópico e submicroscópico.

Palavras-chave: estequiometria, dificuldades de aprendizagem, modelagem, formação docente.

ABSTRACT

In order to learn/teach chemistry some themes are relevant, like the stoichiometry, which consists in the study of the weight ratios in the combination of elements and compounds between themselves. This is an underlying subject in the understanding/representation/forethought of chemical reactions. Considering these aspects, our study presents a modeling-based proposal to develop the content of stoichiometry with prospective chemistry teachers. With this aim, we have made a review of literature, which we considered when tried to identify the learning difficulties using both quizzes and pedagogical tests, and then, from those difficulties we could propose a teaching unit for this concept and, consequently the evaluation of our proposal. The participants were chemistry undergraduates at the Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) from assorted levels. As a methodological framework, we rely on the discursive textual analysis to characterize the speech of participants. As main results we observed ideas of appearance or disappearance of matter during chemical transformations, disregard of stoichiometric proportions when using drawings to represent the microscopic level of a reaction and confusion between the magnitude amount of matter and other magnitudes such as mass and volume. The final product is a sequence of instruction, based on the modeling previous research literature, with the goal of improving students ability to articulate the macroscopic and submicroscopic levels of representation of the matter.

Key-words: stoichiometry, learning difficulties, modeling, teacher training.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

PET	Programa de Educação Tutorial.....	10
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte.....	10
PIBID	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação a Docência.....	10
SEDIS	Secretaria de Educação a Distância.....	10
REUNI	Programa de Reestruturação e expansão das Universidades Federais.....	10
IC	Iniciação Científica.....	10
PPGECNM	Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência Naturais e Matemática	10
OCEM	Orientações Curriculares do Ensino Médio.....	12
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	17
SI	Sistema Internacional de Unidades.....	23
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada.....	25
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio.....	34
PCNmais	Parâmetros Curriculares Nacionais Mais.....	34

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1:	Focos de interesse da Química.....	35
ESQUEMA 1:	Processo de aprendizagem baseada em modelos.....	40
ESQUEMA 2:	Modelo para a construção de modelos.....	44
FIGURA 2:	Triângulo dos significados em química.....	47
ESQUEMA 3:	Organização metodológica da pesquisa na forma de um “Vê” de Gowin.....	50
QUADRO 1:	Atividades planejadas para o alcance de cada objetivo específico da investigação.....	52
ESQUEMA 4:	Tipos de atividades segundo sua finalidade didática.....	57
TABELA 1:	Categorias das respostas e respectivos percentuais sobre as dificuldades de aprendizagem em estequiometria.....	64
TABELA 2:	Conexão entre as análises para cada ponto de enfoque.....	67
ESQUEMA 5:	Porcentagens das unidades de significado sobre a questão 1 referente a aplicação da lei de conservação das massas.....	68
ESQUEMA 6:	Porcentagens das unidades de significado sobre a questão 3 referente a aplicação da lei de conservação das massas.....	70
ESQUEMA 7:	Porcentagens das unidades de significado dos termos de uma reação química referentes a questão 2.....	72
ESQUEMA 8:	Porcentagens das unidades de significado dos termos de uma reação química referentes a questão 4.....	73
FIGURA 3:	Estrutura representada pelo aluno 2 do grupo 2 para a questão de número 4.....	74
FIGURA 4:	Estrutura representada pelo aluno 14 do grupo 2 para a questão de número 4.....	74
FIGURA 5:	Representação produzida pelo aluno 39 do grupo 2 para a questão de número 4.....	75
ESQUEMA 9:	Porcentagens das unidades de significado sobre quantidade de matéria/mol referentes a questão 5.....	76
ESQUEMA 10:	Porcentagens das unidades de significado sobre quantidade de matéria/mol referentes a questão 6.....	77
ESQUEMA 11:	Porcentagens das unidades de significado sobre quantidade de matéria/mol referentes a questão 7.....	79
QUADRO 2:	Resumo da proposta didática aplicada com alunos de licenciatura em química.....	83
FIGURA 6:	Representação da reação química por meio de uma equação e	86

	de um desenho por uma aluna.....	
QUADRO 3:	Trechos de falas dos alunos durante a fase 4.....	87
FIGURA 7:	Modelo para o processo de efervescência da vitamina C elaborado pelo grupo 1.	89
FIGURA 8:	Modelo para o processo de efervescência da vitamina C elaborado pelo grupo 2.....	89
FIGURA 9:	Modelo para os sistemas reacionais do grupo 1.....	90
FIGURA 10:	Modelo para os sistemas reacionais do grupo 2.....	91

SUMÁRIO

Apresentação	10
 Capítulo 1: O conteúdo de estequiometria na educação básica.....	17
1.1 O ensino da estequiometria: uma revisão da literatura	17
1.2 Aspectos didático-pedagógicos sobre o tema: sinalizações a partir dos documentos legais e da literatura.....	34
 Capítulo 2: Modelos e modelagem.....	37
2.1 Modelos e tipologias.....	37
2.2 Os modelos e o ensino.....	39
2.3 A abordagem da modelagem.....	42
 Capítulo 3: Elaboração da proposta de ensino a partir das dificuldades de aprendizagem	48
3.1 Percurso Metodológico.....	48
3.2 Proposta de ensino.....	53
3.3 Uso de unidade didática ou sequência de atividades.....	54
3.4 Aplicação da análise textual discursiva.....	59
 Capítulo 4: Resultados e discussão.....	61
4.1 Objetivo1:Identificar dificuldades dos estudantes sobre o tema e seus conhecimentos sobre os conteúdos necessários a sua aprendizagem	61
4.1.1 Dificuldades identificadas	62
4.2 Objetivo 2: Desenvolver, aplicar e avaliar uma unidade de ensino para o tema estequiometria, levando em consideração a produção existente na área abordando, exclusivamente, o conceito de quantidade de matéria.....	81

Considerações finais.....	92
Referências.....	94
Apêndice	105

Apresentação

Apresentar um trabalho nos faz recordar/refletir sobre algumas passagens do percurso formativo. Entre as que contribuem com o delinear deste trabalho estão nossas atividades desenvolvidas durante o curso de licenciatura em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e posteriormente no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática (PPGECNM) desta instituição.

Durante o curso de licenciatura em Química tive a oportunidade de atuar na UFRN como bolsista das modalidades do Programa de Educação Tutorial (PET), Iniciação Científica (IC), tutoria à distância para licenciatura em química pela Secretaria de Educação a Distância (SEDIS) além de participação ativa nos projetos do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação a Docência (PIBID).

Nestas situações, tive a oportunidade de aprender e vivenciar diferentes estratégias de ensino coordenadas sob a orientação das professoras doutoras Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein e Márcia Gorette Lima da Silva. As atividades desenvolvidas contribuíram com minha formação permitindo aproximação com atividades laboratoriais, contato com alunos do ensino médio, participação de eventos acadêmicos como congressos e oficinas, leitura de produções acadêmicas específicas para o ensino de ciências/química no grupo de estudo em ensino de química entre outras atividades que foram além da formação dada pelas disciplinas da estrutura curricular da Licenciatura em Química.

Embora durante a graduação tenha vivenciado várias atividades complementares, ainda sentia insegurança para atuar como professora. Foi no anseio de uma formação melhor que o mestrado profissional em Ensino de Ciências Naturais e Matemática surgiu como mais uma oportunidade que pudesse satisfazer algumas inquietações. Como discente do PPGECNM tive a oportunidade de atuar como bolsista do Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) nas disciplinas de química fundamental I e II do curso de licenciatura em química sob a orientação do professor doutor Carlos Neco da Silva Júnior. A atuação como bolsista na formação de professores no primeiro ano do mestrado delineou meu objeto de estudo.

Durante a graduação tive acesso a muitas leituras no grupo de estudo tais como aprendizagem significativa na perspectiva de Ausubel e Gowin (MOREIRA, 2006;

NOVAK E GOWIN, 1984), mas foi durante as disciplinas de pós-graduação que meu interesse foi aguçado ao ler um texto sobre dificuldades de aprendizagem no ensino de química e, observando a experiência vivenciada como bolsista REUNI nas disciplinas de química fundamental me interessei pelo conteúdo de estequiometria. Este texto comentava que a falta de habilidade dos estudantes ao resolver questões que tratavam do conceito de reagente limitante, se devia a não compreensão da conservação da matéria nas transformações, atribuindo à dificuldade dos estudantes de transitar entre os três domínios de interpretação da matéria (macroscópico, submicroscópico e simbólico). Estes aspectos delinearam a escolha do tema e o nível de ensino para desenvolver uma proposta de ensino que pudesse superar dificuldades apontadas na literatura.

Considerando esse ponto de partida, nossa proposta procurará situar alguns aspectos referentes ao ensino de estequiometria na educação básica e superior no campo disciplinar da química como relevante para o entendimento de outros. Apesar de não ser nosso objeto de estudo, entendemos que o uso dos documentos legais da educação básica é relevante na formação de professores, pois é recomendável considerar conceitos abordados neste nível de ensino como elementos orientadores na estruturação curricular para o magistério. Paralelamente, apresentaremos as principais dificuldades de aprendizagem deste tema à luz de outras investigações relatadas na literatura. Por fim, considerando o papel da formação inicial do professor de química no processo de aprendizagem deste conteúdo, defenderemos que a discussão do mesmo, muitas vezes mecanizada nos cursos de licenciatura em química da nossa instituição, pode ser inserida de forma problematizada no componente curricular de Química Fundamental I o qual se configurará como nossa proposta de ensino (produto).

Cabe destacar o porquê da opção do conteúdo de estequiometria em termos científicos, o qual delineará, mais uma vez, nosso estudo.

A Química é a ciência que estuda a composição dos materiais, suas propriedades e transformações. Isto envolve a compreensão da matéria sob o ponto de vista macroscópico (das propriedades e modificações perceptíveis através dos sentidos humanos) e submicroscópico (espécies elementares e seus comportamentos), este último é desenvolvido através de modelos explicativos, ou seja, tratam-se de representações que fundamentam a previsão e a elaboração de explicações sobre o comportamentos das partículas.

Para representar os materiais de forma microscópica e macroscópica a Química utiliza símbolos. Essa simbologia faz parte de uma linguagem específica, que é necessária à comunicação e compreensão na área e ao trabalho com as perspectivas macroscópica e submicroscópica (JOHNSTONE, 1982 citado por ROSA e SCHNETZLER, 1998, p. 33), a saber:

- a) Nível descritivo e funcional (macroscópico): é o campo onde se pode ver e manusear materiais, analisar e descrever as propriedades das substâncias em termos de densidade, ponto de fusão etc. e observar e descrever suas transformações.
- b) Nível simbólico (representacional): é o campo onde representamos substâncias químicas por fórmulas e suas transformações por equações. É a linguagem sofisticada do conhecimento químico.
- c) Nível explicativo¹ (submicroscópico): é o nível onde invocamos átomos, moléculas, íons, estruturas, que nos dão um quadro mental para racionalizar o nível descritivo mencionado acima.

A manipulação de fatores característicos desses três níveis de interpretação é essencial no processo de incorporação desta linguagem. Para isso, é necessário conhecer os aspectos referentes a esses três níveis e às relações entre eles.

Ao consultarmos as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM), percebemos que o documento indica a importância da capacidade de lidar com os três níveis de representação da matéria, ao determinar como habilidades necessárias ao estudo da química a:

- " [...] identificação das transformações químicas por meio das propriedades das substâncias;
- compreensão das propriedades das substâncias e dos materiais em função das interações entre átomos, moléculas ou íons e,
- tradução da linguagem simbólica da Química, compreendendo seu significado em termos microscópicos [...] (BRASIL, 2006, p. 113 e 114)

Face ao exposto, observamos que o conteúdo de estequiometria é essencial no aprendizado da Química, pois envolve a transição constante entre distintos domínios da matéria. De que forma? A estequiometria é o campo que lida com as relações quantitativas das transformações químicas que estão implícitas nas fórmulas e nas

¹ O nível submicroscópico é abstrato, não pode ser observado macroscopicamente.

equações químicas. Estas últimas são expressões simbólicas para as relações quantitativas a nível macroscópico e submicroscópico. Ou seja, para aprender estequiometria é necessário compreender a representação das transformações químicas em seus três níveis.

A compreensão dos três níveis de interpretação da química é uma habilidade essencial a ser desenvolvida durante o estudo da estequiometria. Além desta, também é relevante o manejo da grandeza quantidade de matéria². Essa magnitude estabelece a conexão entre o campo submicroscópico e o macroscópico, o que torna a sua introdução um momento crucial para o professor no processo educativo.

Entre as vantagens do estudo de estequiometria refere-se ao fato de praticamente todos os conteúdos da química farão uso de equações químicas e de cálculos provenientes da estequiometria. Este conhecimento tem extensa aplicação no contexto tecnológico, por exemplo, quando falamos em indústria química não há como não pensar em cálculos estequiométricos e o entendimento desse conceito está diretamente relacionado à compreensão de vários fenômenos químicos que ocorrem ao nosso redor, sendo necessário para que os estudantes possam interpretar as transformações químicas em diferentes contextos.

Ao assumirmos a importância do estudo da estequiometria e das dificuldades de aprendizagem expressas por estudantes, ressaltamos o quão relevante é o papel do professor ao mediar estes pontos para favorecer o aprendizado da Química.

Dificuldades estas sinalizadas em diferentes estudos (ROSA, SCHENETZLER, 1998; CHANDRASEGARAN et al, 2009; GARCIA et al, 1990; FURIÓ et al, 1993; FURIÓ et al, 1999; PADILLA et al, 2005; ROGADO, 2005, entre outros) sinalizam que estudantes de diversos níveis de ensino podem ter problemas de compreensão do conceito de quantidade de matéria (natureza da definição, grandeza do número de Avogadro); confusão entre mol/quantidade de matéria/número de Avogadro/massa molar e suas unidades; dificuldade de transição entre os três níveis de interpretação; preferência dos estudantes na resolução matemática que envolve a estequiometria sem considerar os princípios químicos, as representações simbólicas no nível

² Neste texto trataremos da grandeza cuja unidade é o mol como quantidade de matéria ou quantidade de substância como se esses termos fossem sinônimos. No capítulo 1 discutiremos alguns aspectos que envolvem estes termos.

submicroscópico; a não compreensão da conservação da matéria e interpretação das fórmulas e equações químicas entre outras.

Outras investigações (FURIÓ et al, 1999; PADILLA et al, 2005; ROGADO, 2005) descrevem que professores apresentam algumas das mesmas dificuldades e ignoram a origem e a evolução do conceito de quantidade de matéria, o que também é percebido nos livros didáticos de ensino superior e médio. Muitos não introduzem a quantidade de matéria e a substituem pelo “número de mols”, relacionando essa grandeza a massa ou ao número de Avogadro, além de não exibirem discussões sobre a construção e evolução dos significados desses conhecimentos. O que pode ser resultado da não problematização destes conceitos na formação do futuro professor de química ao operacionalizar o uso da estequiometria sem uma discussão sobre sua importância no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes.

Considerando os pontos discutidos, o foco que emerge do contexto traçado pela vivência nas experiências docente como bolsista REUNI são as dificuldades que os estudantes do curso de licenciatura apresentam em compreender e relacionar o significado da equação química e da sua grandeza quantidade de matéria.

Durante nosso estudo de três anos que iniciou-se em meados de 2010 e se encerrou em 2013, a questão central é se a utilização de uma proposta alternativa de ensino de estequiometria focada nas dificuldades dos estudantes pode levá-los a compreensão da transformação química como um processo global de conservação das massas.

Nossa hipótese é que trabalhar situações a partir da modelagem pode levar os futuros professores a desenvolver uma compreensão adequada das características de um modelo e seu processo de construção (metacognição).

Assim, nosso estudo dirige-se a propor uma sequência de atividades para abordar estequiometria com futuros professores de química, utilizando a modelagem como ferramenta para a construção do significado estequiométrico das reações químicas a partir da compreensão das equações químicas balanceadas como modelos para esses processos que se baseiam nas leis ponderais. Esta proposta consiste no produto da nossa dissertação.

Para trabalhar com a passagem entre as multi-perspectivas da química, optou-se pelo uso de modelos baseado em outros trabalhos com a utilização dessa estratégia

(MIGLIATO, 2005; DAVIDOWITZ et al, 2010) e à concordância com a ideia expressa por Clemente (2000) de que a elaboração de modelos permite ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas através das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo.

A compreensão das transformações químicas e, conseqüentemente, da estequiometria, exige dos estudantes que entendam as mudanças que veem em função daquilo que não podem ver, sendo a capacidade de abstração essencial nesse processo. Como proposta para desenvolver esta habilidade, tentaremos trabalhar com futuros professores a construção e progressão de representações mentais que os levem a compreender o significado das equações químicas e relacioná-lo às suas observações macroscópicas.

Assumimos que o uso desta estratégia propicia a discussão de como se produz o conhecimento químico. Na evolução dessa ciência um ponto importante tem sido a criação de modelos que expliquem os fenômenos observados. Discuti-los em sala de aula pode aproximar dos estudantes a ciência, quer dizer, os ajudará a lidar com o caráter multifacetário da química; a construir de forma apropriada o conceito de quantidade de matéria e mol; a resolver problemas que envolvam a estequiometria e lhes dará uma base sólida para a aquisição de novos conhecimentos em química.

De modo que, defendemos nesse trabalho que a produção e discussão de representações concretas de como as transformações químicas acontecem a nível submicroscópico, a partir das observações macroscópicas provenientes de atividades experimentais, pode ajudar na construção da compreensão da conservação da massa nesses processos, e no desenvolvimento da habilidade de transitar entre os três níveis de interpretação da matéria.

Para alcançar o propósito deste trabalho nos guiaremos pelos seguintes objetivos específicos:

- a) Conhecer as dificuldades dos estudantes no tema e seus conhecimentos sobre os conteúdos necessários a sua aprendizagem;
- b) Desenvolver, aplicar e avaliar uma unidade de ensino para o tema estequiometria, levando em consideração a produção existente na área;
- c) Divulgar a unidade de ensino aos professores e futuros professores por meio de cursos de curta duração.

A proposta de desenvolvimento da dissertação de mestrado está organizada em 4 capítulos, a saber:

No Capítulo 1, apresentamos algumas pesquisas sobre o ensino de estequiometria envolvendo as dificuldades de aprendizagem, os recursos didáticos produzidos, as estratégias de ensino utilizadas e discussões que permeiam os conceitos de quantidade de matéria e mol. Abordam-se também as orientações dos documentos legais que norteiam o ensino deste conteúdo na educação básica e, conseqüentemente, necessários a formação de professores.

No Capítulo 2, introduzimos o conceito de modelos e suas características de acordo com os diferentes contextos que se relacionam com o ensino. Explicitamos, também, as bases teóricas utilizadas a respeito do ensino baseado na construção de modelos e sobre a abordagem da modelagem.

No Capítulo 3, apresentamos o percurso metodológico destacando as ações desenvolvidas para alcançar os objetivos traçados e o uso do referencial de unidade didática na construção da nossa proposta.

No Capítulo 4, descrevemos e discutimos os resultados desta pesquisa referentes às concepções dos futuros professores, inferindo suas dificuldades de aprendizagem. São apresentadas as categorias que emergiram das respostas à luz do referencial teórico assumido. Além disso, relatamos a experiência da aplicação parcial da unidade de ensino sugerida.

Por fim, por se tratar de um mestrado profissional, cujo produto seja destacável da dissertação, optamos por apresentar a proposta de ensino com as atividades desenvolvidas, os roteiros das atividades experimentais e os textos e demais materiais produzidos no apêndice dessa dissertação.

CAPÍTULO 1: O CONTEÚDO DE ESTEQUIOMETRIA NO ENSINO BÁSICO

Neste capítulo apresentaremos um panorama geral de trabalhos desenvolvidos sobre o ensino de estequiometria, destacando as dificuldades de aprendizagem dos alunos e estratégias de ensino que têm relação com os três domínios do estudo da química e as discussões relacionadas ao conceito de quantidade de matéria. Finalizaremos este capítulo abordando algumas das orientações dos documentos legais brasileiros para o ensino deste conteúdo na educação básica.

1. O ensino da estequiometria: uma revisão da literatura

Para a elaboração desta síntese e aproximação do tema de estudo procuramos fazer um levantamento dos trabalhos publicados na área de Ensino de Química. Assim, utilizamos como ferramentas para a busca quatro diferentes fontes, a saber: periódicos³ qualificados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na área de Ensino que continham publicações sobre química, nos idiomas português, espanhol ou inglês e outros periódicos recomendados por pesquisadores mais experientes; bases de dados⁴ da mesma agência que reuniam periódicos sobre educação, química e educação química; anais de encontros na área de ensino de ciências⁵; e outras referências citadas em publicações como teses e dissertações.

Nestas fontes se fez uma consulta com base nos termos: estequiometria, equação química, leis ponderais, lei da conservação das massas, lei das proporções constantes/múltiplas, mol, Número de Avogadro, balanceamento, reagente limitante, fórmulas químicas, rendimento, pureza e quantidade de matéria.

Após a consulta, procedeu-se a leitura dos resumos para identificar a relevância do texto com relação ao objetivo do nosso estudo, que era realizar um apanhado geral

³ Alambique, Alexandria, Annales de Didactique et de Sciences Cognitives, Ciência & Ensino, Ciência e Educação, Ciência em tela, Educación Química, Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, Enseñanza de las Ciencias, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Experiências em Ensino de Ciências, International Journal of Science Education, Investigações em Ensino de Ciências, JCOM, Journal of Science Communication, Journal of Science Education and Technology, Química Nova na Escola, Química Nova, REEC, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Química, Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, Research in Science Education, Research in science & technological education e Science & Education.

⁴ Foram consultadas 31 bases de dados que apresentavam em sua descrição a possibilidade da presença de material na área de ensino de ciências.

⁵ ENPECs, ENEQs, ENDIPEs e dos Congressos Internacionais sobre investigación en la didáctica de las ciencias

sobre a produção existente em torno do ensino da estequiometria. Verificou-se que alguns materiais que se mostravam relevantes ao ensino de estequiometria estavam disponíveis na rede mundial de computadores, enquanto que grande parte não (principalmente em língua inglesa e com mais de 10 anos de publicação), o que significa que estes materiais não estão acessíveis a muitos professores, a quem se dirigiam, principalmente, esses estudos. As publicações disponíveis foram examinadas e divididas nas seguintes categorias:

- ✓ recursos didáticos.
- ✓ dificuldades de aprendizagem;
- ✓ sequências didáticas;
- ✓ discussão da quantidade de matéria e suas relações;

Aqueles materiais que apresentavam maior relação com estas categorias foram considerados relevantes para a construção de um panorama sobre a produção científica relacionada ao ensino de estequiometria em nosso trabalho.

Categoria: Recursos didáticos

Esta categoria apresentou trabalhos que envolviam estratégias/técnica para a conversão de fórmula percentual para fórmula empírica (GILBERT, 1998); softwares que balanceiam equações químicas (ROSEN, 1977; JONES e SCHWAB, 1989; CAMPANARIO, 1995); novas técnicas de balanceamento (GARCIA, 1987; GUO, 1997; TÓTH, 1997; OLSON, 1997); algoritmos para a resolução de questões (KRIEGER, 1997); técnica para ajudar a resolver problemas e exercícios (AULT, 2001). Há também, estudos que produzem e aplicam atividades experimentais (ROSER e MCCLUSKEY, 1999; ROHRIG, 2000; MUROV e STEDJEE, 2001; DEMEO, 2004) que possam ajudar a contextualizar o conteúdo de estequiometria.

Destes estudos resumiremos o relato de Deffitt (2009) que aborda a dificuldade de um grupo de estudantes para resolver problemas de estequiometria. Este autor desenvolveu um módulo educativo como ferramenta de orientação para resolver problemas e exercícios de estequiometria. O estudo é realizado em turmas da disciplina

Química I em uma universidade venezuelana⁶. No percurso metodológico deste trabalho realiza-se uma prova exploratória para identificar dificuldades e necessidades dos alunos bem como seu grau de disposição para com a disciplina e de envolvimento na mesma. Sinaliza que os estudantes não conseguiram resolver todos os problemas, além de não demonstrarem o domínio dos conhecimentos necessários a sua resolução. Eles não apresentam uma sistematização ao buscar a solução do problema, o que deu ao autor embasamento para a construção do material didático. Entre as principais dificuldades destacadas pelo autor refere-se à resolução de questões que envolviam reagente limitante.

Deffitt (2009) descreve a elaboração de um módulo instrucional para a resolução de questões que envolvam estequiometria contendo orientações aos estudantes do ensino superior sobre os diferentes tipos de atividades relacionadas a este conteúdo e seus objetivos de aprendizagem. Apresenta os passos necessários a resolução tais como análise do problema, busca de um plano, cálculo, verificação do resultado e avaliação do aprendido com o problema e exemplos da aplicação desses passos em cada um dos tipos de exercício. O material apresenta também noções teóricas básicas de estequiometria e orientações de conhecimentos prévios necessários para resolução dos exercícios e à expectativa dos autores com relação às habilidades a serem desenvolvidas com a utilização do módulo. Os resultados, segundo o autor, a partir das avaliações finais mostraram uma melhoria no desempenho dos alunos.

Outro grupo de trabalho propõe o uso de analogias associadas a cálculos e atividades experimentais para ajudar o estudante a entender a grandeza do número de Avogadro (ALEXANDER, EWING e ABBOTT, 1984; POSKOZIM, 1986; DIEMENTE, 1998; BINDEL, 2002; UTHE, 2002;). Um exemplo destes trabalhos é apresentado por Aguirre, Vázquez e Fernández (2009) que sugerem uma série de recursos didáticos, como o uso de um vídeo para elucidar situações sobre potências de 10, trabalho com cálculo de progressão matemática com casas de um tabuleiro de xadrez e grãos de trigo que tinha como objetivo que os alunos conseguissem perceber a extensão do número de Avogadro e, como última proposta sugere a utilização de uma atividade experimental para calcular o número de Avogadro.

⁶ O estudo foi desenvolvido na unidade de estudos básicos da Universidad de Oriente Núcleo de Bolívar.

Categoria: Dificuldades de Aprendizagem

Os trabalhos relacionados a esta categoria consideram que o tema estequiometria é de difícil aprendizagem para os alunos e, por esse motivo, muitos se dedicam a compreender as razões pelas quais cometem equívocos ao verbalizar e aplicar conceitos em estequiometria (TÓTH e SEBÉSTYEN, 2009; SCHMIDT 1990; BOUJAOUDE e BARAK, 2003). Entre as causas são citadas a dificuldade de abstração e transição entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico de interpretação da matéria (SAVOY, 1988; ANDERSON, 1990; HUDDLEY e PILLAY, 1996; ARASASINGHAM et al, 2004); grandeza do número de Avogadro; confusão entre mol/quantidade de matéria/número de Avogadro/massa molar (DUNCAN e JOHNSTONE, 1973; STAVER e LUMPE, 1995) e dificuldades no manejo de técnicas matemáticas (GABEL e SHERWOOD, 1984). Observamos que estas causas se repetem ao longo de diferentes faixas etárias e independentemente da região geográfica.

Um dos estudos procura identificar as ideias de 713 estudantes entre 13 e 19 anos, de diferentes níveis de ensino, sobre massa e conservação (TORRE e JIMÉNEZ, 1992). Estes autores utilizam como instrumento um questionário e uma prova pedagógica solicitando a resolução de três problemas que envolvem a aplicação de conceitos de massa, volume, densidade, evaporação, solvente, dissolução, reação química, equação química e lei de conservação das massas. Os resultados sinalizam que para os conceitos massa e lei de conservação das massas, a maioria dos participantes que afirma compreendê-los os definem corretamente. Mas, ao resolver os problemas, constata-se que a maioria destes participantes indica a possibilidade de aparecimento ou desaparecimento de massa e a aplicação correta da lei de conservação das massas quando em situação de transformação (dissolução e combustão) se dá em maior grau pelos que a definiram corretamente. Estes autores inferem que não há relação entre o conhecimento do enunciado de um conceito e a sua compreensão.

Landau e Lastres (1996) estudam a opinião de estudantes ingressantes em um curso universitário de química quanto à conservação da massa em uma transformação química. Ao perguntar sobre como se alteram as quantidades de ar e de sólido na oxidação de um metal, 83% das respostas encontradas contrariavam o enunciado lavoisierano. Resultado esperado, considerando que os autores apontam estudos em outros países (DRIVER, 1985; MOLINA, 1988) que já indicavam a dificuldade dos alunos em compreender a conservação das massas.

Sabendo que as atividades com estequiometria, quase que invariavelmente, implicam a aplicação desta lei e que as investigações apontam para o fato dos estudantes não conseguirem compreendê-la apropriadamente, espera-se o desenvolvimento de ações que possam reverter este quadro. Sendo assim, Landau e Lastres (1996) assumem que o docente deva trabalhar com o estudante a conexão entre as diferentes perspectivas de interpretação da matéria. Em virtude de atribuírem a falta de compreensão da lei de conservação das massas à dificuldade de transição entre essas perspectivas, pois quando se consegue entender as transformações químicas a nível submicroscópico e relacioná-lo com o que se percebe macroscopicamente, a conservação da massa adquire sentido.

Nesta mesma direção, Hinton e Nakhleh (1999) estudam as representações mentais que estudantes, com bom desempenho acadêmico em uma turma inicial de graduação em química de uma universidade dos Estados Unidos, têm a respeito das reações químicas a nível macroscópico, submicroscópico e simbólico e das relações estabelecidas entre esses níveis para essas transformações. Foram realizadas entrevistas, nas quais foram apresentadas quatro reações químicas. O estudo revelou que, apesar do elevado desempenho acadêmico dos estudantes, estes demonstravam o uso de algoritmos sem buscar um significado nos aspectos conceituais envolvidos. Além disso, perceberam que o grupo conseguiu atribuir corretamente às reações aspectos macroscópico, submicroscópico e simbólico, mas quando se necessitava que estabelecessem relações entre esses aspectos, eles não conseguiam realiza-la. Uma possibilidade para tal resultado pode estar no fato de que a compreensão dos estudantes de como a matéria é interpretada nos três domínios não obrigatoriamente os leva ao entendimento de como estes se relacionam entre si.

Outro estudo desenvolvido por Yaroch (1985, apud HINTON e NAKHLEH, 1999) já havia identificado esta dificuldade ao entrevistar estudantes de ensino médio que apresentavam êxito ao balancear equações químicas. O autor verificou que a metade não conseguia representar diagramas submicroscópicos que fossem razoavelmente consistentes com a equação obtida. Foram coletados desenhos consistentes com o número total de partículas atômicas envolvidas, mas não em relação as fórmulas das substâncias e os coeficientes na equação. O autor infere que os estudantes procuram associar os índices e coeficientes de forma algébrica, tomando a equação química como uma equação matemática e não como uma expressão de um processo em escala submicroscópica com um correspondente macroscópico.

Outro estudo apresentado por Vogelezang (1987) indica que mesmo quando os estudantes parecem entender a transformação química “como o aparecimento de novas substâncias”, muitas vezes, podem associar essa transformação como sendo a aquisição de novas propriedades pelas mesmas substâncias.

São mencionadas pesquisas mostrando que estudantes do ensino básico veem o mundo submicroscópico como uma miniatura do macroscópico, isto é, “o que se aplica ao macro também se aplica ao submicro”. Um exemplo desta opinião é verbalizada como, “o ouro é dourado porque possui átomos de cor dourada e a água é líquida porque é composta de moléculas líquidas” (BEN-ZVI et al, 1987, apud Rosa e Schnetzler, 1998, p. 32) ou ainda:

as transformações químicas ocorreriam tendo sempre um material ‘mais importante’ que é transformado devido à ação de outros reagentes... o ‘reagente principal’ seria sempre um sólido, pois é maciço, visível, ou um ácido, porque é forte. De acordo com este raciocínio, o gás oxigênio, por exemplo, não é importante nas reações de combustão porque é invisível (CACHAPUZ, 1988, apud Rosa e Schnetzler, 1998, p. 32)

Como causas apontadas na literatura para essas concepções, destacam-se a falta de discussões sobre o conhecimento científico e a não explicitação por parte dos professores e materiais didáticos das relações entre os níveis submicroscópico (modelos explicativos da matéria) e macroscópico (fenômenos observáveis).

Veronez e Piazza (2007), ao investigarem alunos brasileiros do ensino médio quanto às ideias que tinham a partir das equações químicas sobre as relações estequiométricas nas transformações químicas, constataram que mostravam incompreensões sobre a conservação das massas numa reação química, mas conseguiam balancear com sucesso as equações, ou seja, “não interpretam esta relação com a noção de conservação da massa”. Conseguem identificar a quantidade de átomos de um elemento nas fórmulas químicas, mas não compreendem o significado dessas fórmulas, mostrando que não as interpretam em nível submicroscópico. Demonstram dificuldade nos cálculos matemáticos de proporções ao resolver problemas envolvendo leis ponderais.

Tratando de questões mais associadas à resolução de exercícios em estequiometria, Chandrasegaran et al (2009) pesquisam opiniões dos estudantes sobre o

conceito de reagente limitante e suas estratégias de resolução para questões que envolvem esse conceito. Participaram do estudo cinco alunos de ensino médio, que receberam, ao longo do ano, quatro problemas diferentes de estequiometria envolvendo reagente limitante. Para cada questão os alunos deveriam responder verbalizando seus pensamentos, logo após eram entrevistados sobre como haviam resolvido a questão. Todos mostraram entendimento satisfatório do conceito, mas não demonstraram ao verbalizar a forma de resolução. Os autores destacam uma tendência no uso de algoritmos, usando exclusivamente o raciocínio matemático, no qual não demonstravam dificuldades, a tal ponto que quando não era fornecida a equação química eles não sentiam a necessidade de escrevê-la. Mas, quando diante de problemas mais complexos, nos quais se tornava difícil a aplicação dos algoritmos, os estudantes recorriam a estratégias de raciocínio que envolviam a avaliação de princípios relacionados à estequiometria da equação balanceada. O trabalho concluiu que o uso de problemas com maior nível de elaboração incentiva os alunos a usarem estratégias de resolução de problema em vez de algoritmos.

Um foco de investigação relevante relacionado ao ensino de estequiometria é o estudo sobre as dificuldades de aprendizagem sobre o conceito de quantidade de matéria e de sua unidade, o mol. Neste âmbito, Garcia et al (1990) discutem a dificuldade intrínseca a própria formação do conceito (que será discutida mais adiante nessa revisão), abordando como as relações entre a quantidade de matéria e massa, volume e número de partículas, por si só, produzem confusões por provocar a associação da grandeza cuja unidade é o mol com qualquer uma dessas outras, quando na realidade tratamos de uma magnitude diferente. O grupo de investigação faz o uso de um questionário para conhecer as ideias dos estudantes sobre mol e os conceitos relacionados (ideias gerais sobre átomos e moléculas, mol como unidade do SI, relação número de partículas – massa molar, relação quantidade de matéria-número de partículas, relação quantidade de matéria/massa e estequiometria). O instrumento foi aplicado a 650 alunos tanto no ensino médio como universitários.

Com relação à definição de quantidade de matéria, os alunos identificaram como massa molar, de molécula ou de volume molar, este último era mais frequente à medida que eles se encontravam em níveis de ensino mais avançados. Isto é, o estudo sinaliza que os estudantes não compreendiam as relações estabelecidas entre a quantidade de matéria e as outras grandezas, mas demonstravam entender que a quantidade de matéria

é o mesmo que massa ou volume. Além disso, foram relatadas dificuldades na diferenciação entre massa molecular e massa molar, na compreensão da conservação de massa em uma reação e dos significados das relações estequiométricas em uma reação química, independente do nível de ensino.

Furió et al (1993) estudaram representações mentais dos estudantes referentes à quantidade de matéria, verificando como a formação no ensino secundário contribuiu para uma visão dessa grandeza, para isso compararam os resultados de alunos que estavam no ensino básico com os daqueles que já estavam na Universidade, ou seja, haviam estudado o conceito em foco no ensino secundário. Utilizaram questionário com 500 sujeitos, cujos resultados destacam que a maioria dos estudantes associa a quantidade de matéria à massa ou ao volume e não ao número de partículas, mesmo ao longo dos níveis de ensino.

Entretanto, ao analisar aqueles estudantes mais adiantados nos estudos, verificava-se uma queda na quantidade de alunos que associavam quantidade de matéria a massa e aumentava a quantidade deles que associava essa grandeza ao volume. Os autores inferem que a forma operativista como o conceito de mol é introduzido, sem aproximação com as ideias que fazem parte de sua origem e evolução, impede a atribuição pelo aluno de significado a essa unidade, resultando em suas dificuldades.

Furió, Azcona e Guisasola (1999) partem da hipótese de que as dificuldades dos estudantes estão relacionadas à falta de conhecimento docente sobre a gênese e evolução do significado dos conceitos de quantidade de matéria e mol. Estes autores investigam ideias de professores de bacharelado concernentes a esses conceitos, em que medida essas ideias estão de acordo com as da comunidade química e se existe alguma relação entre as dificuldades de compreensão destes conceitos pelos professores e seu desconhecimento dos problemas ocorridos na construção histórica desses conhecimentos. Por meio da entrevista de professores licenciados, obteve-se que quase 50% dos professores não associam a quantidade de matéria ao número de partículas, associando a massa ou volume (associações equivalentistas⁷). E com a análise de 87 livros (25 de ensino superior e 62 de médio) percebeu-se que a maioria não apresenta um significado claro para a magnitude quantidade de matéria, não problematiza esse

⁷ Segundo Furió, Azcona e Guisasola (1999) no início do século 20 encontravam-se em conflito dois paradigmas na ciência: o equivalentista que sustentava a continuidade da matéria e o atomista que apoiava a descontinuidade da matéria como composta por pequenas partículas.

conceito e abordam amplamente o conceito de “número de mols”. A IUPAC destaca que:

" [...] A unidade no SI de quantidade de substância é o mol. A magnitude física quantidade de substância não deveria mais denominar-se número de mols, assim como a magnitude física massa não deveria denominar-se número de quilogramas [...]" (apud. FURIÓ et al, 1999, p. 363) [tradução nossa]

Além disso, poucos textos estabelecem uma relação entre quantidade de matéria e número de mols. Por volta de 72% desses materiais atribuem, equivocadamente, o significado do conceito de mol a massa ou ao número de partículas. Com relação a história, 31% dos textos apresentam comentários sobre a origem do conceito de mol e apenas 1,1% discutem as modificações em sua definição. Mais de 88% dos professores não apresenta nenhum comentário sobre o surgimento, a evolução ou as relações estabelecidas pelo conceito de quantidade de matéria, a maioria dos livros e dos professores associam a quantidade de matéria a massa ou ao número de partículas elementares. E todos os professores afirmam desconhecimento total da história do conceito.

Padilla, Furió e Azcona (2005) investigam as concepções históricas e epistemológicas de 23 professores universitários sobre os conceitos de quantidade de matéria e mol e como estes são tratados em 30 livros universitários de química. Os resultados deste estudo mostram que 90% dos livros analisados não comentavam o contexto histórico do conceito de mol ou do paradigma envolvido. Já os professores entrevistados afirmam conhecer o contexto histórico do conceito de mol, mas poucos demonstram de fato sabê-lo. Os autores ainda identificaram inconsistências conceituais na compreensão dos conceitos de quantidade de matéria e mol, como a confusão dos conceitos com massa ou número de Avogadro.

No Brasil, Rogado (2005) promove um estudo similar com estudantes de licenciatura, professores de ensino médio e livros do ensino médio e superior. Os resultados são similares aos encontrados na literatura internacional: a maioria dos professores usa “número de mols” no lugar de quantidade de matéria e atribuem a essa grandeza a ideia de uma “massa química” ou de um “número de Avogadro” de partículas. Os livros reforçam tal posição ao não mencionar quantidade de matéria, mas

apenas o número de mols e incorporam ao conceito de mol o significado equivalentista; e, em quase todos, inexistem qualquer abordagem histórica ou problematização dos conceitos.

Destes estudos observamos a dificuldade de aprendizagem dos conceitos quantidade de matéria e mol tanto entre estudantes da educação básica como entre licenciandos e professores.

É ainda importante para o nosso trabalho destacarmos a revisão feita por De Jong e Taber (2007) sobre as dificuldades dos estudantes diante dos "múltiplos significados" das reações químicas: macroscópico, através da observação das modificações das propriedades em função da conversão de substâncias em outras; submicroscópico através da compreensão de que são processos de rearranjos de partículas; e simbólico através da representação com equações e fórmulas químicas. Os autores citam pesquisas que investigam as concepções dos estudantes sobre as reações com relação ao aspecto macroscópico, dividindo-as em algumas categorias, a saber: desaparecimento de material; deslocamento da matéria de um local ao outro; modificação da substância, segundo essa concepção a mudança de estado é uma transformação química; a transmutação de matéria em energia e de energia em matéria.

Além disso, alguns estudantes falham em reconhecer uma transformação química devido à falta de conhecimento sobre a identidade das substâncias, identificam propriedades como substâncias e têm dificuldade em perceber a participação dos gases nas transformações químicas, o que leva a uma dificuldade em compreender a lei de conservação das massas quando há reagentes neste estado físico.

Quanto à perspectiva submicroscópica de abordagem das transformações químicas, as pesquisas revisadas pelos mesmos autores (DE JONG e TABER, 2007) reconheceram nos estudantes ideias de atribuição de características macroscópicas a representações submicroscópicas e dificuldades relacionadas ao uso das espécies submicroscópicas que eles conheciam para explicar o processo químico em termos de quebra/formação de ligações e rearranjos de partículas. E, por fim, quanto ao significado simbólico, os estudos mostram que os estudantes não compreendem os significados das fórmulas químicas, relacionando a fórmula como a "representação de uma unidade de uma substância" e as letras da fórmula como representando substâncias que estão misturadas. Eles não compreendem o significado dos índices das fórmulas e

dos coeficientes estequiométricos e enxergam o balanceamento como uma operação meramente matemática.

É grande o rol de dificuldades identificadas na literatura referentes a aprendizagem das reações químicas e do conteúdo de estequiometria, o que gera uma demanda no sentido do desenvolvimento de estratégias que venham a beneficiar o ensino deste tema, alguns trabalhos direcionados a isso são explanados no próximo tópico.

Categoria: Sequências didáticas⁸

Há um número significativo de trabalhos produzidos nos últimos anos com relação a estratégias de ensino para estequiometria especialmente a partir do avanço das pesquisas sobre dificuldades de aprendizagem.

Assim, entre as estratégias de ensino desenvolvidas para o ensino do conteúdo de estequiometria estão: o uso de modelos e analogias (TÓTH, 1999; THAMBURAJ, 2001; WITZEL, 2002; HAIM et al, 2003; AULT, 2006); a abordagem por meio de mudança conceitual (WOOD e BREYFOGLE, 2006; DAHSAH et al, 2008); o ensino por resolução de problemas (NAKHLEH, 1993; SCHMIDT, 1997; BIRD, 2006), o desenvolvimento e uso das tecnologias da informação e comunicação para auxiliar os estudantes na compreensão e resolução de problemas (ROBINSON, 2003) entre outros. Procuraremos, a seguir, apresentar exemplos de investigações desenvolvidas para cada um destes blocos de sequências.

Migliato Filho (2005) desenvolveu minicursos sobre estequiometria com alunos de ensino médio, usando como estratégia de ensino modelos moleculares. O autor introduz o tema em uma discussão teórica com atividades experimentais. Após as ações de ensino, verificavam as opiniões deles por meio de exercícios que envolviam aplicação das leis ponderais, das relações entre grandezas/unidades em química e a compreensão dos conceitos de reagente limitante, grau de pureza e rendimento. Ao resolverem o primeiro exercício, os estudantes não tinham acesso ao uso dos modelos moleculares, mas tinham acesso a essa ferramenta na resolução do restante das questões.

⁸ Diferenciamos sequências didáticas de recursos didáticos, no sentido de que as sequências constituem conjuntos de ações articuladas com o objetivo de ensinar um conceito ou um conteúdo, enquanto que os recursos constituem sugestões de materiais ou atividades que possam ser usados em uma sequência didática organizada.

Do cruzamento dos resultados o autor sinaliza que quando era possível usar modelos o número de respostas corretas aumentava. Percebeu também que a aplicação da lei das proporções constantes e do conceito de reagente limitante foram as maiores dificuldades dos alunos, mesmo com o uso dos modelos. Um resultado importante no seu estudo foi a verificação de que os estudantes tornavam-se independentes do uso dos modelos a medida que passavam a novas atividades, o que foi interpretado como sinal de que houve melhoria na capacidade de abstração. Mesmo assim, aqueles estudantes que usavam os modelos por mais tempo apresentavam melhor desempenho nos exercícios. O sucesso desse estudo mesmo em cursos de baixa duração demonstra o valor do uso de modelos como estratégia para a transição entre os modos de interpretação da matéria submicroscópico, macroscópico e simbólico.

Outra proposta para trabalhar a relação entre as multiperspectivas do estudo da química foi apresentada por Davidowitz, Chittleborough e Murray (2010), os quais ressaltam o valor do uso de diagramas que representem o mundo submicroscópico para auxiliar na visualização dos conceitos. Os autores alertam para o uso de diagramas que levem a erros conceituais como, por exemplo, a representação de reações com apenas a quantidade estequiométrica de moléculas de cada reagente quando na realidade há várias moléculas envolvidas no meio reacional. O estudo investiga o uso de diagramas do submicroscópico para sondar as dificuldades dos estudantes com a montagem e o balanceamento de equações químicas e com outros procedimentos relativos ao conteúdo de estequiometria. Solicitaram aos estudantes que interpretassem diagramas do nível submicroscópico e os relacionassem a representações simbólicas, assim como que desenhassem seus próprios. O objetivo era saber como a construção de modelos do nível submicroscópico contribuiria no entendimento das equações químicas e estequiometria. O instrumento composto por cinco questões as quais solicitavam aos participantes o uso de desenhos para representar a nível submicroscópico e simbólico em equações químicas; a resolução de questões de estequiometria usando quantidades baseadas nos diagramas do submicro; o desenho do sistema reacional ao fim da reação usando os diagramas e a resolução de problemas de estequiometria em que algoritmos poderiam ser utilizados. Os autores observam, a partir das respostas, que a maioria dos alunos conseguia traduzir bem o diagrama de uma equação química que não apresentava reagente em excesso, mostrando que compreendiam o significado das fórmulas químicas em termos submicroscópicos, mas ainda tinham dificuldade de trabalhar neste

nível. Além disso, comparam a porcentagem de respostas corretas a duas questões similares. A primeira utiliza um diagrama submicro para representar uma reação e a outra dá a equação para a reação. Nesta observaram um maior número de acertos em função da possibilidade para resoluções algorítmicas, enquanto que a primeira não possibilitava esse tipo de resolução. Inferiram uma preferência ou talvez maior facilidade dos alunos com essa abordagem, de modo que na questão que apresenta o diagrama o uso de modelos explicativos do nível submicroscópico são mais desafiadores para os alunos do que o uso de algoritmos. Mesmo assim, os diagramas ajudaram os alunos a compreender as transformações a nível submicroscópico e aumentaram seu desenvolvimento conceitual.

Sobre o ensino do conceito de quantidade de matéria, Balocchi e outros (2005 e 2006) publicam três artigos onde abordam o uso da aprendizagem cooperativa⁹ no ensino deste conceito tendo como base a teoria atômica de Dalton. Os autores partem das concepções alternativas dos estudantes divulgadas na literatura e buscam através de atividades que são fornecidas aos estudantes abordar o conteúdo de estequiometria. A estratégia de ensino é desenvolvida de modo que as atividades do caderno sejam desenvolvidas em grupos heterogêneos de quatro integrantes. A heterogeneidade do grupo é assegurada pela divisão dos grupos baseadas nas respostas dos estudantes a um questionário inicial, as tarefas que devem ser realizadas em grupo, mas cada integrante tem uma ficha de respostas individual e a responsabilidade do desempenho de cada um é do grupo inteiro. Os cadernos são projetados como atividades na perspectiva construtivista¹⁰ considerando o nível cognitivo dos estudantes. Esses materiais estão disponíveis (BALOCCHI et al. 2005 e 2006) e contém explicações aos estudantes sobre como deve ser desempenhado o trabalho cooperativo e o que se espera deles. Apresenta também comentários explicativos e analogias, além das questões, problemas e atividades planejadas. Por último o caderno expõe uma síntese do que se desejava que os estudantes aprendessem durante o processo.

Balocchi e outros (2006) apresentam, no último da série de três artigos, recomendações para o ensino de quantidade de matéria, que são:

⁹ Aprendizagem cooperativa é um método de ensino que leva os estudantes trabalharem juntos em pequenos grupos focados em uma tarefa especialmente estruturada (COOPER, 1995, apud. Balocchi et al. 2005).

¹⁰ Segundo o autor, de acordo com essa perspectiva, o conhecimento é encarado como um produto cuja construção se dá na mente do estudante e não como um produto que se passa diretamente da mente do professor para a do aluno.

revisar conceitos necessários a compreensão do tema, iniciar por esclarecer o significado da magnitude quantidade de substância, deixar clara a diferença entre quantidade de substância, massa, volume e número de partículas, fazer exercícios de cálculo de massas molares e de sua aplicação para o cálculo de quantidade de substância a partir da massa, familiarizar o aluno com a constante de Avogadro e resolver problemas estequiométricos (Balocchi et al, 2006, p. 13-15) [tradução nossa].

A segunda e a terceira recomendação abordadas por Balocchi (2006) envolvem uma compreensão adequada do significado da magnitude quantidade de matéria e das relações que estabelece com outras grandezas. Esse tema é objeto de vários trabalhos e será apresentada uma breve síntese de alguns desses trabalhos no próximo tópico.

Categoria Discussão da quantidade de matéria e suas relações

Entre os aspectos que se destaca sobre a relevância do ensino da estequiometria é a introdução de uma das sete grandezas físicas fundamentais: a quantidade de matéria e sua unidade, o mol (INMETRO, 2003).

A quantidade de substância é a terceira dimensão associada à matéria, difere da massa e do volume, mas é proporcional a essas grandezas, assim como a massa e o volume diferem um do outro, mas se relacionam entre si. A construção desse conceito foi problemática ao longo da história e sua definição tem sido objeto de dificuldade em sala de aula, por isso, há uma vasta quantidade de publicações na literatura que trata de discussões sobre a natureza desse conceito e possíveis modificações na forma como ele é ensinado (LEE, 1961; COHEN, 1961; DIERKS, 1981; GORIN, 2003), desta forma é interessante apresentar o que se discute em alguns desses trabalhos.

Sobre o uso dos termos quantidade de matéria, Rocha-Filho (1988) contesta a sua coerência com a grandeza a qual se referem. Ele defende que o termo quantidade é ambíguo no sentido de poder se referir a volume, massa ou número. Usa nessa defesa a declaração de Cerqueira Leite que ao falar sobre as toneladas de dióxido de carbono que são despejadas na atmosfera, se refere a elas como quantidade de matéria significando “porção de matéria”, associada à grandeza massa. O autor aponta a existência dessa controvérsia desde a origem desse termo e as diferentes propostas de substituição para o nome dessa grandeza. Defende a utilização do termo apoiado no argumento de Lee

(1961, apud. ROCHA-FILHO, 1988) no qual afirma que uma boa terminologia deveria ser distintiva, assim por ser ambíguo o termo não atenderia a essa necessidade. De acordo com o artigo, o nome “quantidade de matéria” deixa claro apenas que se trata de uma grandeza mensurável associada à matéria, o que gera outra inconsistência quando o termo é usado se referindo a outras espécies como fótons que não têm massa. O autor defende a substituição do termo quantidade de matéria pelo termo numerosidade, considerando que a terceira propriedade da matéria se caracteriza por esta ser uma “coleção extremamente numerosa de entidades elementares”. Propõe que se defina mol como, “numerosidade de entidades igual àquela de átomos em 0,012 quilogramas de ^{12}C ” e que o termo quantidade de matéria possa se referir tanto a uma quantidade em volume, massa ou numerosidade. Este último termo também não exige aplicação exclusiva à matéria. É interessante que indica o motivo pelo qual o mol não é definido em função do número de Avogadro devido à incerteza no seu valor.

Em sua revisão sobre as investigações relativas aos conceitos de quantidade de substância e mol, Furió, Azcona e Guisasola (2002) registram essa controvérsia em torno da denominação quantidade de substância e expõem algumas opções que se apresentam em substituição ao termo controverso, entre estas se encontra o conceito de Rocha-Filho (1988) de numerosidade.

Como crítica a essas propostas, autores crêem que a mudança no nome possa aumentar a confusão já existente (HOPPÉ, 1991). De qualquer forma, há muitos trabalhos que indicam a necessidade de mudança na denominação. É interessante que a revisão menciona um problema similar ocorrido no campo da física, onde se usava o termo “quantidade de eletricidade para nomear ao número de massas elétricas” até a adoção do termo mais apropriado: a carga elétrica. A própria IUPAC assume, posteriormente “a denominação alternativa quantidade química” (MILLS et al., 1993).

Um estudo mais atual é apresentado por Gamboa, Corso e Gennari (2006) que explana sobre a relação entre a definição de quantidade de matéria e a definição de mol. Os autores abordam que a primeira não existe independentemente da segunda. A quantidade de matéria é definida como a magnitude cuja unidade é o mol. O que é colocado como um conflito com as definições das outras unidades fundamentais, já que nestes casos o conceito da grandeza existe antes, estabelecido por meio do seu procedimento de medida e depois a unidade é escolhida de “forma arbitrária” e tem “fins comparativos”.

No caso da quantidade de matéria, não há instrumentos que possam medi-la diretamente, por isso não tem como proceder sua definição como se faz para as outras grandezas. Sendo assim, é sustentada a ideia de que o mol não seja mais a unidade de quantidade de matéria e sim “unidade para medir número de partículas ou entidades elementares constituintes de um sistema material dado” e, que a grandeza relacionada ao número de espécies elementares seja chamada de quantidade química.

Ainda devido à impossibilidade de estabelecimento operativo de um padrão para o mol, se defende que este não seja considerado uma unidade fundamental do Sistema Internacional de unidades (SI).

Diferentemente dos trabalhos expostos até o momento, Soares (2006) apresenta uma discussão do conceito de quantidade de matéria e sua unidade, o mol, sob uma perspectiva histórica e epistemológica orientada pela constatação de trabalhos recentes (FURIÓ et al., 1999; ROGADO, 2007) de que um dos motivos que contribuem para o baixo nível de entendimento dos alunos sobre esses temas é a falta de conhecimento dos docentes, quanto a sua origem e evolução histórica. Em seu texto a autora analisa o surgimento dos conceitos, a luz do contexto histórico, social e científico e de sua problematização atual. Para que se compreenda o contexto da construção da quantidade de matéria, ela apresenta o desenvolvimento da estequiometria abordando a importância do seu estudo para a produção de artefatos bélicos para as batalhas da revolução francesa e para a consolidação da química como ciência quantitativa.

Neste caso, é dado destaque ao conflito entre dois químicos, Proust e Bertholet, no tocante a composição das substâncias. O primeiro publicara sua pesquisa onde concluía que a composição de uma substância é sempre a mesma, independentemente, de sua forma de obtenção, enquanto que o segundo afirmava que essa composição era “infinitamente variável”. Como Bertholet já havia obtido reconhecimento como químico devido aos trabalhos desenvolvidos na indústria têxtil e bélica, sua oposição as ideias de Proust retardou o acolhimento geral da lei das composições constantes. Entretanto, Dalton usaria as ideias de Proust, a lei de conservação das massas, a noção quantitativa de equivalência entre substâncias reagentes e seu trabalho com gases, para a elaboração de sua teoria atômica, a qual também seria de difícil aceitação.

Mais tarde as ideias de Proust seriam largamente aceitas devido à percepção de sua aplicabilidade no cálculo das proporções em massa nas reações químicas. Informação necessária ao desenvolvimento industrial na época, enquanto que as de

Dalton permaneceriam em dúvida. Em contraposição à teoria atômica é que emerge o conceito de mol. Apoiando-se no paradigma equivalentista, Ostwald o define como o peso normal de uma substância em gramas.

Como uma “anomalia epistemológica” (FURIÓ e outros, 1999) na história da ciência, a quantidade de matéria, grandeza com relação a qual o mol se tornaria a unidade, só seria introduzida quando surge a necessidade de lidar com o número de espécies elementares nas reações químicas, ao consolidar-se a teoria atômica. Esta magnitude física permitiria a contagem de espécies submicroscópicas a partir de sua relação com dimensões macroscópicas como massa e volume. O mol deixa de ser uma quantidade em massa, exclusivamente macroscópica e passa a ter uma correspondência submicroscópica, o mol é agora a quantidade de substância presente em um sistema com o mesmo número de espécies elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12 (MILLS et al., 1993). O mol não é massa e não é número de partículas é unidade de quantidade de substância, uma grandeza que faz a conexão entre os níveis submicroscópico (número de espécies submicroscópicas) e macroscópico (massa e volume).

Podemos relacionar a evolução dos conceitos de quantidade de matéria e mol e o fato de que, até bem pouco tempo a visão equivalentista expressa por meio do conceito de equivalente químico e de peso normal ainda era fortemente ensinada nas universidades e estava presente nos livros de ensino médio e superior, com a associação que os professores fazem do mol como uma quantidade em massa, o que se estende aos estudantes. Neste âmbito, Soares (2006) e Furió et al (1999) apóiam que o conhecimento docente e sua explanação em aula da construção e evolução do conceito de quantidade de matéria/mol é fundamental na construção de uma visão adequada do conhecimento científico, ao mesmo tempo em que pode auxiliar o aluno a estabelecer relações salutaras entre as perspectivas macroscópica e submicroscópica.

Este estudo se relaciona com os anteriores no sentido de que propõe uma estratégia para ensinar estequiometria baseando-se em técnicas pré-existentes, nas discussões sobre a abordagem do conceito de quantidade de matéria e na percepção das pesquisas sobre dificuldades de aprendizagem cuja principal é a de transição entre os três níveis de descrição da matéria.

1.2. Aspectos didático-pedagógicos sobre o tema: sinalizações de documentos legais e da literatura

Os documentos que direcionam a educação no ensino médio do nosso país, Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio) – PCNEM, Parâmetros Curriculares Nacionais Mais - PCNmais, e Orientações Curriculares para o Ensino Médio - OCEM, destacam aspectos importantes sobre o ensino de química que devem ser considerados pelo docente ao preparar-se para sua função. Neste sentido, sobre a função da aprendizagem da química os PCNEM declaram:

O aprendizado de Química pelos alunos de ensino médio implica que eles compreendam as transformações químicas que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada e assim possam julgar com fundamentos as informações advindas da tradição cultural, da mídia e da própria escola e tomar decisões autonomamente, enquanto indivíduos e cidadãos. Esse aprendizado deve possibilitar ao aluno a compreensão tanto dos processos químicos em si quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas (BRASIL, 2000, p.31).

Para alcançar esse objetivo é necessário que o professor providencie momentos em que o estudante possa tomar decisões com base nas informações de que dispõe e outros em que ele seja capaz de perceber a aplicação dos conceitos ou de aplicá-los ele mesmo.

Sobre a abordagem metodológica da Química no ensino médio as OCEM defendem a contextualização baseada em situações reais ou em experimentação como um dos principais eixos do ensino dessa ciência. De forma que se priorize “o estabelecimento de articulações dinâmicas entre teoria e prática, pela contextualização de conhecimentos em atividades diversificadas que enfatizam a construção coletiva de significados aos conceitos” (BRASIL, 2006, p. 117).

Os PCNmais e as OCEM sinalizam a estruturação do conhecimento em química em três eixos, a saber, ‘transformações químicas’, ‘materiais e suas propriedades’ e ‘modelos explicativos’ ou constituição, conforme figura a seguir:

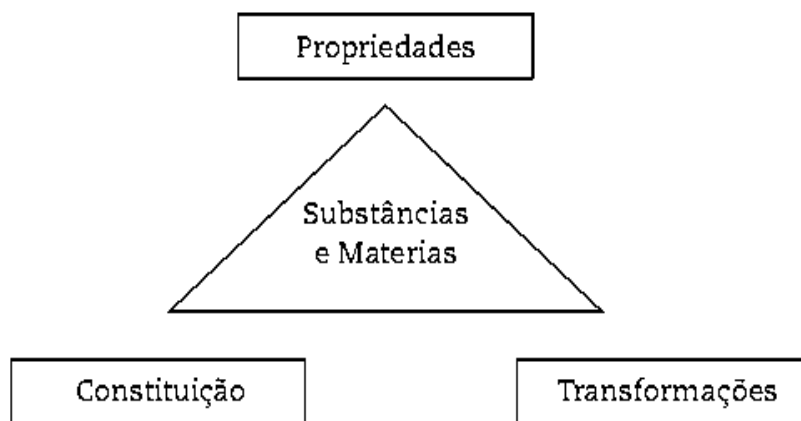


Figura 1 – Focos de interesse da química (BRASIL, 2006, p. 110).

De modo que o estudo da química deve ser voltado à compreensão de seus eixos constitutivos e da relação entre eles. Neste sentido, a estequiometria amplia a visão sobre transformações químicas considerando as relações entre quantidades nas reações químicas e desenvolvendo o conhecimento global das reações em seus aspectos macro, micro e simbólicos.

Sobre a estequiometria química as OCEM apresentam a necessidade de aquisição de certos conhecimentos e habilidades durante seu estudo:

- " [...] - compreensão do significado matemático da composição de materiais e da concentração em massa e em quantidade de matéria de soluções;
- compreensão do significado do coeficiente estequiométrico;
- compreensão de como os químicos prevêm o rendimento de uma reação." (BRASIL, 2006, p.113 e 114).

Quanto ao ensino deste conteúdo, também é sinalizado no PCNEM e no PCNmais como necessidade o tratamento inicial macroscópico, que se aproxima da leitura que o estudante faz do mundo, antes da introdução do trabalho com equações químicas e com o nível submicroscópico. Neste sentido, a apresentação do contexto do desenvolvimento do estudo da estequiometria que iniciou com os estudos das proporções em massa nas transformações químicas exclusivamente a nível macroscópico, pode servir de fundamento, aliado ao uso de atividades experimentais, que é abordado nas OCEM, como elemento de contextualização e pode ajudar a compreender as relações de massa a nível macroscópico.

Tomando em conta a necessidade de passagem ao nível submicroscópico ressalta-se nos PCNEM que:

os fatos macroscópicos já estudados podem ser o ponto de partida para a construção de modelos microscópicos (...)

Um primeiro entendimento da transformação química e suas relações de massa baseia-se na compreensão em nível macroscópico. A seguir, o entendimento desses fatos deve ser feito dentro de visão microscópica, de rearranjo de átomos e relações entre quantidades de matéria. (BRASIL, 2000, p. 34 e 37)

Sobre a transição ao nível simbólico as OCEM apontam como habilidade necessária à aprendizagem da química a “tradução da linguagem simbólica da Química, compreendendo seu significado em termos submicroscópicos” (BRASIL, 2006, p. 114).

Para trabalhar esse processo de transição entre macro-submicro e submicro-simbólico se faz uso de modelos como representações do nível submicroscópico. Considerando que a utilização de modelos no processo de ensino exige a discussão da importância dessas representações em ciência e de suas limitações, durante o uso dessa estratégia é possível o desenvolvimento de outra habilidade mencionada nas OCEM como, o reconhecimento do caráter provisório e incerto das teorias científicas, das limitações de um modelo explicativo e da necessidade de alterá-lo, avaliando as aplicações da ciência e levando em conta as opiniões controversas dos especialistas (BRASIL, 2006, p.115).

Sobre o trabalho com modelos, ao esclarecer quais as atividades referentes à competência da investigação e da compreensão em química, o PCNEM mais apontam a necessidade de “reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos para situações-problema, fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos” (BRASIL, 2002, p.91).

Tendo em mente essas sinalizações dos documentos legais, partimos a construção da nossa proposta à luz do referencial teórico da modelagem. Para tanto, apresentaremos no próximo capítulo um breve cenário sobre este tema.

CAPÍTULO 2: MODELOS E MODELAGEM

Neste capítulo explicitaremos o que estamos chamando de modelos. Faremos uma breve exploração das suas categorias e suas relações com o ensino. Bem como da estratégia adotada do ensino baseado na construção de modelos ou na modelagem.

2.1 Modelos e tipologias

Comentamos no tópico sobre as orientações dos documentos legais, que os PCNEM e as OCEM apontam os modelos explicativos como parte essencial do estudo da química. Espera-se, portanto que ao estudar química, o estudante consiga utilizar tais modelos. Mas, o que estamos chamando de modelos explicativos no ensino?

Antes de entrar nessa questão precisamos pensar na definição de modelos. Nesse trabalho adotaremos a definição de Gilbert e Boulter (1995) citada por Ferreira e Justi (2008, p. 32):

Um modelo pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, evento, processo ou ideia que é produzida com propósitos específicos como, por exemplo, facilitar a visualização; fundamentar elaboração e teste de novas ideias; e possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado.

Essa definição assume que o modelo não corresponde à realidade, apenas a representa. Os modelos podem desempenhar muitas funções, como: simplificar a representação de objetos, visualizar materiais abstratos, fundamentar interpretações, auxiliar o processo de explicação, facilitar a comunicação e fundamentar previsões (JUSTI e GILBERT, 2001).

Voltando à questão, o conceito de modelo considera vários sentidos e categorias na literatura (KAPRAS et al, 1997). Neste trabalho comentaremos quatro destas categorias: os modelos mentais, os modelos científicos, os modelos curriculares e os modelos didáticos.

De acordo com a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (MOREIRA, 1996), os indivíduos produzem em sua mente representações para compreender o

mundo externo, o produto desse esforço são os modelos mentais. Estes são representações internas e idiossincráticas de objetos, eventos ou conceitos, que podem ser formadas quando o sujeito está sozinho ou quando está em grupo, dependendo da forma como interpreta as informações que recebe. Esses modelos correspondem a uma representação analógica do conhecimento e não são acessíveis a outras pessoas, mas podem ser externalizados em outra forma, quer dizer, como modelos expressos.

Já o modelo científico pode ser entendido como uma construção provisória e consensual obtida pela ação conjunta de uma comunidade científica a qual utiliza instrumentos para explorar a realidade e elaborar suas representações. Esse modelo articula um número imenso de hipóteses de alto nível de abstração com relação a um campo problemático da realidade. Seu alto grau de formalização faz com que esse modelo esteja além das capacidades operatórias dos estudantes e da sua disponibilidade de conhecimentos prévios (GALAGOVSKY e ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

Ensinar tais modelos em sala de aula seria inviável. Mas, ao estudar química, o aluno entra em contato com fenômenos, objetos e propriedades que necessitam do uso de modelos para sua interpretação. Gilbert (2004) chama os modelos científicos superados de modelos históricos. Segundo Justi e Gilbert (2000 e 2002, apud LIMA, 2007), o modelo curricular é utilizado pelo professor como uma forma de mediação entre os modelos construídos pelos estudantes, ao tentar compreender um fenômeno químico, e o modelo aceito pela comunidade científica. Para sua elaboração, deve ser preservada a estrutura conceitual do modelo científico ao qual está relacionado e devem ser levadas em consideração as ideias prévias e as habilidades dos estudantes. Para ajudar o processo de ensino/aprendizagem desses modelos existem os modelos didáticos, que podem ser objetos concretos, imagens, analogias, esquemas ou outras ferramentas que auxiliem o professor no processo de ensino.

É importante ressaltar que analogias são formas especiais de modelos, conforme expresso por Coll (2005), "uma analogia pode ser considerada um subconjunto dos modelos já que envolvem a comparação de duas coisas que são similares em algum aspecto." Elas são frequentemente utilizadas na ciência como meio de explicação de um conceito abstrato. Podendo ser utilizadas no ensino, apresentadas pelo professor como forma de explicar um conceito, ou num processo de criação de modelos pelos alunos, elas também aparecem com frequência nos livros didáticos (MONTEIRO e JUSTI,

2000). Um exemplo de analogia no ensino de estequiometria é a comparação das proporções em uma reação química com as proporções em uma receita de bolo.

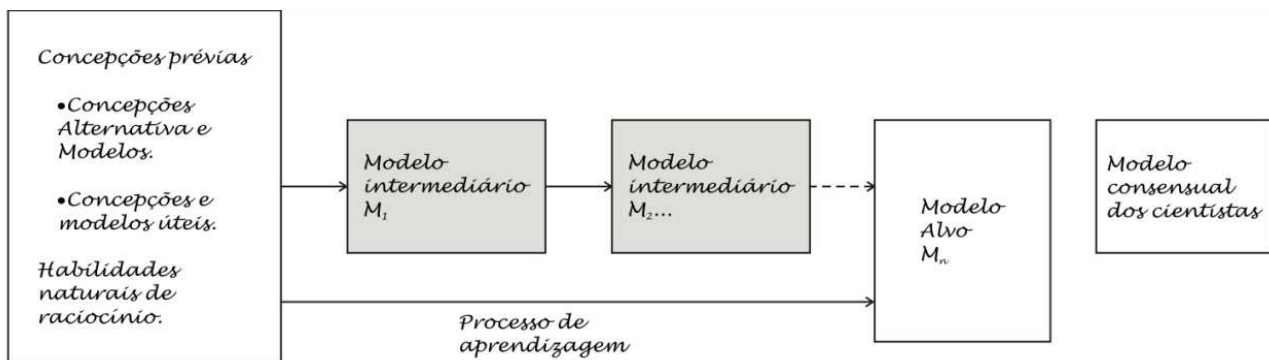
Esses modelos que estamos chamando nesse trabalho de didáticos são chamados por Galagovsky e Adúriz-Bravo (2001) de representações concretas e outros autores chamam de modelos iconográficos (CASTRO, 1992; GUEVARA e VALDEZ, 2004), são representações visuais (ou tácteis) associadas a um modelo científico, que têm como objetivo ajudar na visualização de espécies abstratas. Exemplos destas representações são: o desenho de um orbital, o esquema de uma célula e os modelos moleculares. Ainda sobre essa classificação, Gilbert (2004) sinaliza que os modelos podem ser expressos de cinco maneiras:

- O modo concreto (material) é tridimensional e feito de materiais resistentes, como modelos plásticos de pau e bola para a representação de um retículo iônico (...);
- O modo verbal pode consistir na descrição de entidades e da relação entre elas na representação como, por exemplo, a natureza das bolas e paus na representação pau e bola (...). Isso pode consistir também nas metáforas e analogias em que cada modelo está baseado, por exemplo, 'ligação covalente envolve o compartilhamento de elétrons' que pode ser diferentemente representada por um pau na representação pau e bola ou na representação de esferas. As duas versões podem ser faladas ou escritas;
- O modo simbólico consiste de símbolos e fórmulas químicas, equações químicas, e expressões matemáticas, equações particulares, por exemplo, a lei geral dos gases, as leis de taxa de reação.
- O modo visual faz uso de gráficos, diagramas e animações. Representações bidimensionais de estruturas químicas (desenhos) caem nessa categoria, bem como os 'modelos virtuais' produzidos por programas de computador.
- Finalmente o modo gestual utiliza o corpo ou suas partes, por exemplo, a representação do movimento dos íons durante a eletrólise por meio da movimentação dos estudantes em um contra-fluxo (GILBERT, 2004, p. 118) [tradução nossa]

Sendo assim, os modelos estão presentes no ensino de química quer o professor esteja consciente disso ou não como modelos curriculares presentes nos livros e como modelos didáticos no uso de materiais concretos para representar os conceitos.

2.2 Os modelos e o ensino

Podemos pensar sobre as relações entre algumas das categorias de modelos na aprendizagem por meio do esquema de Clement (2000):



Esquema 1 – Processo de aprendizagem baseada em modelos (CLEMENT, 2000, p.1042) [tradução nossa].

O esquema acima indica a proposta de Clement (2000) para o processo de aprendizagem de modelos, especificando o objetivo final da aprendizagem como um modelo alvo que ‘pode ser menos sofisticado que o modelo científico conceitual’ e o ponto de partida que são as habilidades naturais de raciocínio que vão influenciar nos tipos de representações que o indivíduo será capaz de construir e, as concepções as quais podem ser modelos alternativos que entram em conflito com o modelo alvo e/ou modelos compatíveis com o modelo alvo. Entre as concepções e a meta de modelo mental temos o processo de aprendizagem que pode ocorrer mediante um ou mais modelos intermediários que levem ao desenvolvimento do modelo alvo.

Assim, o processo de aprendizagem de modelos envolve a interação entre os modelos mentais do aluno e os modelos curriculares e didáticos. Escolhe-se o modelo mais adequado dentre um leque de modelos, num processo de negociação de significados mediada pelo professor, o objetivo final é que os estudantes construam modelos mentais adequados à compreensão e interpretação do mundo físico.

Sobre a abordagem dos modelos no ensino, Harrison e Treagust (2000, apud. LIMA, 2007) defendem que a ciência e os modelos exploratórios são inseparáveis, já que os modelos são os produtos e métodos da ciência. Dessa forma, sustentam que os modelos sejam apresentados como construções humanas com suas potencialidades e limitações. O que pode levar os alunos a terem uma maior compreensão sobre o conhecimento científico, considerando que os modelos explicativos são partes integrantes de uma ciência.

Coll (2005) destaca algo importante: o forte componente metacognitivo da abordagem de ensino por meio da elaboração de modelos. Segundo o autor, as pesquisas

recentes apontam que esse tipo de estratégia pedagógica permite que os estudantes desenvolvam "consciência metacognitiva" e reflitam sobre sua própria "compreensão científica".

A literatura aponta que esse tipo de abordagem pode levar os estudantes a aceitarem os modelos não como representações da realidade, mas como a própria realidade (GALAGOVSKY e ADÚRIZ-BRAVO, 2001; GUEVARA e VALDEZ, 2004). Para não incorrer neste problema pode-se trabalhar com a elaboração de modelos pelos estudantes, promovendo discussões sobre essas representações mostrando que estas consistem em uma

imagem particularizada e simplificada de um aspecto da realidade, um modelo é por definição incompleto quando comparado ao referente, o qual usualmente é um sistema complexo. Só algumas características do referente ou do sistema objeto se encontram presentes no modelo (CASTRO, 1992, p. 74).

Coll (2005) apresenta uma breve explanação de estudos prévios a respeito das dificuldades dos estudantes sobre modelos, os quais mostram que além da ideia já explicitada de que são simplificações da realidade, eles podem aprender o modelo sem entender a relação com o conceito que está sendo ilustrado, a não percepção da limitação dos modelos pode levar a formação de concepções alternativas¹¹, insistência no uso de modelos mais simples, mesmo diante de uma gama de modelos mais sofisticados, baixa capacidade de abstração, dificuldade de aplicação do modelo em contextos diferentes e mistura de diferentes modelos.

Gilbert (2004) elenca quatro passos pelos quais os alunos devem passar durante a educação básica para desenvolver a capacidade de produzir e testar seus próprios modelos, que podem ajudar com a superação das dificuldades apresentadas. São estas:

- aprender a usar modelos: trata-se da aplicação dos modelos construídos em situações em que os resultados serão positivos;

¹¹ Ideias que levam os estudantes a manifestar erros conceituais (respostas incoerentes com o conhecimento científico que diferentes alunos de diversos níveis de ensino e regiões fornecem repetidamente e com segurança a questões que necessitam da expressão desse conhecimento).

- aprender a revisar modelos: consiste na reformulação do modelo criado para adequação a novos contextos ou novos objetivos. Envolve ciclos de discussões e revisões dos modelos criados entre os estudantes até que se alcance certo grau de concordância;
- aprender a reconstruir um modelo: envolve o processo de construção de um modelo que os estudantes sabem que existe, mas desconhecem os detalhes. Pela apresentação aos estudantes de questões sucessivas, com graus crescentes de dificuldade que exigem o desenvolvimento de testes mentais ou práticos para construção dos modelos.
- aprender a construir modelos "de novo": a construção de um modelo novamente envolve a percepção da emergência das propriedades do modelo inteiro a partir das propriedades dos componentes do modelo.

O mesmo autor destaca também que para aprendizagem baseada em modelos ser bem sucedida alguns aspectos devem ser enfatizados durante o processo:

- *O estudante deve entender aceitavelmente o que é um modelo.* O que o professor pode fazer ao oferecer ao estudante experiências com uma ampla variedade de modos de representação dos modelos. Nesse período é importante que se destaque a utilidade dos diferentes modelos em um determinado campo de estudo, suas abrangências e limitações. E eles devem ser incentivados usar diferentes formas para construir seus modelos.
- *O estudante ter a capacidade de visualizar os modelos mentalmente.* Isso envolve a capacidade de abstração do indivíduo que vai se desenvolvendo com o avanço da idade e com a oferta pelo professor de experiências com representações.
- O estudante deve entender aceitavelmente a natureza das metáforas e das analogias.

2.3 A abordagem da modelagem

Neste estudo decidimos utilizar a abordagem apresentada por Justi (2006) para um ensino baseado na elaboração de modelos. Ela apresenta um diagrama (esquema 2, p. 43) para essa perspectiva cujas etapas serão utilizadas no nosso estudo. Também usamos como apoio os exemplos dos trabalhos já realizados sob essa perspectiva para o ensino dos temas: ligações químicas, equilíbrio químico e termoquímica (FERREIRA, 2006; SOUZA, 2007; MENDONÇA, 2008).

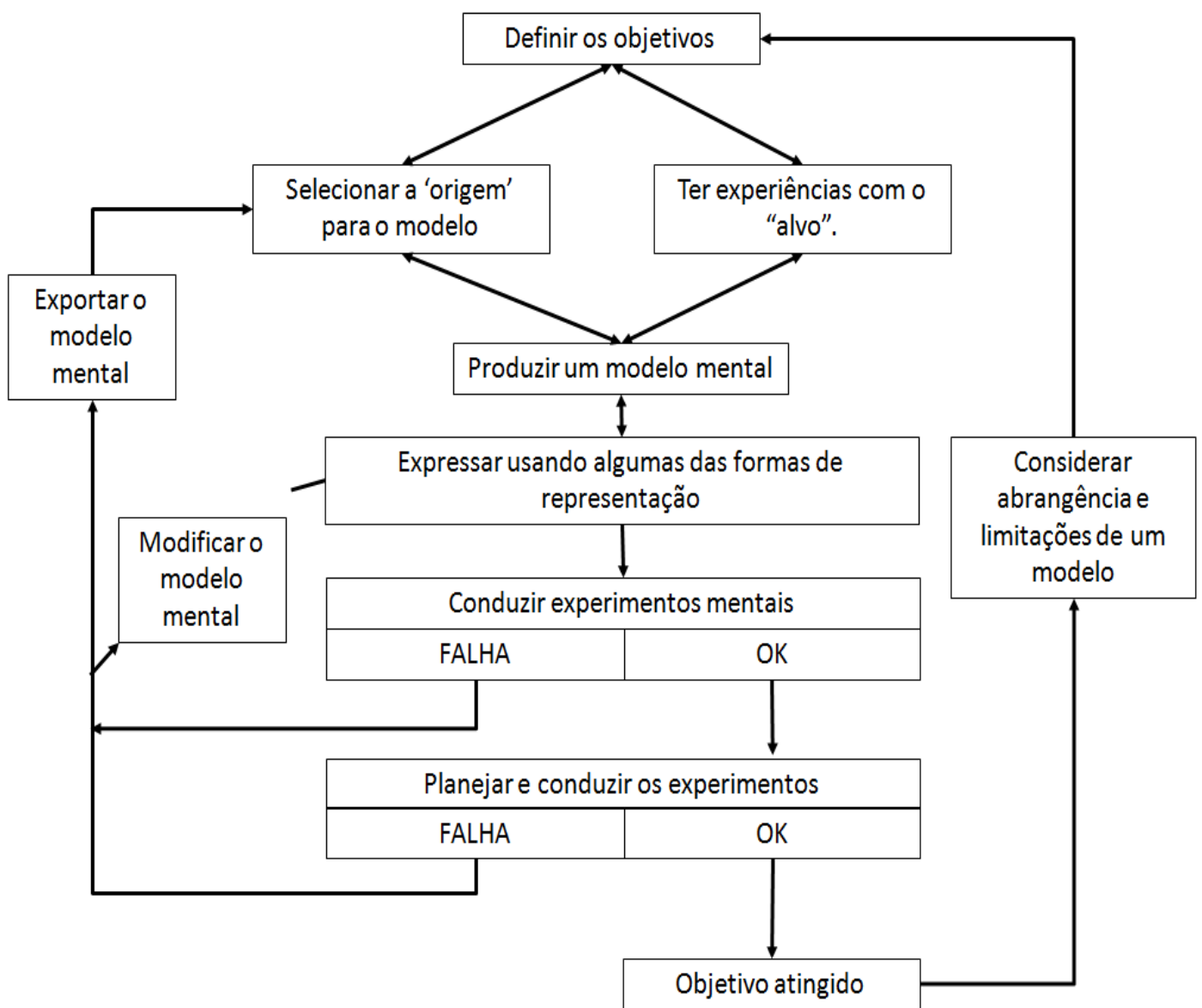
A essa atividade de elaboração de modelos voltados a um objetivo que demanda seleção e interpretação de informações relevantes a respeito do objeto que se está a modelar, chamaremos a partir de agora de modelagem.

O diagrama apresentado no esquema 2 é um modelo de como se dá a construção de modelos, seja na ciência ou no ensino. Porém, de acordo com Justi (2006), o ensino baseado na elaboração de modelos pode ter como apoio esse diagrama. Atividades nessa perspectiva podem levar os estudantes a aprenderem de forma mais participativa. Tendo a oportunidade de pensar sobre a ciência e seu processo de construção. Além de desenvolver o pensamento crítico, uma vez que exige que se façam propostas de modelos que permitam explicar e prever propriedades, que se avaliem esses modelos e seja reformulado. A proposta de Justi (2006) está de acordo também com as recomendações já levantadas aqui (GILBERT, 2004).

O primeiro passo do diagrama é *definir os objetivos*. "Todos os modelos se constroem com um objetivo específico" (JUSTI, 2006, p. 177). Nesse momento o professor vai apresentar uma tarefa aos alunos que envolva a necessidade de construção de um modelo, delimitando adequadamente o objetivo do modelo a ser elaborado.

Porém, para elaborar um modelo também é necessário que o aluno *tenha alguma experiência com o objeto a ser modelado*. Essas experiências podem consistir em informações sobre o objeto, como conceitos ou relações entre conceitos, que podem ser preexistentes na estrutura cognitiva do aluno ou podem ser adquiridas no momento, ofertadas ou não pelo professor, provenientes de materiais bibliográficos ou de observações empíricas (JUSTI, 2006).

Justi (2006) salienta ainda que a realização de atividades laboratoriais é especialmente importante quando se pede que os estudantes modelem espécies abstratas e os fenômenos que as envolvem. Nesses casos, as evidências sobre propriedades ou comportamentos resultantes das práticas laboratoriais constituem fortes fontes de informação sobre o objeto que será modelado. A autora destaca também a importância de se trabalharem as atividades práticas em uma perspectiva investigadora, de construção de explicações sobre o fenômeno.



Esquema 2 – Modelo para a construção de modelos (Justi e Gilbert, 2002a apud. JUSTI, 2006, p.177) [tradução nossa].

O próximo passo é a *seleção de uma origem para o modelo*. Envolve a busca por elementos analógicos que possam se relacionar ao objeto em questão. Nesse momento o professor pode conduzir o estudante a formas adequadas de analogia através de perguntas. É essencial que o docente se certifique de que os estudantes têm claro que as analogias são ‘comparações entre dois domínios’ e, por isso, apresentam limitações. Durante esse processo o estudante já está a *elaborar o modelo* que será expresso

utilizando alguma forma de representação, que pode ser definida por ele ou pelo professor, dependendo da experiência do aluno com o processo de modelagem (JUSTI, 2006).

O processo de expressão do modelo mental inicia-se com cada aluno elaborando seu modelo individualmente, para depois comunicá-lo aos seus colegas de grupo, que discutirão seus modelos e desenvolverão um modelo consensual. O professor pode estar atuando como moderador nos diferentes grupos, orientando e destacando aspectos importantes, como contradições e similaridades, ou pontos que merecem discussão mais atenta. Depois esses modelos devem ser defendidos para toda a turma e discutidos até que se alcance um modelo consensual de todo o grupo. Nesse momento o professor deve promover a discussão sobre as diferentes formas de representação utilizadas por cada grupo, o que pode levá-los a compreender a necessidade de escolher adequadamente as formas de expressão adequadas para os modelos. Deve favorecer a negociação de ideias interessantes, utilizando perguntas para destacá-las ou oferecendo reforços positivos quando elas são mencionadas. Deve, também, oferecer situações para que os estudantes provem seus modelos, oferecendo *perguntas geradoras*¹² voltadas a aspectos incoerentes que estejam sendo levantados por alguns alunos (JUSTI, 2006).

Quando a introdução dessas questões não gera o efeito desejado o professor pode passar a próxima etapa de *testes experimentais*. Ele deve apresentar-lhes situações ou informações novas, que podem ser empíricas e podem contrastar com o modelo produzido. Mas é importante que sejam situações que não possam ser totalmente explicadas pelos modelos gerados. Serão realizadas agora mais uma vez todas as etapas de elaboração e expressão do modelo. Caso o modelo curricular que se quer alcançar não esteja entre os modelos produzidos, o professor pode apresentá-lo como uma opção a ser testada (JUSTI, 2006).

Na última etapa o professor deverá apresentar aos estudantes perguntas que permitam que eles avaliem a validade e as limitações dos modelos consensuais. O que deixará claro as possibilidades e impossibilidades dos diferentes modelos, mostrando que os modelos devem sofrer modificações (JUSTI, 2006).

As etapas totais também podem ser resumidas da seguinte forma:

¹² Trazem uma dificuldade mental para o aluno por não poderem ser respondidas com as ferramentas de que dispõem imediatamente, necessitando da criação de um novo modelo ou da adequação de um preexistente.

- Exposição do fenômeno e dos aspectos que se deseja interpretar;
- Elaboração e expressão individual de modelos que expliquem esses aspectos;
- Socialização, discussão e reformulação dos modelos produzidos em pequenos grupos;
- Socialização, discussão e reformulação dos modelos produzidos no grande grupo;
- Introdução de novos fenômenos com maior nível de complexidade para aplicação dos modelos criados, discussão e modificação desses modelos;
- Teste do modelo final proposto pelos estudantes;
- Se necessário modificação e produção de novas situações para aplicação dos modelos;
- Contrastação entre o modelo final e os modelos anteriores;
- Discussão dos modelos adotados e reconhecimento da validade de cada modelo em cada situação.

Esse processo já foi utilizado com sucesso nos trabalhos citados (FERREIRA, 2006; SOUZA, 2007; MENDONÇA, 2008) que destacam como pontos vantajosos dessa perspectiva: a participação ativa dos estudantes, desenvolvimento da compreensão dos significados dos conceitos associados aos modelos, percepção dos estudantes quanto ao próprio aprendizado e o sucesso na elaboração e revisão dos modelos com tomada de consciência da validade e das limitações dos mesmos.

Considerando que os tópicos da química podem ser abordados por três perspectivas diferentes que se relacionam mutuamente: macroscópica, sub-microscópica e simbólica, que podem ser organizados em um triângulo mostrado na figura 2, os modelos desenvolvidos no ensino de química devem tratar desses três domínios e das relações entre eles.

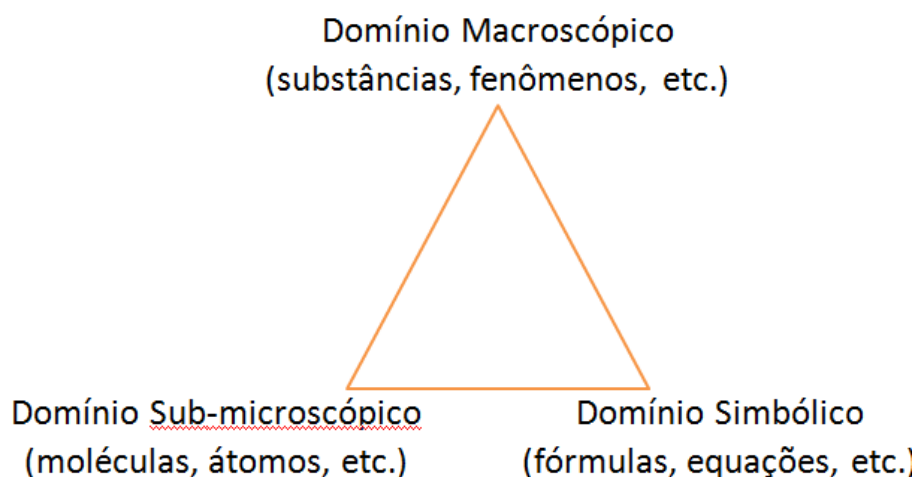


Figura 2 – Triângulo dos significados em química (JONG e TABER, 2007, p.631) [tradução nossa].

Considerando as dificuldades dos estudantes referentes a relação entre os domínios submicroscópico e simbólico, e os resultados obtidos nos estudos anteriores (FERREIRA, 2006; SOUZA, 2007; MENDONÇA, 2008), pretendemos usar a modelagem como estratégia para a compreensão dos significados das relações entre esses dois domínios no ensino de estequiometria.

CAPÍTULO 3: ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DAS DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM

Neste capítulo, retomaremos os objetivos do trabalho e apresentaremos as estratégias utilizadas para atender a nossa proposição. Delinearemos como produto final deste trabalho uma sequência de atividades para abordar o conteúdo de estequiometria assumindo como perspectiva o envolvimento ativo por parte dos estudantes em seu processo de aprendizagem. Para tanto, utilizaremos atividades experimentais como situação que venha favorecer que o estudante possa expressar suas opiniões. Essa proposta de ensino leva em consideração as principais dificuldades dos alunos, as propostas já existentes e as discussões sinalizadas no capítulo anterior.

3.1 Percurso metodológico

Para apresentar o nosso percurso metodológico utilizamos o V de Gowin, tendo como referência estudos realizados por Novak e Gowin (1984) e Moreira (2006).

O “Vê” de Gowin constitui um instrumento que explicita a relação entre o componente conceitual e o componente metodológico da investigação orientado pelas questões-foco da pesquisa. Segundo Gowin e Novak (1984, p.71), o “Vê foi criado como um método para ajudar os estudantes a compreender a estrutura do conhecimento e as formas como os seres humanos produzem esse conhecimento”. De acordo com os autores,

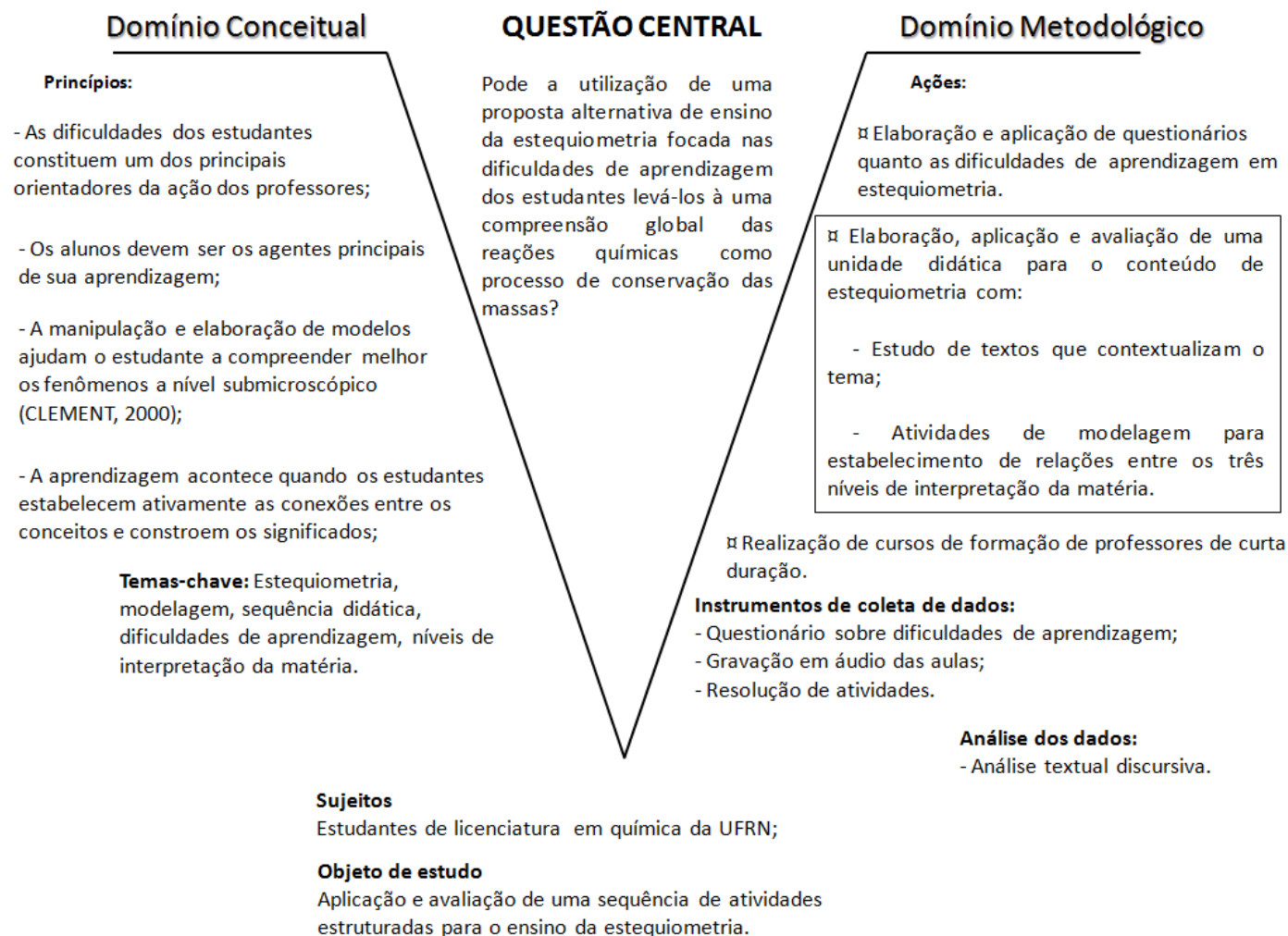
O “Vê” ajuda-nos a entender que, embora o significado de todo o conhecimento provenha, em última instância, dos acontecimentos e/ou objetos que observamos, não há nada nos registros destes acontecimentos ou objetos que nos indique seu significado. Este deve ser construído e somos nós que devemos manifestar como interagem todos os elementos quando construímos novos significados (GOWIN e NOVAK, 1984, p.71)

A organização da metodologia da pesquisa em forma de “Vê” esclarece o que estamos a investigar, quais são os pontos que direcionam essa investigação e que ações serão desenvolvidas para atender a cada objetivo. Por se tratar de um recurso utilizado

em outros estudos e investigações, cabe esclarecer, em linhas gerais as características do Vê de Gowin.

Moreira (2006) explana sobre a estrutura do “Vê de Gowin” como instrumento na pesquisa, onde no vértice do “Vê” estão os elementos chave da investigação, os acontecimentos e/ou objetos que se deseja escrutinar. À esquerda encontra-se a base conceitual da pesquisa, os sistemas conceituais, conceitos-chaves, princípios, teorias e filosofias que guiam a escolha de que elementos se encontrarão no vértice do “Vê” e a seleção de que registros serão executados para conduzir à conclusões sobre os objetos/fenômenos de estudo. Pertencendo tanto ao domínio conceitual quanto ao domínio metodológico, no centro do “Vê” está(ão) a(s) questão(ões) que guiará(ão) o investigador. Trata-se do ponto principal da investigação, correspondendo ao que foi investigado.

À direita do Vê nos deparamos com o domínio metodológico onde estão às ações e registros da investigação que são orientadas tanto pelas questões centrais quanto pelos conceitos e princípios orientadores da investigação. O esquema 3 a seguir ilustra nosso percurso metodológico na pesquisa.



Esquema 3: Organização metodológica da pesquisa na forma de um “Vê” de Gowin (Fonte própria).

De acordo com o Vê metodológico, nossa questão central dirige-se ao ensino de estequiometria considerando as dificuldades de aprendizagem. Para sua elaboração consideramos alguns princípios, entre eles: a importância de se conhecer as dificuldades de aprendizagem dos alunos como elemento orientador para o planejamento do professor; as orientações legais com relação ao uso de estratégias que favoreçam a resignificação dos conceitos tais como a modelagem submicroscópica de fenômenos observáveis.

Para identificar as dificuldades de aprendizagem dos participantes do nosso estudo o instrumento foi elaborado à luz do referencial teórico. Ao fazer a revisão de literatura alguns pontos foram abordados no instrumento, tais como: a conservação da massa e a transição entre os seus níveis de interpretação (TORRE e JIMÉNEZ, 1992; LANDAU e LASTRES, 1996; HINTON e NAKHLEH, 1999) e a quantidade de matéria e sua unidade, o mol (ROCHA-FILHO, 1988; GARCIA et al, 1990; FURIÓ et al, 1993; ROGADO, 2005).

As atividades propostas na sequência de ensino (Apêndice A) foram planejadas para permitir a abordagem da modelagem com o objetivo de se estabelecerem as relações entre as perspectivas submicroscópica e simbólica de interpretação das reações químicas (MIGLIATO-FILHO, 2005; JUSTI, 2006, DAVIDOWITZ, 2010).

Ao estruturar a sequência de ensino foram propostos objetivos para cada uma das atividades desenvolvidas conforme o quadro a seguir:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ATIVIDADES PLANEJADAS
Conhecer as dificuldades dos estudantes no tema e seus conhecimentos sobre os conteúdos necessários à sua aprendizagem;	✓ Revisão de literatura sobre as dificuldades de aprendizagem; ✓ Elaboração, com base na literatura, de instrumento para identificar as dificuldades de aprendizagem; ✓ Aplicação do instrumento a um grupo de licenciandos da UFRN (aproximação do objeto de estudo); ✓ Análise dos resultados, com possível alteração do instrumento; ✓ Aplicação do instrumento reformulado a licenciandos da UFRN e comparação dos resultados.
Desenvolver, aplicar e avaliar uma unidade de ensino para o tema estequiometria, levando em consideração a produção existente na área;	✓ Revisão de literatura sobre estratégias de ensino existentes e os recursos didáticos; ✓ Seleção dos materiais que possam ser aplicados dentro das abordagens escolhidas e que tenham produzido bons resultados ou pareçam relevantes para o estudo; ✓ Produção de um texto para contextualizar o conteúdo de estequiometria; ✓ Elaboração de atividades didáticas com o material; ✓ Elaboração de instrumento que permitam avaliar as ações realizadas; ✓ Aplicação e avaliação da unidade didática “piloto” com os licenciandos da UFRN; ✓ Análise dos resultados da aplicação inicial; ✓ Modificação da unidade didática e, se necessário, do instrumento de avaliação; ✓ Aplicação e avaliação da unidade didática “final” a alunos licenciandos.
Divulgar a unidade de ensino aos professores e futuros professores por meio de cursos e de material virtual.	✓ Preparação de materiais que possam ser publicados na página do programa (PPGECNM); ✓ Realização de cursos de curta duração com licenciandos para discutir a aplicação da unidade didática.

Quadro 1: Atividades planejadas para o alcance de cada objetivo específico da investigação.

3.2. Proposta de ensino

A partir da revisão de literatura sobre as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, sobre as estratégias já utilizadas na aprendizagem de estequiometria e sobre o conceito de quantidade de matéria elaboramos uma primeira proposta didática piloto mista dividida em três etapas:

- a) Aplicação e análise do instrumento para identificação das dificuldades de aprendizagem;
- b) Leitura e discussão direcionada por questões de um texto que contextualize o estudo da estequiometria;
- c) Execução de uma atividade experimental e construção de representações (modelos) que explicassem o fenômeno observado.

Com essa proposta em mãos realizamos uma etapa empírica como estudo exploratório para nossa aproximação do objeto de pesquisa. Realizamos em janeiro de 2011 um minicurso de 20 horas com 17 alunos dos cursos de graduação da UFRN de Licenciatura em química e de Química do petróleo¹³. Neste foram discutidas algumas das estratégias para o ensino de estequiometria e foi aplicada a unidade didática inicial.

Algumas das atividades da sequência didática foram aplicadas também com duas turmas de licenciatura da disciplina de Ensino de Química I, sobre o tópico “noções de estequiometria”.

Após analisarmos alguns dos resultados dessa aplicação e da apresentação do projeto de mestrado foi observada a necessidade de se promoverem determinadas modificações na proposta de ensino. Desse modo, foi elaborada uma nova unidade didática que incluía quatro ações:

- a) Aplicação e análise do instrumento de identificar dificuldades de aprendizagem;
- b) Introdução da grandeza quantidade de matéria¹⁴;
- c) Leitura de textos que contextualizam o estudo da estequiometria e discussão orientada pelo método Jigsaw¹⁵ (FATARELI, et al. 2010);

¹³ Como era um curso destinado a graduandos do Instituto de Química da UFRN, poderíamos ter a participação de alunos de qualquer dos cursos de graduação da área, e um dos participantes era graduando em química do petróleo.

¹⁴ A introdução desse item se deu devido à análise das repostas dos participantes no primeiro curso ao instrumento de identificação das dificuldades de aprendizagem apontar sérias dificuldades relacionadas a esse tema.

d) Execução de duas atividades experimentais para construção e discussão de representações concretas (modelos).

Para avaliar a sequência de ensino durante sua aplicação optamos pelo uso de instrumentos de coletas de dados como a gravação em áudio do desenvolvimento das atividades, o registro das anotações feitas pelas professoras durante a aplicação e os materiais produzidos pelos estudantes no percurso. Tais formas de registro permitem observar gestos e falas dos participantes, de modo que se possa identificar e analisar elementos que evidenciem as impressões deles durante o desenvolvimento das tarefas.

No tratamento das respostas e falas dos participantes pretende-se utilizar a análise textual discursiva (ATD) por ser uma abordagem que transita entre duas formas de análise na pesquisa qualitativa, a análise de conteúdo e a análise de discurso (MORAES, 2003). Como trabalharemos com os produtos escritos, orais e gestuais, este referencial se mostra interessante.

A preparação desta proposta de ensino se baseou não somente na revisão da literatura sobre o conceito de estequiometria e nas orientações curriculares como também em pressupostos teóricos sobre a elaboração de unidades didáticas (que será visto adiante) e uso de modelagem no ensino de ciências.

3.3 - Uso de unidade didática ou sequência de atividades

Segundo Sanmartí (2000), o planejamento de uma unidade didática constitui em decidir o que se vai ensinar e como, e é esta a atividade mais importante que os professores realizam já que através deste planejamento se concretizam suas ideias e intenções educativas.

Assumimos neste trabalho que unidade didática, sequência de atividade ou situações de ensino é "um conjunto ordenado de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecido tanto pelos professores quanto pelos alunos" (ZABALA, 1998, p. 18).

Sanmartí (2000) estabelece algumas etapas que podem ser úteis no processo de elaboração e organização de uma unidade didática, são elas: definição dos objetivos,

¹⁵ É um método de aprendizagem cooperativa brevemente abordado na página 24 do apêndice.

seleção/organização/sequenciação dos conteúdos, à seleção e ordenação de atividades e seleção das atividades de avaliação.

Objetivos

Os objetivos gerais da sequência de atividades dependem das ideias do professor quanto às finalidades da educação científica, quanto ao que é importante ensinar, quanto a como os alunos aprendem e quanto a como é melhor ensinar. Já os objetivos específicos vão tomando forma à medida que se tomam decisões sobre quais conteúdos se ensinará e quais atividades serão realizadas. Essas finalidades devem ser orientadas para a superação das concepções alternativas e das dificuldades de aprendizagem (SANMARTÍ, 2000).

De acordo com Sánchez e Valcárcel (1993) para definir e hierarquizar os objetivos de uma sequência de atividades didáticas é necessário que o professor:

- Selecione os conteúdos que serão abordados na unidade didática;
- Delimite procedimentos científicos (processos e técnicas);
- Delimite atitudes científicas (valores, normas e atitudes);
- Averigue as ideias prévias dos alunos;
- Considere as exigências cognitivas do conteúdo;
- Delimite as implicações para o ensino.

Esses objetivos se traduzem como a intenção do professor, o que ele deseja alcançar durante o processo de ensino-aprendizagem.

Conteúdos

Pozo e Crespo (2009) destacam a divisão dos conteúdos que permeiam o ensino que se dividem em três tipos: conceituais, procedimentais e atitudinais. Os conteúdos conceituais se referem as teorias, modelos, princípios, conceitos, etc. que são usados pela ciência para interpretar a natureza. Os procedimentais envolvem o que os estudantes precisam aprender a fazer durante o estudo de uma ciência, abrangem desde “simples técnicas e destrezas até as estratégias de aprendizagem e raciocínio” (POZO e CRESPO, 2009, p. 49). Os conteúdos atitudinais são as atitudes, normas e valores que se deseja que o aluno desenvolva.

De modo que ao selecionar os conteúdos é necessário que o professor tenha em mente que conceitos o estudante deve conhecer, que processos ele deve saber executar e que atitudes ele deve demonstrar durante o processo educativo.

Para a escolha dos conteúdos, Sanmartí (2000) recomenda que sejam escolhidos de acordo com a sua relação com os conceitos estruturantes da ciência que se está estudando. Um exemplo desses conceitos estruturantes é o conceito de mudança física ou química e conservação, pois as ciências naturais se prestam a estudar as transformações e essas envolvem a conservação de energia e massa.

Ao organizar e sequenciar os conteúdos, o foco principal é como favorecer a evolução dos modelos iniciais dos estudantes. Para isso é preciso que o grau de complexidade do material apresentado seja crescente, isto é, a apresentação do conteúdo deve se dar do concreto para o abstrato, do mais geral para o mais particular e as novas ideias iniciais devem ser as mais próximas das intuições dos estudantes. Para organizar esses conteúdos também podem ser úteis os esquemas ou os mapas conceituais que apresentem as relações entre os diferentes conceitos (SANMARTÍ, 2000).

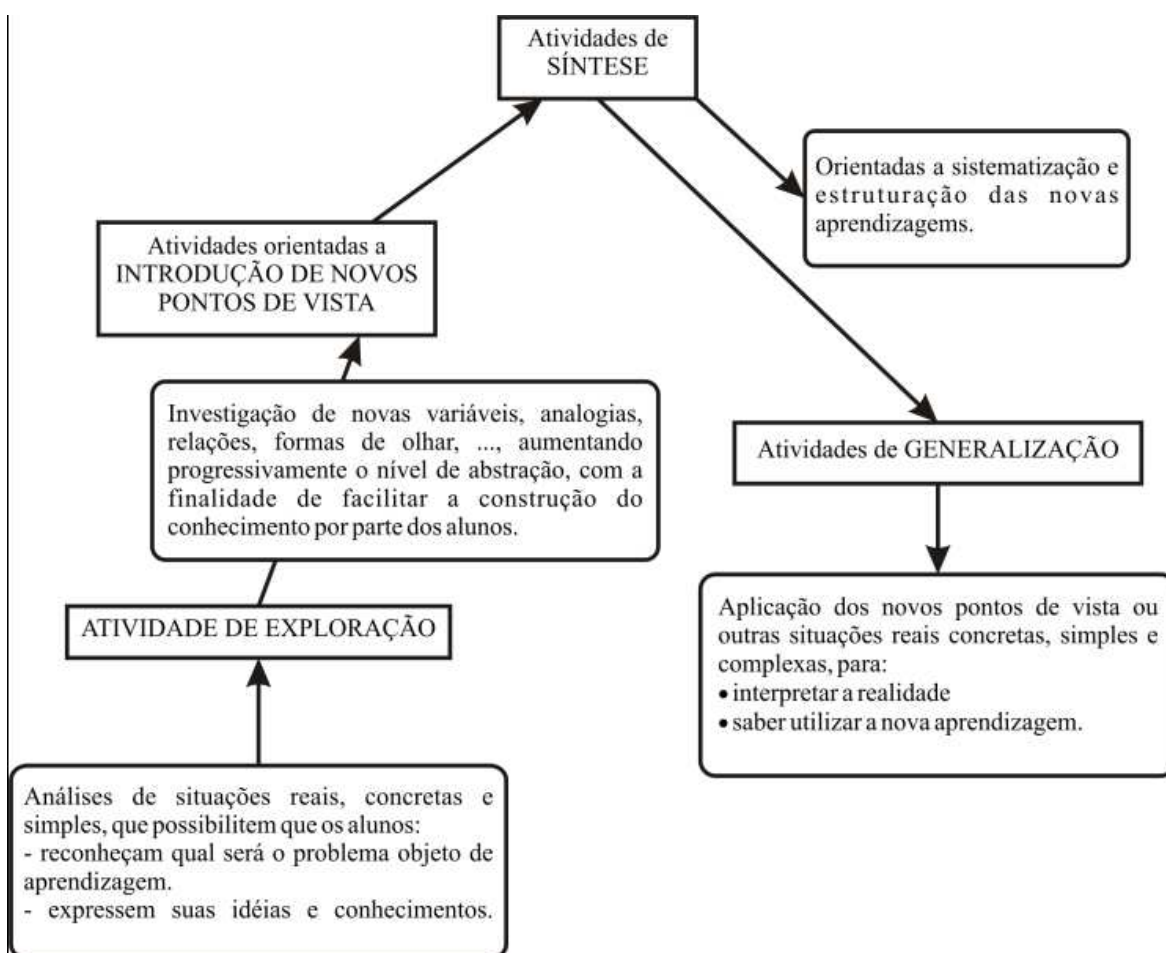
Atividades

As atividades constituem a via pela qual se procura concretizar os objetivos delineados e dependem do modelo de ensino-aprendizagem adotado pelo professor. Contudo, Sanmartí (2000) e outros autores como Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) apresentam alguns tipos de atividades presentes em uma unidade didática segundo a sua finalidade:

- a) atividades de iniciação, exploração, explicação, planejamento de problemas ou hipóteses iniciais, etc. – têm como objetivo familiarizar o estudante com o assunto que se vai estudar e a expressão das ideias dele, para que o professor possa identificar o ponto de partida. As atividades devem ser motivadoras, proporcionando questionamentos ou problemas e a comunicação dos distintos pontos de vista.
- b) atividades para promover a evolução dos modelos iniciais, de introdução de novas variáveis, de identificação de outras formas de observar e de explicar, de reformulação de problemas, etc. – objetivam favorecer que o estudante possa identificar novos pontos de vista, formas de resolver os problemas ou

as tarefas, atributos que permitam à ele definir os conceitos, relações entre conhecimentos anteriores e novos, etc.

- c) atividades de síntese orientadas à elaboração de conclusões e à estruturação do conhecimento - criam possibilidades para que os estudantes explicitem o que estão aprendendo, quais são as mudanças em seus pontos de vista ou em suas conclusões.
- d) atividades de aplicação, transferência a outros contextos e/ou de generalização – são atividades orientadas à transferência as novas formas de ver e de explicar às situações inéditas, mais complexas que as iniciais.



Esquema 4 - Tipos de atividades segundo sua finalidade didática (SANMARTÍ, N., 2000, p.258) [tradução nossa].

Sobre a organização das atividades, Zabala (2002, p. 109, apud. SILVA e NUÑEZ, 2007, p.5) defende que para promover a aprendizagem é importante que elas

“ajudem a construir ou reforçar modelos explicativos complexos, de maneira que a incorporação de novos conteúdos às próprias estruturas cognitivas oportunize aprendizagens as mais significativas possíveis”.

Avaliação

Estamos entendendo avaliação aqui como o processo de coleta de informação sobre o processo educativo, com o fim de conscientizar ao professor e aos estudantes quanto à situação do processo educativo com o fim de melhorá-lo. De modo que a avaliação constitui de instrumentos/ações que permitam a coleta de informações dos estudantes, que devem ser analisadas com base nos objetivos, para que se proceda a modificações necessárias no ensino.

É vital que a avaliação incida sobre todos os aspectos do processo. Segundo Sanmartí (2000), as avaliações devem estar presentes em todas as etapas do processo, devem incorrer em todos os fatores que incidem no processo de aprendizagem e devem ser realizadas de modo a se observar cada indivíduo. Zabala (1998) defende que se avalie o desenvolvimento de todas as formas de conteúdos que estejam sendo abordadas, sejam eles conceituais, procedimentais ou atitudinais.

Para avaliar os conteúdos conceituais é útil que o professor propicie situações que possa observar o uso do conceito em diversas situações. Porém, quando não é possível promover tais situações pode-se utilizar provas escritas que envolvam a resolução de conflitos ou problemas através do emprego dos conceitos que se deseja analisar. Para a avaliação dos conteúdos procedimentais é necessário que se originem situações em que se utilizem estes conteúdos, de modo que o professor possa observar cada aluno em ação, atividades tais como trabalhos em grupo, debates, exposições, pesquisas bibliográficas, etc.

Com relação aos conteúdos atitudinais, a avaliação se apresenta como um processo mais complexo, pelo seu caráter extremamente subjetivo, e pela dificuldade de atribuir nota a atitudes e valores. Mas, é possível observar se os estudantes estão desenvolvendo determinadas atitudes ou valores por observar o comportamento deles, na realização de tarefas coletivas, nas suas manifestações dentro e fora em sala de aula, na distribuição de tarefas e responsabilidades, etc.

3.4 - Aplicação da análise textual discursiva

A análise textual discursiva (ATD) constitui um método de análise envolvendo elementos de dois métodos utilizados na pesquisa qualitativa, que são a análise de conteúdo e a análise de discurso. De acordo com Moraes, a análise textual discursiva:

pode ser compreendida como um processo auto-organizado de construção de compreensão em que novos entendimentos emergem de uma sequência recursiva de três componentes: a unitarização – desconstrução dos textos do corpus; a categorização – estabelecimento de relações entre os elementos unitários; e por último o captar de um novo emergente em que a nova compreensão é comunicada e validada (MORAES, 2003, p. 192).

De acordo com Moraes (2003), o *corpus* é o conjunto de textos que representam as informações da pesquisa, que são essenciais para a obtenção de resultados válidos e confiáveis. Na investigação atual, ao lidar com a análise dos questionários, o *corpus* se trata das respostas apresentadas.

Assim, essa análise consiste em três etapas, sendo que a primeira é a unitarização, que é o processo de separar os textos em unidades de sentido. O objetivo desse processo é “perceber os sentidos do texto”, constituindo um trabalho interpretativo para o investigador. Para tanto, se realiza a fragmentação das respostas em unidades de significado que tenham relação com os objetivos da pesquisa. Nesse processo, as respostas dos participantes eram divididas em pequenas unidades, contendo as partes de cada resposta que apresentavam informações relevantes para o alcance dos objetivos associados a cada questão.

Esse processo pode levar a descontextualização das ideias apresentadas, sendo necessária a reescrita dessas unidades de sentido, de forma a se estabelecer com clareza os significados atribuídos pelo participante. Isto é, cada unidade de sentido assume um significado. Finaliza-se a unitarização atribuindo títulos para cada unidade produzida, com o objetivo de “facilitar o passo seguinte da análise” (MORAES, 2003). Este passo é a categorização. O que envolve “a articulação de significados semelhantes” (MORAES e GALIAZZI, 2006).

As categorias são os agrupamentos desses elementos similares. Com relação a forma de produção, essas categorias podem ser divididas em (MORAES, 2003):

- Categorias *a priori*: existentes antes do contato com o *corpus*. São definidas com base nas teorias que sustentam a pesquisa.
- Categorias emergentes: como o próprio nome já diz, essas categorias emergem dos dados que estão sendo analisados, a partir das semelhanças entre as unidades de análise. Embora, também, apresentem estreita relação com o “conhecimento tácito” do investigador sobre a teoria que envolve sua pesquisa.
- Categorias mistas: segundo Moraes (2003, p. 197), estas partem de categorias definidas *a priori* “com base em teorias escolhidas previamente, o pesquisador encaminha transformações gradativas no conjunto inicial de categorias, a partir do exame das informações do corpus de análise.”

Na análise realizada já dispúnhamos de duas categorias *a priori*, provenientes da teoria: a ideia/dificuldade encontrada na bibliografia e a considerada adequada como conhecimento científico. Entretanto, durante o processo de envolvimento ao *corpus* outras categorias emergiram das unidades de sentido, transformando a categorização dessa pesquisa em categorização mista.

Como última etapa, temos que o objetivo final da análise textual é a produção de “*metatextos analíticos que expressem os sentidos lidos de um conjunto de textos*”. Isso envolve a explicitação das relações entre as categorias. É um processo interpretativo e ao mesmo tempo descritivo. É quando se pretende que o pesquisador compreenda o que está investigando. Nesse momento, definimos com base nos elementos obtidos das análises, que dificuldades/ideias guiaram às respostas fornecidas pelos sujeitos da pesquisa¹⁶.

¹⁶ O quadro geral das dificuldades encontradas pode ser observado na tabela 2 (p. 66)

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentaremos os resultados obtidos com relação aos objetivos de nossa pesquisa que retomamos abaixo:

- 1 - Conhecer as dificuldades dos estudantes no tema e seus conhecimentos sobre os conteúdos necessários a sua aprendizagem.
- 2 - Desenvolver, aplicar e avaliar uma unidade de ensino para o tema estequiometria, levando em consideração a produção existente na área;

4.1 Objetivo 1: Identificar as dificuldades dos estudantes sobre o tema e seus conhecimentos sobre os conteúdos necessários a sua aprendizagem

Para este objetivo foi elaborado um instrumento (questionário) tendo como base algumas publicações existentes sobre o tema (BALLÉN, 2009; GARCIA et al. 1990; LANDAU, LASTRES, 1996; TORRE, JIMÉNEZ, 1992; FURIÓ et al., 1999; CHANDRASEGARAN, CHANDRASEGARAN, 2009). O questionário (APÊNDICE) possuía 4 questões abertas e 3 fechadas.

As perguntas foram selecionadas, de modo a possibilitar a abordagem de algumas habilidades cognitivo-linguísticas, que têm seu desenvolvimento durante o estudo da estequiometria, a saber:

- a) Compreender e aplicar a lei de conservação das massas;
- b) Representar uma reação química utilizando a linguagem química;
- c) Compreender e aplicar o conceito de quantidade de matéria/mol.

O desenvolvimento dessas habilidades se delineia como um dos objetivos da aprendizagem da estequiometria. De modo que, as dificuldades de aprendizagem dos estudantes quanto à estequiometria podem interferir no desenvolvimento de tais destrezas. Sendo assim, o instrumento de pesquisa tem como finalidade permitir a percepção de quais são as ideias e dificuldades apresentadas pelos estudantes, que podem obstaculizar o desenvolvimento dessas habilidades.

O instrumento elaborado foi aplicado em dois grupos. O primeiro grupo, nosso projeto piloto, que tinha como objetivo a aproximação do objeto de estudo assim como

da pesquisadora, foi em um curso complementar de formação inicial de professores de química, no início de 2011, com dezesseis graduandos de diferentes períodos da licenciatura. Neste curso, todos os participantes já haviam cumprido a componente curricular Química Fundamental I, na qual se aborda o conteúdo de estequiometria. O segundo grupo respondeu ao questionário na componente curricular Química Fundamental I, com quarenta e nove estudantes da licenciatura em química do turno matutino, no início de 2012, antes do desenvolvimento do conteúdo de estequiometria.

As respostas dos participantes foram transcritas e analisadas de acordo com os princípios da análise textual discursiva (MORAES, 2003).

4.1.1. Dificuldades identificadas

As dificuldades de aprendizagem relacionadas a habilidades cognitivo-linguísticas têm estreita relação com as concepções alternativas e, por este motivo é interessante destacar o que assumimos neste trabalho à luz de referencial teórico.

Assim, Carrascosa (2005) define concepções alternativas como as ideias presentes nos indivíduos que os levam a manifestação de erros conceituais. Reconhecemos um erro conceitual por meio de suas características básicas tais como respostas sobre um conceito científico que divergem da interpretação aceita pela comunidade científica; se repetem insistentemente apesar da contradição e ocorrem em diferentes grupos de pessoas e regiões (SILVA e NÚÑEZ, 2007).

Para conhecer as concepções alternativas podem ser utilizados vários instrumentos tais como a entrevista clínica, os questionários, os mapas conceituais, dentre outros. No geral, "qualquer atividade problemática que leve o estudante a expressar e utilizar suas ideias" (CARRASCOSA, 2005, p. 191) constitui num meio de detecção de concepções alternativas. Sobre os questionários o autor destaca sua utilidade em situações onde "já se reconhece a existência de determinadas concepções alternativas" (CARRASCOSA, 2005, p. 190) e se quer conhecer, por exemplo, a incidência destas concepções em certo grupo.

Quanto às dificuldades de aprendizagem, Kempa (1991) procura defini-las como:

Pode-se dizer que há uma dificuldade de aprendizagem em qualquer situação em que um estudante falha em compreender um conceito ou uma ideia como resultado de um ou mais dos seguintes fatores:

- i. A natureza do sistema de ideias/conhecimentos que os estudantes já possuem, ou a inadequação de tais conhecimentos em relação ao conceito a ser adquirido.
- ii. A demanda ou complexidade da tarefa de aprendizagem em termos do processamento da informação, comparada com a capacidade do estudante de lidar com informações.
- iii. Problemas de comunicação emergentes do uso da linguagem, como, o uso de termos técnicos ou de termos gerais com significados especializados pela especificidade do contexto, ou pela complexidade da estrutura ou da sintaxe da sentença utilizada pelo professor.
- iv. Uma incompatibilidade entre a abordagem educativa utilizada pelo professor e a forma de aprendizagem (estilo de aprendizagem) de preferência do estudante (KEMPA, 1991, p. 120) [tradução nossa].

Assumimos que as concepções alternativas constituem em ideias que levam os estudantes a cometer erros conceituais e que, as dificuldades de aprendizagem podem obstaculizar a aprendizagem seja devido a concepções alternativas como apontado por Kempa (1991) relacionadas à natureza ou por outros problemas no processo educativo.

No instrumento utilizado neste trabalho, procuramos identificar limitações apresentadas pelos estudantes com relação a estequiometria. A literatura sobre as ideias e dificuldades dos estudantes no conteúdo de estequiometria já associa dificuldades a concepções alternativas específicas e a outros problemas como os apresentados por Kempa (1991). Neste estudo, observamos em que medida essas dificuldades aparecem.

Tendo esclarecido o que defendemos como dificuldades de aprendizagem, apresentamos na tabela 1 a seguir os resultados obtidos e as respectivas categorias. Nesta tabela incluem-se o nº da pergunta no instrumento, o objetivo de cada questão e a expectativa de resposta estão baseados na bibliografia (dissertações e artigos), a expectativa de resposta consiste no principal resultado obtido para esta mesma questão na literatura. As últimas colunas apresentam os percentuais das categorias que emergiram a partir das respostas dos participantes.

Cabe destacar que em nosso estudo foram considerados dois grupos, a saber: GRUPO 1 (G1), estudantes de graduação em licenciatura em química de diferentes períodos do curso que haviam cursado o componente curricular de química fundamental I e GRUPO 2 (G2) estudantes da licenciatura em química do 1º semestre que estavam iniciando este componente.

Tabela 1: Categorias das respostas e respectivos percentuais sobre as dificuldades de aprendizagem em estequiometria.

Nº	OBJETIVO	EXPECTATIVA	RESPOSTA	G1(%)	G2(%)
1	Conhecer como os sujeitos percebem a conservação de massa em uma reação química.	Afirmações de perda de matéria.	<i>A massa se conserva durante a combustão</i>	73,33	59,18
			Desaparecimento de matéria	13,33	20,41
			Aparecimento de matéria	6,67	6,12
			Sem resposta	6,67	14,29
2	Identificar que significado os estudantes atribuem a uma equação química.	Representação da reação química sem considerar as relações estequiométricas e os estados físicos.	<i>Representação de uma reação química nas devidas proporções</i>	26,67	0,00
			Representação de uma reação química nos devidos estados físicos	20,00	6,12
			Representação de uma reação química	53,33	55,10
			Sem resposta	0,00	38,78
3	Conhecer como os sujeitos percebem a conservação de massa em uma reação química.	Incoerência com a lei de conservação das massas.	<i>Para que a massa de sólido e/ou ar aumente é necessário que a massa de sólido e/ou ar diminua</i>	73,33	34,69
			A diminuição e aumento da massa de ar e de sólido não estão relacionados	6,67	42,85
			Para que haja conservação de massa, as massas de sólido e de ar não podem mudar	20,00	14,29
			Sem resposta	0,00	8,16
4	Identificar como os estudantes relacionam a equação química com a reação a nível submicroscópico.	Desconsideração da estequiometria da reação nos desenhos, levando a representações não estequiométricas do produto.	<i>Representação simbólica das moléculas considerando as proporções</i>	40,00	10,21
			Representação simbólica desconsiderando as proporções	46,67	57,14
			Representação simbólica inadequada para as partículas, considerando a proporção	6,67	8,16
			Sem resposta	6,67	24,49
5	Reconhecer como os sujeitos compreendem o significado da unidade mol.	Associação do termo mol a uma quantidade em massa, ou volume ou ao número de partículas.	<i>Quantidade de matéria</i>	20,00	0,00
			<i>Número de unidades químicas</i>	60,00	8,16
			Massa	0,00	10,20
			Mesma unidade de medida (o mol)	0,00	18,37
			Não estabelece relação	0,00	10,20

			Não responde	20,00	53,06
6	Reconhecer como os sujeitos compreendem o significado da quantidade de matéria e suas relações com a massa.	Identificação da quantidade de partículas com a massa.	<i>O número de partículas depende da relação entre a massa atômica/molecular e o número de Avogadro</i>	<i>26,67</i>	<i>14,29</i>
			A quantidade de partículas é diretamente proporcional a massa	60,00	32,65
			Atribui ao mol outra grandeza	13,33	0,00
			Não responde	0,00	53,06
7	Reconhecer as relações atribuídas pelos estudantes entre a grandeza quantidade de matéria e o número de partículas.	Correspondência do conceito de quantidade de matéria com a ideia de massa mais abundantemente e menos com a ideia de volume ou número de partículas.	<i>A quantidade de matéria é diretamente proporcional ao número de partículas</i>	<i>33,33</i>	<i>14,29</i>
			A quantidade de matéria é diretamente proporcional a massa	40,00	34,69
			A quantidade de matéria é diretamente proporcional ao volume	0,00	12,24
			A quantidade de matéria é diretamente proporcional ao tamanho das partículas	0,00	4,08
			Não responde	20,00	34,69

Nota:

G1 (%) = percentual de respostas do grupo de licenciandos heterogêneo

G2 (%) = percentual de respostas do grupo de licenciandos homogêneo

Para cada questão, a categoria que expressa a resposta correta do ponto de vista do conhecimento científico correntemente aceito, encontra-se na cor verde.

Na tabela 1 as categorias definidas dialogam com os objetivos. As expectativas para cada questão sempre estão inseridas em uma das categorias, funcionando como uma das categorias *a priori*. Nesse sentido, é interessante que na maioria dos casos a categoria de maior incidência realmente foi a que se baseava na expectativa, como nas questões 2, 4, 6 e 7. Outra categoria *a priori* é a resposta adequada ao conhecimento científico corrente. Estas estão destacadas na tabela.

Considerando que na tabela 1 muitos dos objetivos se encontram, é possível agrupar as questões em função de suas finalidades. Sendo assim, unimos as questões de acordo com a relação entre os objetivos e as habilidades cognitivo-linguísticas citadas na introdução desse capítulo, que são:

- a compreensão e a aplicação da lei de conservação das massas eram agrupadas sob o ponto abordado (a);
- a representação da reação química utilizando a linguagem química era agrupada sob o ponto abordado (b);
- a compreensão e a aplicação do conceito de quantidade de matéria/mol eram agrupadas sob o ponto abordado (c).

Ao explicitarmos as relações entre as categorias produzidas em cada questão obtivemos uma nova unidade de significado que representa a ideia ou dificuldade que pudemos inferir a partir das respostas analisadas. As unidades de significado, assim definidas para cada ponto abordado, as respectivas perguntas e a ocorrência percentual das respostas em cada grupo serão apresentados na discussão de cada ponto abordado.

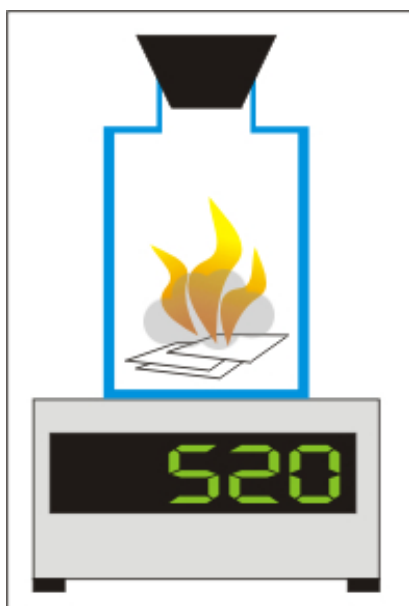
Tabela 2 – Conexão entre as análises para cada ponto de enfoque.

Ponto abordado	Perguntas do questionário	Unidades de Significado/ Ocorrência G1(%)/G2(%) ¹⁷
(a) Compreender e aplicar a lei de conservação das massas	1 e 3	Conservação de massa – 60,00% / 27,65% Aparecimento/Desaparecimento de matéria – 40,00% / 72,35%
(b) Representar uma reação química utilizando a linguagem química	2 e 4	Equação química como representação de uma transformação química e suas proporções – 47,00% / 11,63% Desconsideração da estequiometria da reação ao traduzir a representação – 53% / 88,37%
(c) Compreender e aplicar o conceito de quantidade de matéria/mol	5, 6 e 7	Confusão da quantidade de matéria/mol com a massa ou o volume da substância – 87,00% / 86,05% Quantidade de matéria como a grandeza cuja unidade é o mol e este como um número específico de partículas - 13,00% / 13,95%

¹⁷ Para os pontos abordados, que apresentavam apenas duas questões, o aluno que apresentasse a resposta inadequada em uma das duas era contado na unidade de significado que representava tal resposta. Enquanto que para o ponto abordado com três questões, era necessário apresentar a resposta inadequada em duas delas para ser incluído na unidade de significado que expressava tal resposta. Aqueles que não responderam ou marcaram a opção “não sei” foram descartados nessa análise.

Aplicação da lei da conservação das massas

QUESTÃO 1



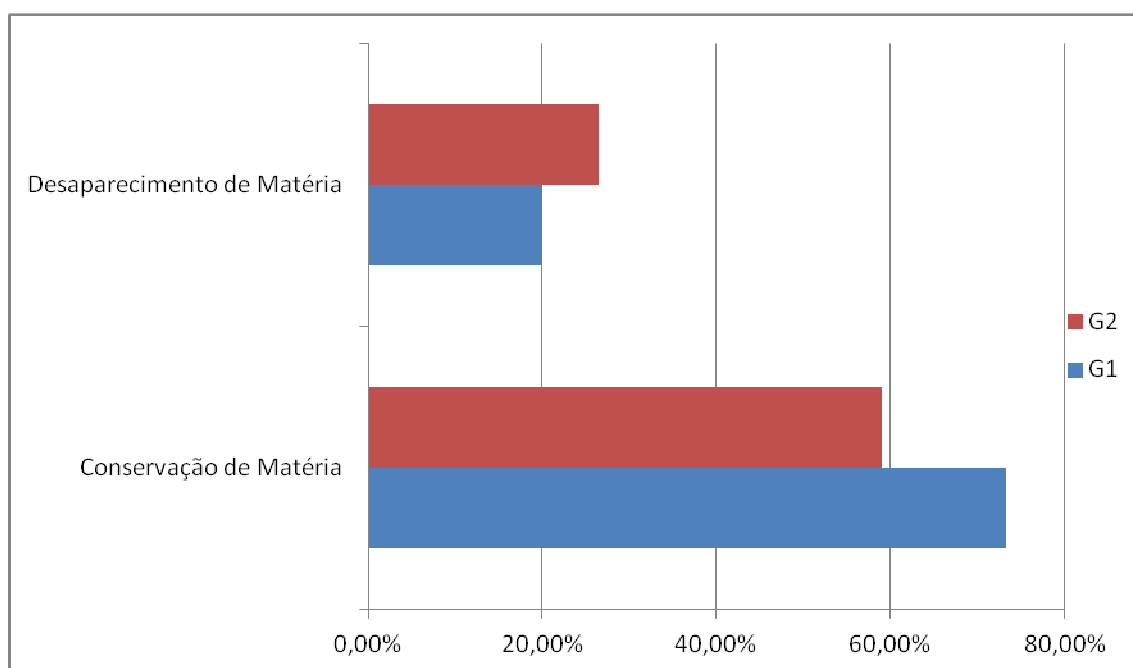
Em uma garrafa, como a da figura ao lado, situada sobre uma balança, é introduzido um papel pegando fogo que pesa 20 gramas fechando-a imediatamente. Uma vez fechada, a balança marca 520 gramas. Quando o papel se queimar totalmente a balança marcará:

- a) menos de 500 gramas.
- b) exatos 500 gramas
- c) entre 500 e 520 gramas
- d) exatos 520 gramas
- e) mais de 520 gramas
- f) não sei.

Justifique sua resposta.

Item adaptado do estudo desenvolvido por TORRE e

JIMÉNEZ (1992).



Esquema 5 - Porcentagens das unidades de significado sobre a questão 1 referente a aplicação da lei de conservação das massas.

Assim, a 1ª questão abordava a aplicação da lei da conservação das massas. Este item apoiou-se na investigação desenvolvida por Torre e Jiménez (1992) ao analisar em

que medida os alunos que sabem enunciar um conceito conseguem aplicá-lo adequadamente. Para tanto, é solicitado aos participantes que explicitem o conceito de massa indicando se compreendem o que enunciaram. Ao analisar os resultados estes autores inferem como uma dificuldade a relação entre saber enunciar um conceito e saber empregá-lo.

Apesar da nossa pesquisa não possuir o mesmo objetivo dos autores, entendemos a relevância no estudo do conteúdo de estequiometria, de o estudante conseguir justificar a lei de conservação das massas. Como resultado observado, diferentemente do relato de Torre e Jiménez (1992), os participantes de nossa pesquisa enunciaram e aplicaram a conservação das massas de forma adequada. A seguir são apresentadas falas de alunos exemplificando tais respostas

Aluno 4 (Grupo 1): Segundo a lei da conservação das massas de Lavoisier durante qualquer reação realizada em um sistema fechado a massa irá permanecer constante.

Aluno 27 (Grupo 2): Pois como a reação ocorre em uma garrafa fechada não há perda nem ganho de massa.

Particularmente nesta situação, a maioria dos participantes não atendeu à expectativa, pois utilizaram corretamente o princípio de conservação das massas a uma reação química específica. Esperava-se que relacionassem a transformação a um processo de desaparecimento ou aparecimento de matéria. Mesmo aqueles que o fizeram, não mencionaram o princípio da conservação das massas, talvez por desconhecerem. De qualquer modo, a análise dos resultados de apenas uma questão não é suficiente para alcançarmos o objetivo. Assim, a 3ª questão complementa a 1ª permitindo assim comparar suas respostas. O cruzamento desses resultados pode ser observado na tabela 2.

QUESTÃO 3

Coloca-se em um frasco cheio de ar um pedaço de ferro de massa conhecida. Fecha-se hermeticamente e se deixa durante três semanas. Ao final deste período, o pedaço de ferro apresenta manchas que mostram que o metal enferrujou.

Comparando a massa do sólido ao final da experiência com sua massa inicial, esta será:

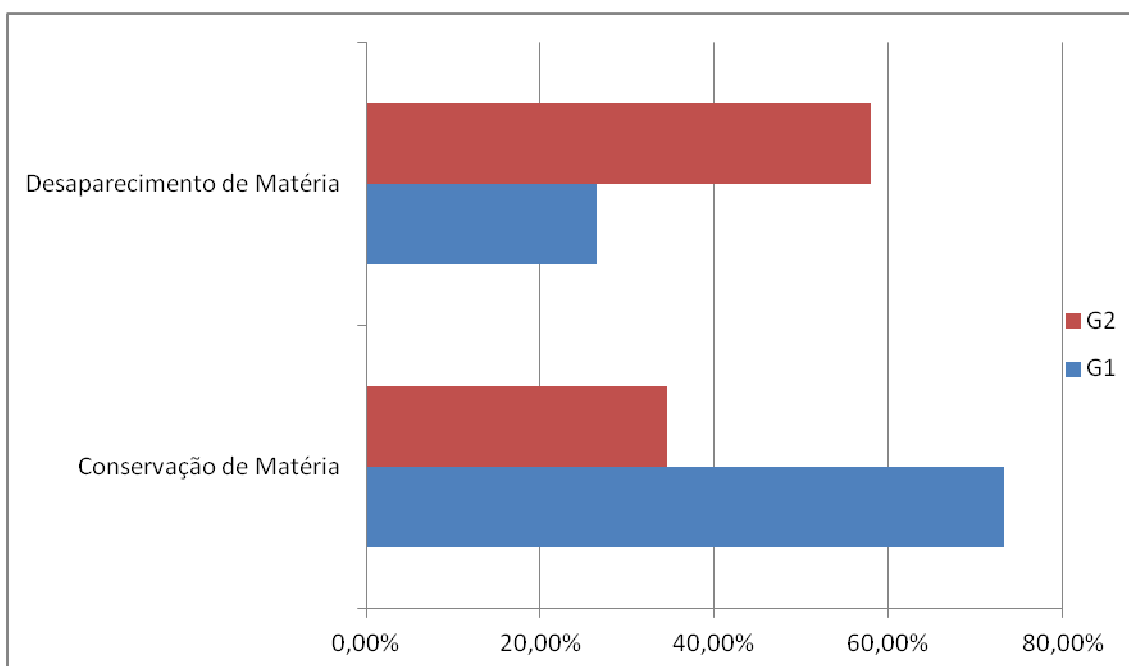
- a) a mesma. b) maior. c) menor.

Com relação à situação anterior, a massa de ar ao final da experiência com respeito à massa inicial será:

- a) a mesma. b) maior. c) menor.

Justifique sua resposta

Item adaptado do estudo desenvolvido por LANDAU e LASTRES (1996).



Esquema 6 - Porcentagens das unidades de significado sobre a questão 3 referente a aplicação da lei de conservação das massas.

A terceira questão se apoia no estudo desenvolvido por Landau e Lastres (1996) com estudantes de um mesmo nível de ensino envolvendo os temas transformações químicas e conservação das massas. Os autores mencionam que uma pequena porcentagem dos indivíduos responde corretamente às duas perguntas e 1/4 deles apresenta respostas coerentes com a lei de conservação das massas.

Nos resultados obtidos em nosso estudo observamos uma similaridade no estudo de Landau e Lastres (1996) com o 2º grupo de participantes (estudantes no 1º ano do curso de licenciatura em Química), já os participantes da fase exploratória¹⁸ os resultados foram contrários sendo que 3/4 das respostas exibiam coerência com a lei de

¹⁸ Grupo de estudantes de diferentes períodos do curso de graduação.

conservação das massas. Assim, uma inferência, à luz da discussão destes autores é que ao longo da aprendizagem da química os estudantes vão avançando na compreensão da lei de conservação das massas. Um exemplo desta posição obtida no estudo destes autores e também no nosso estudo é a consideração de que “como a massa total não varia, não pode haver mudanças nem na massa de ferro nem na massa de ar”. As falas a seguir ilustram estas respostas:

Aluno 11 (Grupo 1): Porque apesar de ter participado da reação o oxigênio não diminuiu, porque não houve perda nem ganho de matéria.

Aluno 27 (Grupo 2): Porque apesar do ferro ter sido consumido durante a oxidação não houve perda nem ganho de matéria entre o sistema e a vizinhança. Pois em um sistema fechado não há alteração na massa.

É interessante ressaltar que em alguns casos, como no exemplo do aluno 27, há a referência da utilização adequada da lei de conservação das massas na 1ª questão, mas na 3ª sua resposta não apresenta a mesma coerência com a lei. O que pode refletir insegurança ou fragilidade no entendimento deste conceito.

Ao continuarmos essa comparação entre as questões referentes à lei de conservação das massas, percebe-se (ao olhar para a tabela 2) uma grande divergência com relação aos dois grupos. No primeiro a maioria dos estudantes consegue aplicar corretamente este princípio, enquanto que no segundo a maioria apresenta respostas que remetem a ideia de aparecimento ou desaparecimento de matéria.

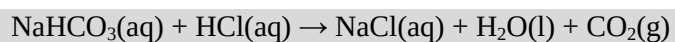
Sobre essa ideia, Rosa e Schnetzler (1998) apontam como causa, a concepção de que as propriedades, do nível submicroscópico de descrição da matéria, seriam iguais às observadas a nível macroscópico. De modo que, se um estudante vê o consumo de um papel durante uma reação e a produção de cinzas, sua tendência natural seria atribuir isso ao desaparecimento das partículas do papel e ao aparecimento das partículas de “cinzas”. Da mesma forma na oxidação de um metal, o consumo do metal e produção de ferrugem envolvia um processo de desaparecimento/aparecimento de materiais.

Contudo, percebemos que à medida que os estudantes avançam no nível de ensino, aumenta a quantidade que aplica corretamente o princípio de conservação das massas o que pode ser resultado da melhor compreensão do nível submicroscópico.

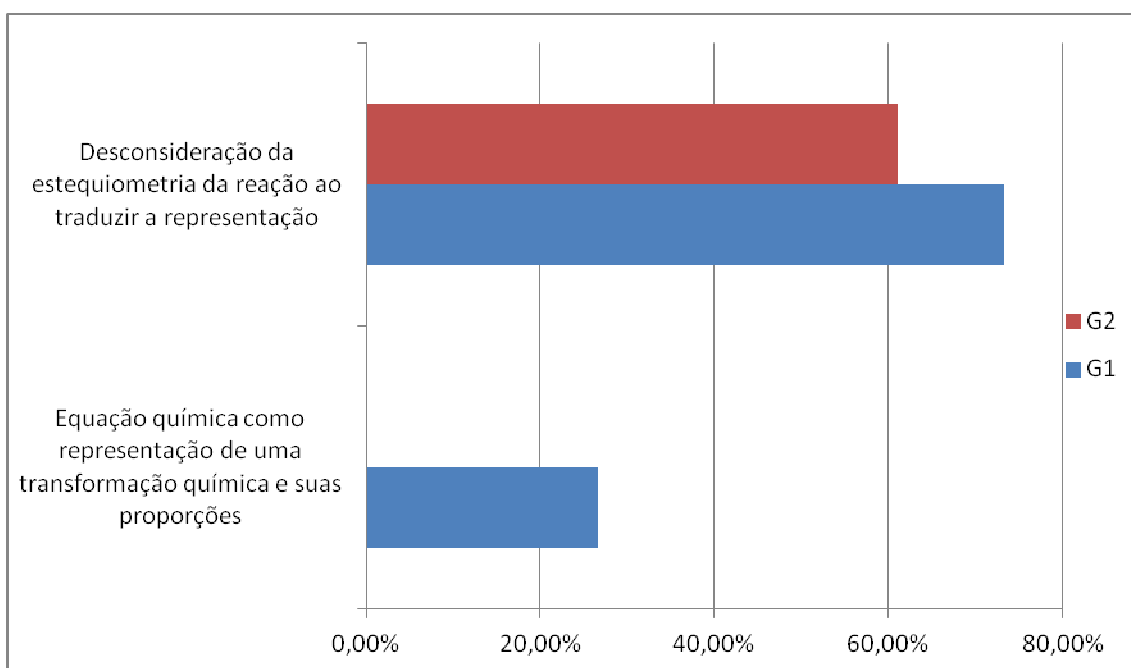
Significado dos termos de uma equação química

QUESTÃO 2

O que significa para você a seguinte expressão química?



Item adaptado do estudo desenvolvido por GARCIA et al. (1990)



Esquema 7 - Porcentagens das unidades de significado dos termos de uma reação química referentes a questão 2.

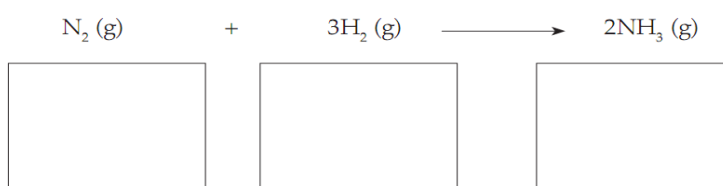
A 2ª questão procurava identificar o significado atribuído pelos participantes do nosso estudo a equação química. Esta, por sua vez, se apoiou no trabalho desenvolvido por Garcia et al. (1990) sobre a ampliação do entendimento das informações de uma equação química com o avanço dos níveis de ensino. Os autores sinalizam que os estudantes “rompem” com a resposta “é uma reação química”, a ponto de mencionar informações mais significativas, tais como os estados físicos e os significados dos coeficientes estequiométricos.

No nosso estudo, mais da metade das respostas dos licenciandos do 2º grupo eram restritas apenas a informar “é uma reação química” sem comentar os coeficientes estequiométricos. Por outro lado, do grupo 1 que já havia estudado o conteúdo de

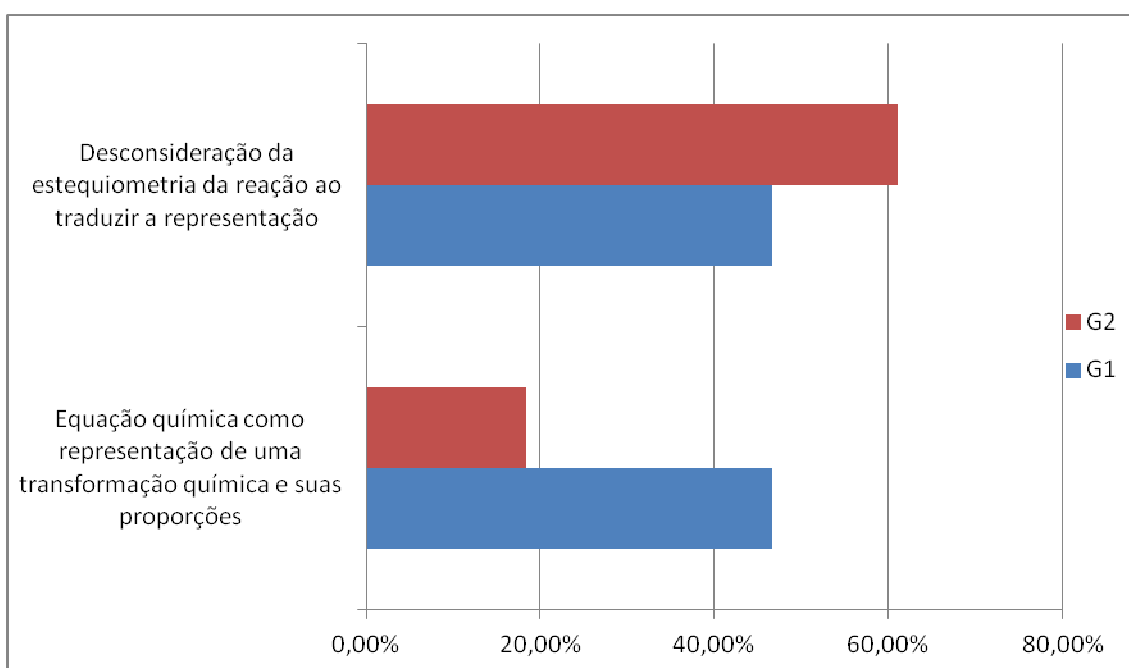
estequiometria na universidade, mais de 1/4 considerou os coeficientes estequiométricos em suas respostas, o que sugere uma ampliação no entendimento dos significados envolvidos, conforme relataram Garcia et al. (1990) em seu estudo.

QUESTÃO 4

Suponha que uma esfera negra representa um átomo de hidrogênio e uma esfera branca um átomo de nitrogênio. Com a informação anterior, faça uma representação que demonstre como você considera que aconteça a reação química abaixo:



Item adaptado do estudo desenvolvido por BALLÉN (2009).



Esquema 8 - Porcentagens das unidades de significado dos termos de uma reação química referentes a questão 4.

Na mesma direção está a 4ª questão, extraída da dissertação de Ballén (2009), a qual abordava aspectos estequiométricos. Neste relato o autor sinaliza que quase 60% dos sujeitos escreveram estruturas nas equações químicas de forma inadequada. Não obstante, nosso maior interesse concentrava-se nos aspectos estequiométricos. Assim, o grupo 2 apresentou os mesmos resultados de Ballén e um número menor de

representações coerentes. Já no grupo 1, aproximadamente a metade dos participantes apresenta representações coerentes, e a outra metade apresenta representações incoerentes. Alguns exemplos dessas representações podem ser observados nas figuras 3 e 4.

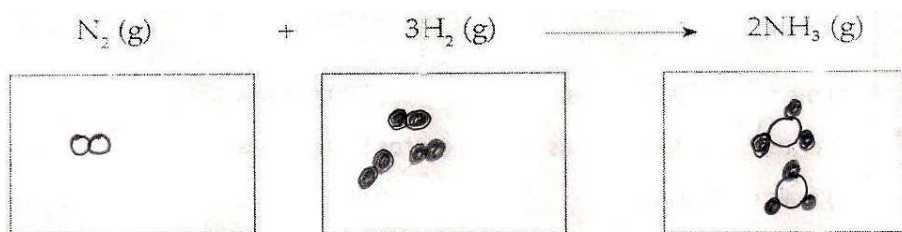


Figura 3 – Estrutura representada pelo aluno 2 do grupo 2 para a questão de número 4.

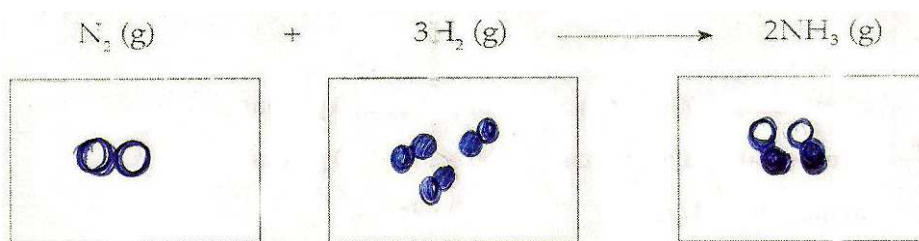


Figura 4 – Estrutura representada pelo aluno 14 do grupo 2 para a questão de número 4.

Os resultados dessa questão mantêm semelhança com os resultados da segunda, com quem compartilhava o objetivo. As duas demonstram dificuldade dos estudantes de traduzir a equação química, independentemente da forma de expressão (simbólica ou textual). Ademais, percebe-se a superação dessa dificuldade ao longo do avanço no grau de instrução.

Ao observarmos na tabela 2 o cruzamento dessas questões que tratam da habilidade do estudante de traduzir uma equação química pode-se inferir que a maioria deles, nos dois grupos, não demonstra a compreensão de que a estequiometria da reação é uma informação essencial à representação da mesma. Todavia, novamente, percebemos um aumento na porcentagem dos estudantes que traduzem a equação química, de forma adequada, ao compararmos o primeiro grupo com o segundo grupo. O que nos sinaliza que há evolução na compreensão microscópica da matéria, ao longo do progresso de ensino e aprendizagem.

É significativo que a informação estequiométrica sobre a reação esteja conectada a lei de conservação das massas, já que o objetivo dos coeficientes estequiométricos é

adequar a reação ao princípio da conservação da massa. Mesmo assim, há uma queda nos dois grupos quando comparamos a quantidade de estudantes que aplicam corretamente a lei de conservação das massas nas questões que abordam o ponto (a), e os que a aplicam nas questões que abordam o ponto (b). Percebe-se que muitos estudantes que responderam adequadamente as questões 1 e 3, apresentam respostas incoerentes nas questões 2 e 4, o que pode ser observado na comparação da figura 5.

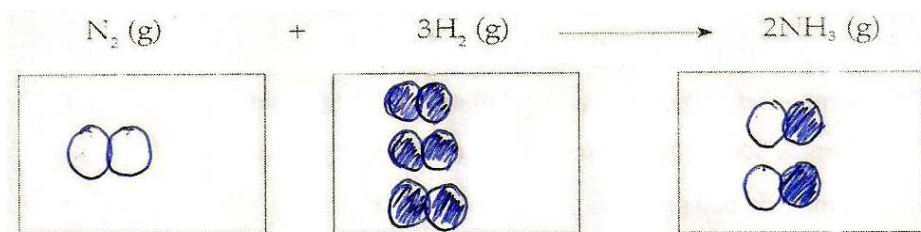


Figura 5 – Representação produzida pelo aluno 39 do grupo 2 para a questão de número 4.

Tal posicionamento é exemplificado na comparação das respostas de um aluno do grupo 2 às questões 1 e 3 expressas a seguir:

Aluno 39 – Questão 1

d – De acordo com a lei de Lavoisier, nada se cria ou se destrói tudo se transforma.

Aluno 39 – Questão 3

b – Pois após a oxidação o ferro aumenta sua massa, pois também conterà oxigênio.

c - Como o oxigênio foi “consumido” pelo ferro formando o óxido de ferro, sua quantidade com gás oxigênio diminui.

Pozo e Crespo (2009) já haviam ressaltado esta dificuldade, ao falar sobre as ideias comuns dos estudantes sobre conservação da massa, ao dizer que eles “entendem a conservação da massa e da substância como problemas independentes”.

Enunciamos a unidade de significado referente aos resultados dessas perguntas no formato de dificuldade de aprendizagem e não de ideias, como fizemos para o ponto abordado (a). Mas, como destacado por Pozo (2009), essa dificuldade é resultado da concepção, já citada, de que o nível submicroscópico carregaria consigo as características “observáveis” da matéria.

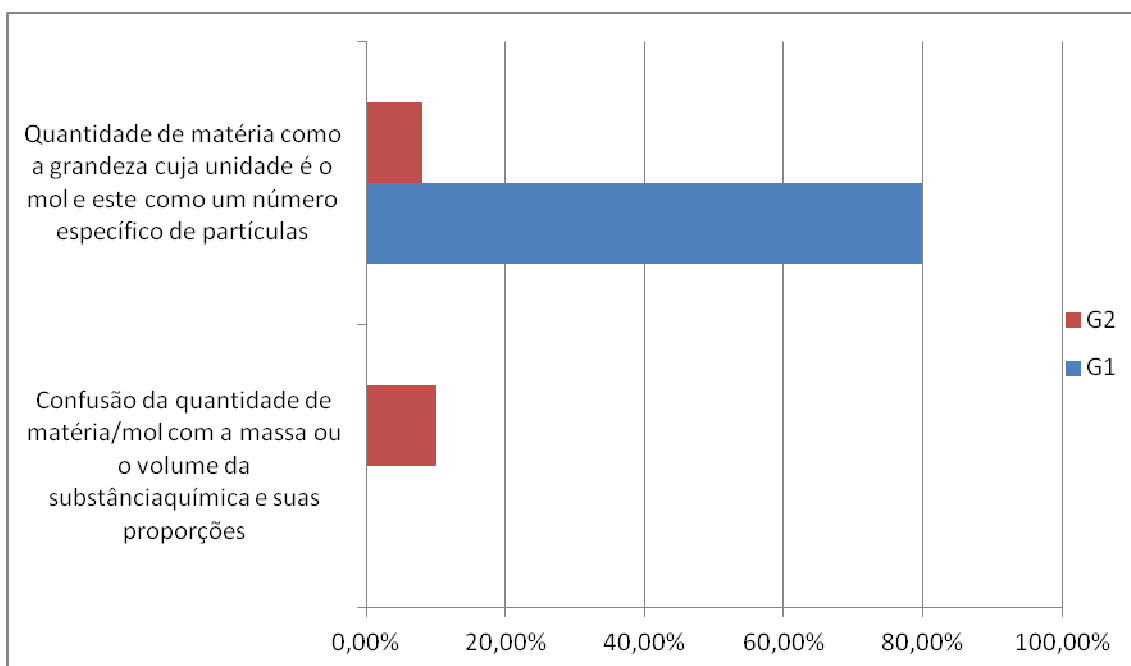
Uma observação que merece destaque, mesmo não fazendo parte dos objetivos desse trabalho é o grande número de alunos que não aponta os estados físicos como uma informação relevante durante a tradução da equação química. Além disso, algumas das representações pictóricas apresentavam átomos separados no lugar de moléculas, apontando para dificuldade dos estudantes de diferenciar átomos, moléculas e íons.

Quantidade de matéria/ mol

QUESTÃO 5

Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro?

Item adaptado do estudo desenvolvido por GARCIA et al. (1990)



Esquema 9 - Porcentagens das unidades de significado sobre quantidade de matéria/mol referentes a questão 5.

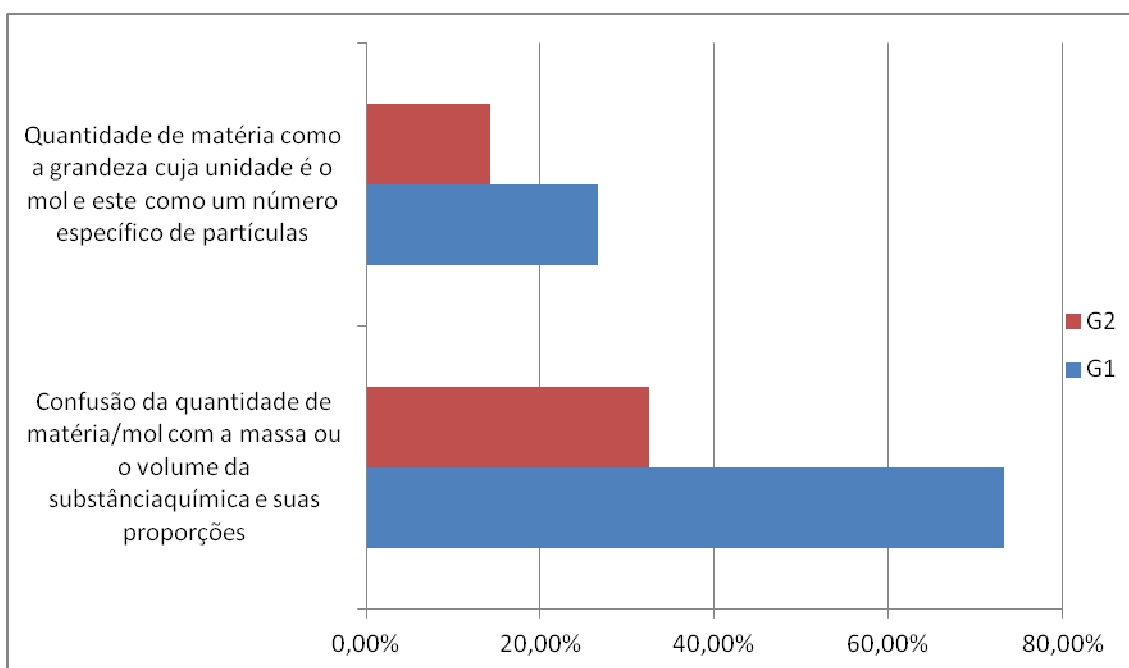
A questão que aborda o conceito quantidade de matéria é a de número 5, adaptada a partir da investigação desenvolvida por Garcia e outros (1990). Estes autores tinham como objetivo conhecer como os alunos compreendiam a unidade dessa grandeza. Concluem que os estudantes associam a unidade mol a um número de entidades químicas, contudo, não conseguem especificar “a entidade específica” a que se referem.

Assim, no nosso estudo, observamos divergência entre os grupos de participantes nas respostas para esta questão. Enquanto a maioria dos estudantes do grupo 1 associou o mol a um número de espécies químicas¹⁹, a maior parte do grupo 2 não responde ou não estabelece relação alguma. Além disso, apenas alguns do primeiro grupo estabelecem a relação do mol como unidade da grandeza quantidade de matéria e não como um número de partículas. E a expressão do mol como um número de espécies químicas apesar de ser uma resposta correta não é a forma mais adequada de expressar essa unidade.

QUESTÃO 6

Ao comparar o número de átomos existente em 1g de carbono e os existentes em 1g de sódio, qual será o resultado (igual, maior ou menor)? (Dados: massa atômica de carbono: 12u, de sódio: 23u).

Item adaptado do estudo desenvolvido por GARCIA et al. (1990)



Esquema 10 - Porcentagens das unidades de significado sobre quantidade de matéria/mol referentes a questão 6.

A questão 6 do nosso instrumento também foi adaptada do artigo de Garcia e outros (1990) a qual visava identificar a relação que os estudantes estabeleciam entre a

¹⁹ Com especificação do tipo de partícula correta ou incorreta.

massa de uma substância e sua quantidade de matéria. Nos resultados da publicação, quanto maior o grau de instrução maior era a porcentagem de acertos, a ponto de no nível universitário se atingirem quase todas as respostas corretas. O que os autores atribuem ao desenvolvimento da operacionalização das relações entre massa molar e quantidade de matéria.

As respostas aqui obtidas não demonstraram essa evolução na compreensão do conceito de quantidade de matéria quando observamos o grupo 1, que era formado por alunos com o tempo de graduação mais avançado. A maior parte dos estudantes dos dois grupos que responderam a essa questão, relacionaram a quantidade de partículas do sistema a massa, com expressões como as que podemos observar:

Aluno 8 – Grupo 1

O resultado será igual, pois a massa é a mesma.

Aluno 13 – Grupo 2

Será igual, pois ambos possuem a mesma quantidade (1 grama).

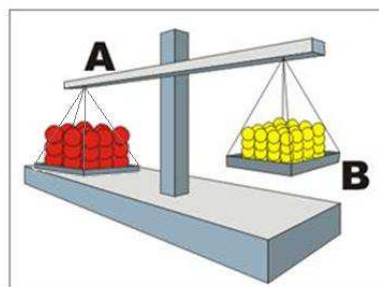
Apesar do grupo com maior tempo de graduação apresentar maior número de estudantes que fazem a associação correta entre a unidade mol e o número de partículas, como discutimos na análise da questão 5, este grupo apresenta também um grande aumento na quantidade de estudantes que associam o número de partículas a massa da substância, mostrando a forte associação que os estudantes fazem da grandeza quantidade de matéria com a massa. Ressalta-se também que mais da metade dos estudantes do segundo grupo não responderam a questão.

QUESTÃO 7

No desenho a seguir se tem representado nos pratos pequenos pedaços de diferentes substâncias e seus correspondentes átomos, para que compare a quantidade de substância existente nos dois pratos:

a) A quantidade de substância é maior em A.

b) A quantidade de substância é maior em B.

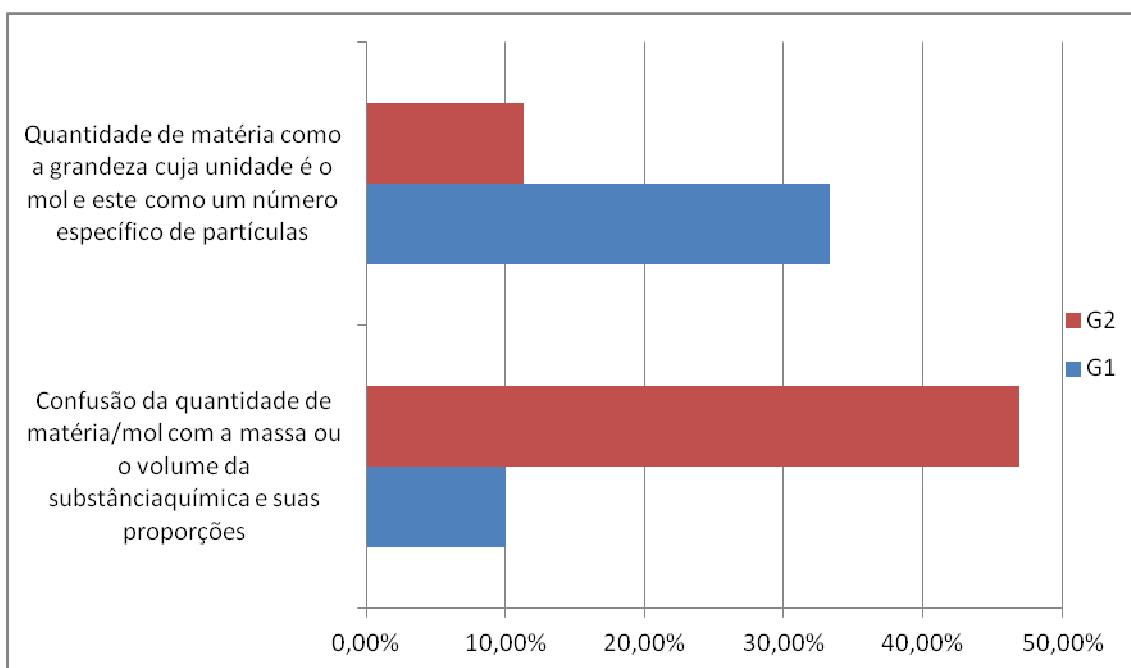


c) A quantidade de substância é igual nos dois lados.

d) Não sei.

Justifique sua resposta

Item adaptado do estudo desenvolvido por FURIÓ, C. et al. 1999.



Esquema 11 - Porcentagens das unidades de significado sobre quantidade de matéria/mol referentes a questão 7.

Ainda sobre o conceito de quantidade de matéria e suas relações temos a questão 7, cujo objetivo envolve conhecer com que grandeza os estudantes associam a quantidade de matéria. Esse era também um dos objetivos da questão na investigação de Furió e outros (1993), onde se concluiu a presença de uma forte visão globalista²⁰ entre os alunos de diferentes níveis. E que estudantes de níveis educacionais mais básicos tendem a associar a quantidade de matéria à massa, enquanto que os estudantes de graus mais avançados passam a associar essa grandeza ao volume.

Nesta questão temos 1/3 dos indivíduos do primeiro grupo, exibindo a correta relação entre a quantidade de matéria e o número de espécies químicas. Mas a maioria desses estudantes (40%) associa a quantidade de matéria à massa da substância. A

²⁰ Focada no macroscópico, partindo de uma concepção contínua da matéria, concentrada em propriedades macroscópicas como a massa e o volume.

porcentagem de estudantes que estabelece a relação adequada é ainda menor no segundo grupo (14,3%) e, mais uma vez, temos uma alta porcentagem (34,7%) de estudantes que marcam a opção “não sei”. De qualquer modo, há poucos participantes que associam quantidade de matéria a outras grandezas como tamanho ou volume.

Sobre a alta taxa de alunos do segundo grupo que não respondem a cada uma das três últimas questões, é importante mencionar que apesar de, no momento da aplicação do instrumento, não terem estudado ainda a estequiometria na universidade, todos eles entraram em contato com este conteúdo e com a grandeza quantidade de matéria e sua unidade durante o ensino médio. Inferimos desses resultados a existência de uma dificuldade por parte dos estudantes para compreender e saber aplicar o conceito de quantidade de matéria.

Dos dados na tabela 2, quanto ao cruzamento das questões 5, 6 e 7 em busca de confusões conceituais em qualquer uma das três respostas concernentes aos conceitos de quantidade de matéria e sua unidade, o mol, concluiu-se que a maioria dos estudantes, nos dois grupos, demonstravam relações inadequadas entre os conceitos de quantidade de matéria e mol, e as outras grandezas como a massa e o volume.

No primeiro grupo, ao compararmos os resultados da questão 5 com as outras duas, obtemos resultados bem incongruentes. Todos os graduandos que respondem a esta questão, associam o mol a um número específico de partículas, 60% deles, ou à quantidade de matéria, 20% deles, o que é incoerente com as confusões conceituais apresentadas nas questões seguintes. Na segunda questão quase 70% dos indivíduos relacionaram o conceito de quantidade de matéria ao de massa ou ao de volume e na última 47% o fazem. No segundo grupo, as respostas mantêm coerência entre si.

Dessa diferença, podemos deduzir que os estudantes que vão avançando nos níveis de ensino, vão memorizando esse conceito, mas têm dificuldade em compreender o seu significado. Nesse sentido, Pozo e Crespo (2009) mencionam que uma das dificuldades na aprendizagem de química é a compreensão e a utilização da quantidade de matéria e de sua unidade, o mol.

Ao contrário das dificuldades abordadas nos pontos (a) e (b), cuja literatura aponta como sendo provenientes de uma concepção alternativa²¹. As causas para essa

²¹ A atribuição de características macroscópicas a espécies submicroscópicas.

dificuldade são variadas e envolvem alguns dos outros pontos citados por Kempa (1991):

- a complexidade da definição da grandeza e da sua unidade (POZO, 2009);
- a natureza do próprio termo ‘quantidade de matéria’ que remete os estudantes à uma quantidade que eles associam à massa ou ao volume do material (ROCHA-FILHO, 1988; FURIÓ, AZCONA e GUIASOLA, 2002);
- a falhas nas apresentações desses conceitos por parte dos professores e dos livros didáticos (FURIÓ, AZCONA e GUIASOLA, 1999; ROGADO, 2005).

Após a análise desses resultados percebemos a necessidade de atividades que permitam a superação das dificuldades de compreensão do conceito de quantidade de matéria apresentadas pelos sujeitos da pesquisa.

Diante disto, executamos modificações na proposta de ensino de modo a fazer com que as atividades girem em torno do conceito de quantidade de matéria, focando no uso adequado dessa grandeza como uma ponte entre o nível macroscópico e o submicroscópico.

4.2 Objetivo 2: Desenvolver, aplicar e avaliar uma unidade de ensino para o tema estequiometria, levando em consideração a produção existente na área abordando, exclusivamente, o conceito de quantidade de matéria.

Com base na literatura sobre o ensino de estequiometria e orientados pelas dificuldades de aprendizagem identificadas, passamos a construção da proposta didática que foi aplicada em três ocasiões:

- 1ª - Em um curso formativo para graduandos em química, ofertado pelo Instituto de Química da UFRN com 5 dias de duração, carga horária de 10 horas e com a participação de alunos de diferentes períodos da graduação em meados de 2011;
- 2ª - Em uma turma de Química Fundamental I da UFRN, com estudantes do primeiro período da licenciatura no início de 2012;
- 3ª - Em um curso formativo para graduandos em química, ofertado pelo Instituto de Química da UFRN com 5 dias de duração, carga horária de 10 horas e com a participação de alunos de diferentes períodos da graduação em fevereiro de 2013.

Nas duas primeiras aplicações percebemos a necessidade de adaptações na proposta, como a utilização da modelagem como estratégia para a construção de significados e o enfoque no estabelecimento de relações adequadas entre a representação de uma reação química e os significados das leis ponderais. Sendo assim, quando utilizamos a unidade didática pela terceira vez, tínhamos uma proposta²² bem diferente da primeira. Realizamos a avaliação da unidade, portanto, na terceira aplicação.

Utilizamos a unidade didática (Apêndice A), nesse momento, em um minicurso ofertado como formação inicial para a graduação em química da UFRN. No qual contamos com a participação média de 8 alunos que apesar de pertencerem a períodos variados da licenciatura em química, todos já haviam cursado o componente curricular Química Fundamental I, onde eles tiveram contato com o conteúdo de estequiometria.

A unidade didática foi adaptada para aplicação em 5 encontros de 2 horas, divididos em 6 fases, cujos objetivos se relacionam as etapas do processo de modelagem. A dinâmica dos encontros encontra-se resumida no quadro 2:

²² A unidade de ensino sugerida pode ser encontrada no apêndice.

Fase/ Duração	Ações	Objetivo
1 90min	◊ Apresentação dos seguintes temas: - definição de modelo; - como os modelos são importantes na ciência; - características dos modelos científicos; - dificuldades de aprendizagem dos estudantes em estequiometria; - importância do uso de atividades de modelagem no contexto de ensino. ◊ Identificação pelos estudantes de diferentes sistemas exibidos como modelos ou não, justificando os motivos da escolha. ◊ Aplicação do processo de modelagem à vários objetos lacrados em uma caixa, através de observação tátil e sonora.	Ajudar os estudantes a desenvolver uma noção adequada de modelos e modelagem com os estudantes. Evitando visões de modelo como mera simplificação da realidade. E perceber a importância das atividades de modelagem na aprendizagem dos estudantes.
2 30 min	◊ Exibição do vídeo de uma reação química de precipitação. Resolução individual de exercícios de cálculos estequiométricos e elaboração da equação química e de um desenho que represente como a reação acontece a nível das partículas.	Avaliar as habilidades e os conhecimentos prévios dos estudantes.
3 120min	◊ Leitura de textos que contextualizam o estudo da estequiometria e discussão orientada pelo método Jigsaw, com questionamento sobre como funciona o processo de elaboração de modelos na ciência.	Oferecer aos estudantes informações (experiências) sobre o objeto alvo do modelo, para que se possam aprimorar os modelos mentais dos estudantes.
4 120min	◊ Proposição de um modelo para uma reação química conhecida (efervescência da vitamina C) individualmente e de um método para o cálculo do teor de bicarbonato no comprimido. ◊ Realização do experimento de determinação do bicarbonato de Sódio, socialização e reformulação do modelo nos grupos.	Produzir modelos mentais, testar esses modelos empiricamente, negociar o modelo com os parceiros, alcançar um modelo consensual e expressar os modelos mentais.
5 120min	◊ Realização nos grupos do experimento de determinação da relação estequiométrica para uma reação de precipitação. Produção de um modelo individual para os cinco sistemas obtidos no experimento, socialização e reformulação do modelo nos grupos. ◊ Discussão dos modelos obtidos, das limitações dos modelos produzidos e das necessidades de adaptações.	Testar os modelos produzidos empiricamente/aplicá-lo à uma nova situação, reformulá-lo de acordo com a especificidade, negociar o modelo com os parceiros, alcançar um modelo consensual e expressar os modelos mentais.
6	◊ Aplicação do modelo proposto em uma nova situação problemática de estequiometria.	Proceder experimentos mentais, testar os modelos e adaptá-los à nova situação.

Quadro 2 - Resumo da proposta didática aplicada com alunos de licenciatura em química.

O principal objetivo da unidade de ensino é a construção do significado estequiométrico das reações químicas, a partir da compreensão das equações químicas balanceadas como modelos para esses processos que se baseiam nas leis ponderais. Para isso, criamos situações que pudessem levar os estudantes a desenvolver uma compreensão adequada das características de um modelo e de seu processo de construção, e que permitissem a prática de atividades de modelagem nesse contexto.

Por isso, a análise dos dados recolhidos se focaliza no processo de construção e discussão dos modelos e nos significados atribuídos. O método utilizado, mais uma vez foi a análise textual discursiva (ATD) que permite a análise tanto de material escrito como oral, com as categorias emergindo do material analisado.

Fase 1 - Introdução aos modelos e a modelagem

No primeiro dia tínhamos nove (9) alunos presentes. Após a exposição sobre o que eram os modelos e como funciona a modelagem, apresentamos seis (6) sistemas para os participantes, e pedimos que identificassem aqueles que eram modelos e justificassem suas respostas. Todos os sistemas poderiam ser considerados modelos, pois se prestavam à representação de algum aspecto de um fenômeno ou objeto. os sistemas eram:

- 1 - O desenho da planta de um apartamento;
- 2 - A equação matemática da energia livre de Gibbs;
- 3 - Um gráfico da variação da velocidade em função do tempo;
- 4 - O modelo de pau e bola para a representação da molécula de amônia;
- 5 - A fórmula estrutural do ácido acético;
- 6 - A equação química da combustão do metano.

A partir das respostas dos 9 participantes, 4 identificaram corretamente todos os sistemas como modelos e 5 apresentaram informações coerentes para alguns dos sistemas como modelos. Ao tentar justificar, 1/3 não responderam e os demais indicaram que alguns não eram modelos. Mesmo assim houve um consenso que os sistemas que não consideraram modelos eram um tipo de representação ou símbolo.

Essa confusão, onde o participante ora identifica uma representação como modelo e outra não, pode estar associada à concepção de modelo como cópia reduzida da realidade (GUEVARA e VALDEZ, 2004). Quando a representação se parece com

uma simplificação do objeto real, como a planta do apartamento (sistema 1) e o modelo de pau e bola da molécula de amônia (sistema 4), ela pode ser considerada um modelo. Nenhum participante deixou de identificá-los como tais. Mas, uma representação mais abstrata, como a fórmula matemática (sistema 2), o gráfico (sistema 3) ou mesmo a equação química (sistema 6) não são considerados como sendo modelos. Destacamos que mais da metade dos participantes identificou a equação química como modelo.

Ao término desta fase foi esclarecido aos participantes que todos os sistemas eram modelos, pois eram utilizados para representar algum aspecto específico de um objeto/fenômeno, ao mesmo tempo, que todos tinham limitações se considerássemos outros aspectos.

Fase 2 - Identificando o conhecimento prévio dos estudantes

Essa etapa tinha objetivo exploratório, queríamos saber se os estudantes conseguiam representar em linguagem escrita as equações químicas balanceadas a partir das fórmulas químicas dos reagentes e da observação do fenômeno; se conseguiam elaborar um modelo adequado à equação ou apontar a equação química como um modelo e; se conseguiam desenvolver os cálculos a partir da estequiometria da reação.

Apenas 1 participante escreveu uma equação não balanceada para a transformação. Dos demais, 3 escreveram fórmulas incorretas, mas que se adequavam à lei de conservação da massa, que era o nosso foco.

Nenhum apresentou a equação química como o modelo para a reação e 5 desenharam um modelo, os demais expressaram oralmente ou por escrito que não sabiam como fazer um modelo para a reação. Dos 5 que desenharam o modelo, 2 não obedeceram à lei de conservação da massa, mesmo tendo produzido a equação adequada para a reação, como pode ser observado na figura 6.

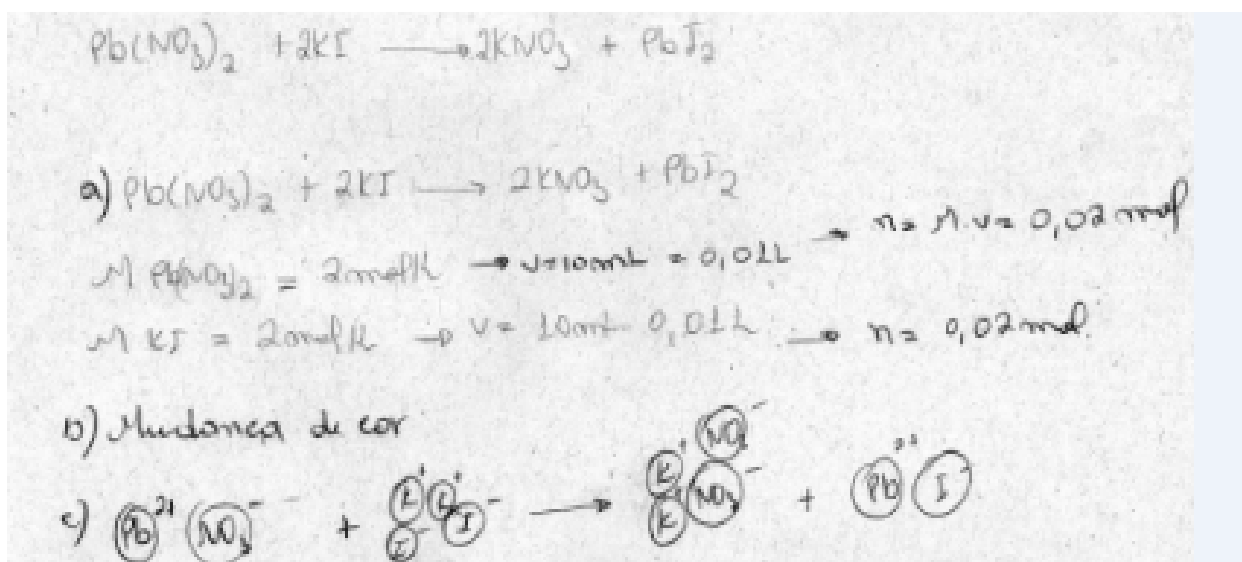


Figura 6 - Representação da reação química por meio de uma equação e de um desenho por uma aluna.

Esses dados indicam uma dificuldade por parte da maioria dos cursistas em associar o que acontece durante uma reação química a nível submicroscópico, com o que é representado pela equação química, ou seja, em relacionar os níveis submicroscópico e simbólico. Podemos inferir uma compreensão inadequada do significado de uma equação química estequiometricamente balanceada.

Fase 3 - Ter experiências com o "alvo"

Nesta etapa a preocupação era fornecer informações que influenciam a forma como escrevemos uma equação química: as definições das leis ponderais e da grandeza quantidade de matéria. Para isso, utilizamos três textos, cada um sobre um tema²³ que fazem uma explanação histórica de uma parte do contexto de desenvolvimento desses temas na ciência. O que constituiu em uma oportunidade, também, de discutir o papel dos modelos na ciência e a limitação dos mesmos.

Para discussão do texto entre os participantes utilizamos o método Jigsaw (FATARELI, et al. 2010), em que cada grupo lê e discute um texto e depois cada um forma novos grupos, contendo pelo menos um membro de cada uma das primeiras equipes. Cada indivíduo nessa situação irá apresentar a discussão que teria ocorrido em sua equipe original.

²³ Lei da conservação das massas, lei das proporções constantes e quantidade de matéria.

Esse foi o momento também em que nós delimitamos os objetivos dos modelos que seriam produzidos nas atividades: de representar como as leis ponderais afetam a compreensão de reação química.

Fase 4 - Realizar testes/Expressar os modelos/Reformulá-los

Chamamos a atenção de que a cada fase os alunos podem ter modificado seu modelo mental à medida que novas atividades eram solicitadas e novas informações oferecidas.

Iniciamos a etapa de testes desses modelos mentais, no contexto de estudo da estequiometria. Nesse momento, os participantes tiveram a oportunidade de desenvolver testes mentais e empíricos, criar modelos, expressá-los, discuti-los com os colegas, negociá-los e atingir um novo modelo.

Os licenciandos receberam uma atividade que explicava o processo de efervescência da vitamina C. Incluía a sua fórmula e a do bicarbonato de sódio e lhes foi solicitado que elaborassem um modelo para a reação e propusessem um modo de determinar a concentração de bicarbonato em um comprimido de vitamina C. Essa atividade foi levada para casa e apenas 1 participante devolveu concluída. Então, solicitamos que eles respondessem a atividade individualmente e depois discutissem as respostas com os colegas de modo a chegar a um consenso.

Ao realizarem a atividade, individualmente, muitos não conseguiram escrever a equação química. Por esta razão, iniciamos uma discussão com os participantes sobre quais seriam os reagentes e os produtos envolvidos na reação, sendo solicitado que os organizassem no formato de uma equação e depois aplicassem a lei de conservação da massa. Mesmo assim alguns expressaram dificuldade para escrever a equação e, no grupo iniciaram uma troca de informações, o que pode ser observado no quadro 3.

Participante	Trecho da fala
Licenciando 1	<i>Eu não sei se esse sal é esse aqui não</i>
Licenciando 2	<i>Qual?</i>
Licenciando 2	<i>É menina! Tem que ser.</i>

Quadro 3 - Trechos de falas²⁴ dos alunos durante a fase 4.

²⁴ Lamentavelmente a qualidade das gravações não foram boas, portanto não serão utilizadas as transcrições e sim os registros dos textos elaborados pelos participantes e de registros feito pelas pesquisadoras (mestranda e orientadora).

Este diálogo revela a dificuldade de um aluno em identificar um dos elementos da equação solicitando auxílio a outro. Como a qualidade das gravações foi muito baixa não utilizaremos outras transcrições.

No decorrer da atividade foi solicitado aos participantes que explicassem aos demais os modelos produzidos. Alguns alunos não tinham elaborado modelo, mas discutiram os de outros colegas e se mostraram alheios as discussões, mesmo quando questionados. Outros realmente discutiram seus modelos e defenderam suas posições, mesmo opostas aos da maioria do grupo. Por fim, as três equipes decidiram que os modelos eram suas equações balanceadas, mas apenas uma delas conseguiu utilizar o modelo para explicar como o teor de bicarbonato de sódio na vitamina C deveria ser calculado.

No dia seguinte os participantes realizaram a atividade prática proposta por um dos grupos. Ao fim da atividade deveriam calcular o teor de bicarbonato de sódio presente na vitamina C, a partir de suas observações e produzir um modelo para a mesma reação. Neste momento deveria ser feito com massa de modelar.

Eles tinham um guia com as estratégias matemáticas a serem utilizadas e todas as equipes conseguiram responder ao exercício de cálculo. Mas, quando foram fazer os modelos da equação química balanceada utilizando massa de modelar, mais uma vez sentiram dificuldades. Foram necessárias intervenções por meio de questionamentos sobre as etapas a serem seguidas para a construção de um novo modelo a partir de outro já elaborado (equação química). Assim, foi possível cada grupo construir o próprio modelo quase que simultaneamente e, de modo, muito similar.

Estes modelos, por sua vez, foram discutidos no grupo e refeitos até chegarem a um consenso sobre o modelo mais representativo para a equação química em questão.

Os modelos elaborados utilizando massa de modelar colorida são apresentados nas figuras 7 e 8 a seguir:



Figura 7 - Modelo para o processo de efervescência da vitamina C elaborado pelo grupo 1.



Figura 8 - Modelo para o processo de efervescência da vitamina C elaborado pelo grupo 2.

Fase 5 - Realizar testes/Expressar os modelos/Reformulá-los/Discutir as limitações e a validade dos modelos gerados

Nessa etapa foi fornecida uma nova situação aos participantes para que pudessem testar e reformular os modelos construídos. A nova situação consistiu em uma atividade experimental com reagente limitante. Para a realização da atividade foi entregue um roteiro no qual haviam 5 sistemas com diferentes proporções de reagentes.

A tarefa a ser realizada era criar modelos para o comportamento das partículas nesses sistemas antes da observação empírica dos resultados dos mesmos.

No início da modelagem alguns participantes apresentaram dificuldades para representar a equação, mas em função das trocas de informação no grupo, foram elaborando seus modelos. Apenas 3 participantes conseguiram elaborar os modelos para os diferentes sistemas reacionais sem observação do resultado empírico. Mas, após a observação, a maioria dos estudantes conseguiu produzir seus modelos.

Quando reunidos no grande grupo, os participantes discutiram e chegaram a um consenso sobre o modelo mais representativo da reação química. Cabe destacar que nosso auxílio para a intervenção no processo de modelagem foi diminuindo nesta fase. Os modelos elaborados possuíam formas de representação distintas, entretanto todos estavam adequados ao objetivo da tarefa. Nas figuras 9 e 10 a seguir são apresentados os modelos consensuais para esta atividade.

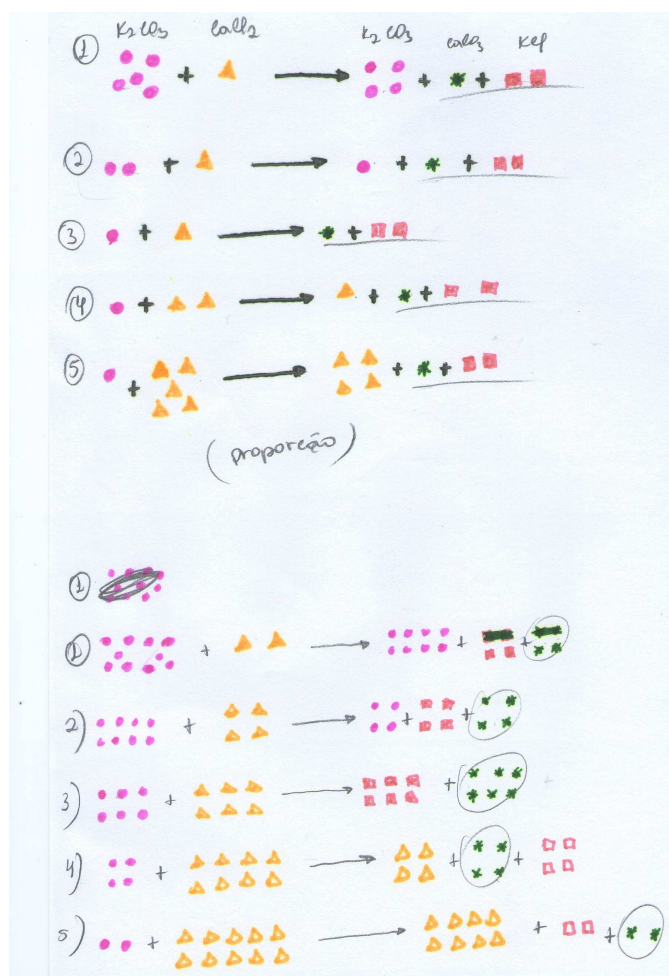


Figura 9 - Modelo para os sistemas reacionais do grupo 1.

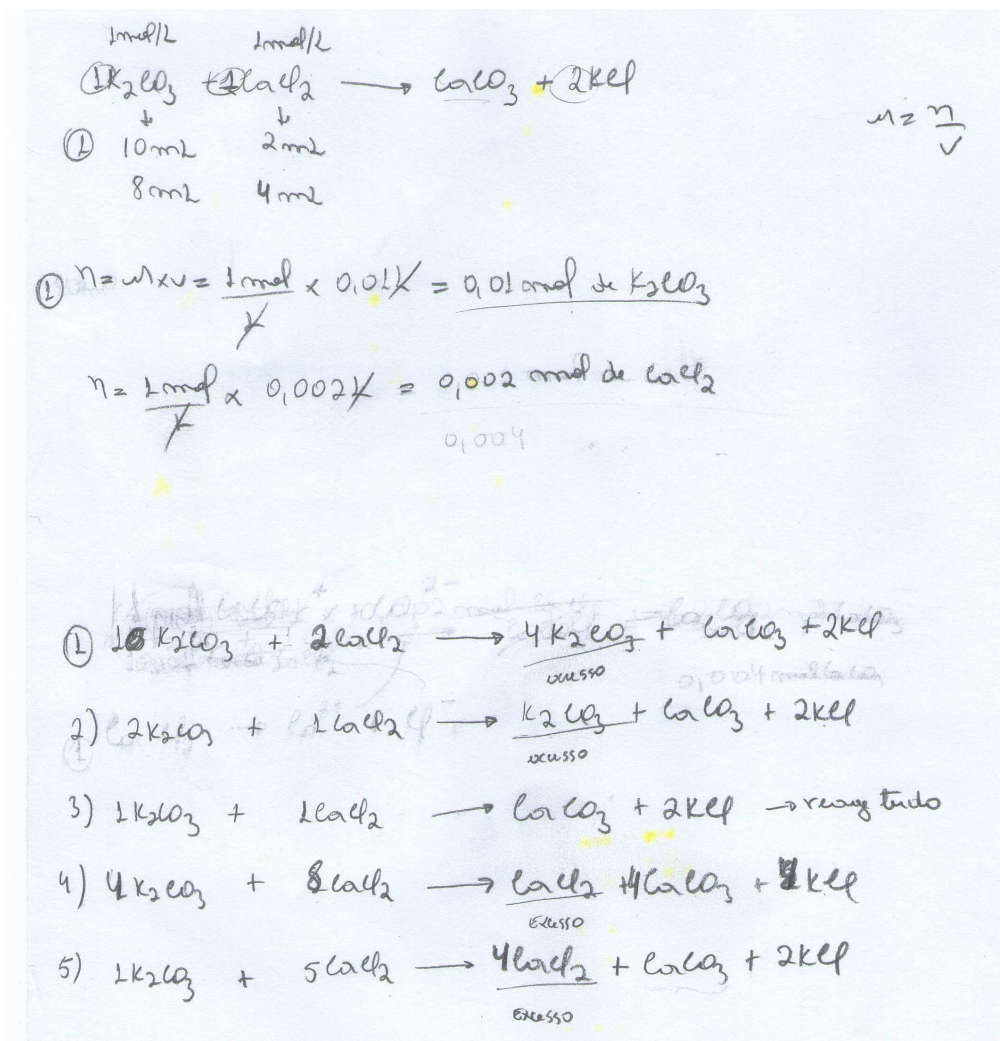


Figura 10 - Modelo para os sistemas reacionais do grupo 2.

A habilidade de elaborar os modelos sem recorrer a nossa intervenção mesmo para uma nova situação revela que os participantes alcançaram uma compreensão mais elaborada do significado dessas equações, o que era o principal objetivo dessa proposta didática.

Como limitação desta fase, em função da pouca disponibilidade da carga horária do minicurso, não foi possível uma discussão mais aprofundada da validade e limitação de cada modelo e, de como esses modelos e o da atividade anterior se relacionavam e se diferenciavam.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nossa revisão de literatura sobre o ensino da estequiometria observamos à necessidade de um olhar direcionado as dificuldades de aprendizagem dos estudantes da educação básica e, conseqüentemente, levar este tema como problematizador nos cursos de formação inicial de professores de química em uma perspectiva de proporcionar situações para o desenvolvimento da metacognição. Além disso, também foram sinalizadas discussões em torno do conceito de matéria e a existência de poucas propostas em torno do ensino deste conteúdo como parte dos saberes didáticos dos docentes.

Ao investigarmos as dificuldades de aprendizagem dos futuros professores, percebemos que ao longo do tempo eles desenvolvem a compreensão da lei de conservação das massas de forma macroscópica. Por outro lado, têm dificuldades em lidar com a ideia de conservação da massa. Não demonstram compreensão da relação entre os fenômenos nos materiais da forma como são percebidos macroscopicamente e a maneira como se comportam as partículas que compõem esses materiais. O que dificulta a atribuição de significado aos termos de uma equação química e a compreensão do conceito de quantidade de matéria.

Entre as principais dificuldades de aprendizagem dos futuros professores (participantes do nosso estudo), podemos sinalizar a dificuldade de relacionar o nível simbólico com o nível submicroscópico e este último com o nível macroscópico e a dificuldade de compreender adequadamente o conceito de quantidade de matéria, confundindo essa grandeza com outras como a massa molar ou o volume. Estas, por sua vez, estão em acordo com o referencial teórico levantado.

Com relação a elaboração da sequência de atividades cujo objetivo era promover discussões entre os participantes sobre o significado submicroscópico de diferentes fenômenos químicos que envolviam a ideia de conservação de massa, a literatura revelou que a utilização da modelagem como ferramenta para a construção do conhecimento científico era uma alternativa para dar significado ao estudo da estequiometria.

A sequência de atividades se mostrou adequada ao observarmos a aproximação dos participantes no processo de aprendizagem do conceito de estequiometria e do uso das leis ponderais.

As fases adotadas na sequência de atividades para o processo de modelização seguiram a proposta de Justi (2006). Entre as etapas destacamos a exposição teórica do

fenômeno a ser observado (os diferentes modelos para representar os objetos de estudo, quer dizer, os seis sistemas apresentados). Nesta fase observamos que a maioria dos participantes conseguiu identificar os sistemas apesar de não saber justificá-lo.

A segunda fase que tinha como objetivo motivar o interesse do tema além de levar os participantes a reconhecer seus conhecimentos prévios sobre estequiometria. A fase seguinte também se mostrou adequada, pois levou os participantes a elaborarem e expressarem individualmente os modelos para uma dada reação química. O que destacamos é que este processo de adaptação com as etapas da modelagem foi se dando de forma progressiva e contínua e, a socialização das dificuldades enfrentadas no grupo foi fundamental para o avanço da construção do modelo.

A terceira fase incluía a introdução de diferentes formas de representação dos modelos para a reação química com a discussão das limitações de cada um deles e, conseqüentemente sua reformulação. Tanto nesta etapa como na anterior foi fundamental a intervenção dos colegas nos pequenos grupos para o avanço da modelagem e, posteriormente no grande grupo para se chegar aos modelos consensuais. Observou-se que a principal dificuldade dos participantes foi de transpor a forma de representação com a qual estavam acostumados (a equação química) para uma forma concreta do modelo mental. A quarta fase incluía a testagem dos modelos, contrastando-os e remodelando, se necessário. Nesta, a principal dificuldade vivenciada foi a de propor uma forma experimental de testar o modelo.

Diante de uma nova situação de maior complexidade, as etapas de elaboração, testagem e contrastação dos modelos foram muito mais ágeis e com o reconhecimento da validade do modelo.

Como sugestão de continuidade deste estudo, pensamos em ampliar a proposta de modelagem para outros conceitos químicos.

Por fim, reconhecemos a necessidade de avaliar a apropriação dos conceitos envolvidos, pois sua resposta de internalização durante e logo a seguir do minicurso se mostrou viável, mas pode não significar a aprendizagem dos conceitos ou ainda de não ter alcançado a evolução das representações dos participantes para os fenômenos estudados.

REFERÊNCIAS

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Landy, 2001. 248 p.
- AGUIRRE, C.; VÁZQUEZ, A.; FERNÁNDEZ, R. Analogías para la enseñanza de los conceptos de mol y número de Avogadro. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, Número Extra VIII, Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, p. 628-633, 2009.
- ALEXANDER, M.D.; EWING, G.J.; ABBOT, F.T. Analogies that indicate the size of atoms and molecules and the magnitude of Avogadro's number. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.61, n. 7, p. 591, 1984.
- ANDERSON, B. Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (Age 12-16), **Studies in Science Education**, Leeds, v. 18, n. 1 p. 53-85, 1990.
- ARAGÃO, M. J. **História da Química**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 248 p.
- ARASASINGHAM, R. D.; TAAGEPERA, M.; POTTER, F.; LONJERS, S. Using Knowledge Space Theory To Assess Student Understanding of Stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 81, n.10, p. 1517, 2004.
- AULT, A. How to say how much: amounts and stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 78, n.10, p. 1347-1349, 2001.
- AULT, A. Mole City: A Stoichiometric Analogy. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 83, n. 11, p. 1587-1588, 2006.
- BALLÉN, A. B. **Identificación y superación de errores conceptuales en la enseñanza y aprendizaje del concepto estructurante estequiometria**. Colombia: Kimpes, 2009.
- BALOCCHI, E. et al. Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte I. El aprendizaje cooperativo. **Educación Química**, Cidade do México, v. 16, n.3, p. 469-485, 2005.

BALOCCHI, E. et al. Aprendizaje cooperativo del concepto cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química Parte II: Concepciones alternativas de 'reacción química'. **Educación Química**, Cidade do México, v. 16, n. 4, p. 550-567, 2005.

BALOCCHI, E. et al. A Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química Parte III: Concepciones acerca de la 'cantidad de sustancia' y su unidad 'el mol'. **Educación Química**, Cidade do México, v. 17, n. 1, p. 10-28, 2006.

BINDEL, T. H. Crystal Models Made from Clear Plastic Boxes and Their Use in Determining Avogadro's Number. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.79, n. 4, p. 468, 2002.

BIRD, L. Stoichiometric Calculations Using Equivalent Molar Expressions. **The Chemical Educator**. Boise, v. 11, n. 6, p 380-382, 2006.

BOUJAOUDE, S.; BARAKAT, H. Students' problemsolving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. **Electronic Journal of Science Education**, Reno, v. 7, n.3, 2003.

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

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2006.

CAMPANARIO, J. M. Automatic 'balancing' of chemical equations. **Computers & Chemistry**. v. 19, n.2, p. 85-90, 1995.

CARRASCOSA, J. El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Analisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. **Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 2, n. 2, p. 183-208, 2005.

CASTRO, E. A. El empleo de modelos en la enseñanza de la química. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, v. 10, n. 1, p. 73-79, 1992.

CHALMERS, A. **A fabricação da Ciência**. São Paulo: Edunesp, 1994. 185p.

CHANDRASEGARAN, A. L.; TREAGUST D. F.; WALDRIP B. G.; CHANDRASEGARAN, A. Students' dilemmas in reaction stoichiometry problem solving: deducing the limiting reagent in chemical reactions. **Chemical education research and practice**, Ioannina, v. 10, p. 14-23, 2009.

CLEMENT, J. Model based learning as a key research area for Science Education. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 9, p. 104-1053, 2000.

COHEN, I. Moles and equivalents: quantities of matter. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 38, n.11, p. 555-556, 1961.

COLL, R. K. The role of models/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**, London, v. 27, n. 2, p. 183-198, 2005.

DAHSHA, C. R., COLL, S., SUNG-ONG, N., YUTAKOM; SANGUANRUANG, S. Enhancing grade 10 Thai students' stoichiometry understanding and ability to solve numerical problems via a conceptual change perspective. **Journal of Science and Mathematics Education in S.E. Asia**, Gelugor, v. 35, n.10, p. 1-43, 2008.

DAVIDOWITZ, B.; CHITTLEBOROUGH G.; MURRAY E. Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. **Chemistry Education Research and Practice**, Ioannina, v.11, p. 154-164, 2010.

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M.M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002. 365p.

DEFFIT, J. M. G. **Diseño de un módulo instruccional con estrategias de resolución de ejercicios de estequiometría química para los alumnos de la asignatura química I, perteneciente a la unidad de estudios básicos de la universidad de oriente núcleo de bolívar, según el modelo de Walter Dick y Lou Carey.** 2009. 222f. Tese (Doutorado). Universidad de Oriente. Postgrado en educación - Núcleo de Bolívar. Ciudad Bolívar. 2009.

DE JONG, O.; TABER, K. S. Teaching and Learning the Many Faces of Chemistry. In ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.), **Handbook of Research on Science Education**, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2007. p. 631-652.

DEMEO, S. The Decomposition of Zinc Carbonate: Using Stoichiometry To Choose between Chemical Formulas. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.81, n. 1, p. 119-120, 2004.

DIERKS, W. Teaching the Mole. **European Journal of Science Education**, London. v. 3, n. 2, p. 145-148. 1981.

DIEMENTE, D. Demonstrations of the Enormity of Avogadro's Number. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.75, n. 12, p. 1565, 1998.

DRIVER, R., **Beyond Apparences:** The Conservation of Matter under Physical and Chemical Transformations, en DRIVER R., GUESNE, E., TIEBERGHIEN, A. (editors), *Children's ideas in science*, Filadelfia: Open University Press, Milton Keynes, 1985.

DUNCAN, I.M. E JOHNSTONE, A. H. The mole concept. **Education in Chemistry**, United Kingdom, v. 10, n. 6, p. 213-214, 1973.

FATARELI, E. F. et al. Método cooperativo de aprendizagem *Jigsaw* no ensino de cinética química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 161-168, 2010.

FERREIRA, P. F. M. **Modelagem e suas contribuições para o ensino de ciências: uma análise no estudo de equilíbrio químico.** 2006. 165f. Dissertação (Mestrado em Educação). - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006.

FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o “Fazer Ciência”. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 28, p. 32-36, 2008.

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, G. Y.; MUJICA, E. Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud «olvidada» en la enseñanza de la química: la cantidad de sustancia. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n. 2, p. 107-114, 1993.

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 17 n. 3, p. 359-376, 1999.

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos cantidad de sustancia y mol. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 20 n. 2, p. 229-241, 2002.

GABEL, D.; SHERWOOD, R. D. Analyzing difficulties with mole-concept tasks by using familiar analog tasks. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 21, p. 843-851, 1984.

GALAGOVSKY, L; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 231-242, 2001.

GAMBOA, J., CORSO, H.; GENNARI, F. Se busca una magnitud para la unidad mol. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 3 n. 2, p. 229-236, 2006.

GARCIA, A. Insights: A New Method to Balance Chemical Equations. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.64, n. 3, p. 247-248, 1987.

GARCÍA, J.P. et al. Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 8 n. 2, p. 111-119. 1990.

GILBERT, G. L. Percent Composition and Empirical Formula - A New View. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.75, n. 7, p. 851, 1998.

GILBERT, J. K. Models and Modeling: routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, Taiwan, v. 2, p. 115-130. 2004.

GORIN, G. Mole, Mole per Liter, and Molar: A Primer on SI and Related Units for Chemistry Students. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.80, n. 1, p. 103, 2003.

GUEVARA, M; VALDEZ, R. Los modelos en la enseñanza de la química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y aprendizaje. **Educación Química**, México, v. 15 n. 3, p. 243-247, 2004.

GUO, C. A New and General Method for Balancing Chemical Equations by Inspections. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.74, n. 11, p. 1365, 1997.

HAIM, L.; CORTÓN, E.; KOCHMUR, S.; GALAGOVSKY, L.. Learning Stoichiometry with Hamburger Sandwiches. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 80, n.9, p. 1021, 2003

HINTON, M.; NAKHLEH, M. Students' Microscopic, Macroscopic, and Symbolic Representations of Chemical Reactions. **Chemical Educator**, Boise, v. 4, n. 5, p. 158-167, 1999.

HOPPE, J. Chemical amount or chemount. **The Science School Review**, v. 73, n. 263, p. 132-133, 1991.

HUDDLE, P. A., PILLAY, A. E. An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a south african university. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 33, n. 1, p. 65-77, Hoboken, 1996.

INMETRO. **Sistema Internacional de Unidades - SI**. 8. ed. Rio de Janeiro, 2003.
ISLAS, S. T.; PESA, M. A. Futuros docentes y futuros investigadores se expresan sobre el modelado en Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23. n. 06, p. 319-328, 2001.

JUSTI, R. S.; GILBERT, J. K. A Natureza de Modelos na Visão de Professores de ciências. In: III Encontro Nacional em Educação em Ciências, 2001, Atas do III ENPEC. Atibaia, São Paulo, 2001.

JUSTI, R. S. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, v. 24 n. 2, p.173-184, 2006.

KEMPA, R. Students learning difficulties in science: causes and possible remedies. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 9, n. 2, p. 119-128, 1991.

KRIEGER, C. R. Stoogiometry: A Cognitive Approach to Teaching Stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 74 n.3, p. 306, 1997.

LANDAU, L.; LASTRES, L. Cambios químicos y conservación de la masa... ¿Está todo claro? **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, v. 14 n. 2, p. 171-174, 1996.

LEE, S. A redefinition of «mole». **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 38 n.11, p. 549-551, 1961.

LIMA, A. A. **O uso de modelos no ensino de química**: uma investigação acerca dos saberes construídos durante a formação inicial de professores de química da UFRN. 2007. 264f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24 n.1, p. 112-131, 2007.

MENDONÇA, P. C. C. **‘Ligando’ as ideias dos alunos à ciência escolar**: análise do ensino de ligação iônica por modelagem. 2008. 241f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

MIGLIATO FILHO, J. R. **Utilização de modelos moleculares no ensino de estequiometria para alunos do ensino médio**. 2005. 125f. Dissertação (Mestrado em química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MILLS, I.M.; CVITAS, T.; HOMANN, K. KALLAY, N.; KUCHITSU, K. IUPAC Quantities, units and symbols in physical chemistry. Oxford: Blackwell, 1993.165p.

MOLINA, J. A. L. La concepción corpuscular de la matéria. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. **Investigación en la escuela**, Sevilla, n. 4, p. 33- 48, 1988.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.5. n.2, p. 67-91, 2000.

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

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n.1, p. 117-128, 2006.

MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.1. n.3, p. 1-39, 1996.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: editora da UnB, 2006. 180 p.

MUROV, S.; STEDJEE, B. Analysis of zinc tablets: an extension to a stoichiometry experiment. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 78. n.1389 p. 538, 2001.

NAKHLEH, M. Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers- Identifying Conceptual students in general Chemistry. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 70, n.1, p. 52-55, 1993.

NOVAK J. D.; GOWIN D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano edições técnicas, 1984. 212 p.

OLSON, J. A. An Analysis of the Algebraic Method for Balancing Chemical Reactions. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 74. n.5 p. 538, 1997.

PADILLA, K., FURIÓ, C., AZCONA, R. Las visiones deformadas de la ciencia en la enseñanza universitaria de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, Número extra, VII congreso, 2005.

PÉREZ, D. G. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7 n.2, p. 125-153, 2001.

POSKOZIM, P. S. et al. Analogies for Avogadro's Number. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 63. n.2 p. 125-126, 1986.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciência: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

ROBINSON, W. R. Chemistry problem-solving: Symbol, macro, micro, and process aspects. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 80, n.9, p. 978–982, 2003.

ROGADO, J. Ensino e aprendizagem da grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: a importância da história da ciência para sua compreensão. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, Número Extra VII Congreso Internacional sobre Investigación em Didáctica de las Ciencias, Barcelona, 2005.

ROCHA-FILHO, R. C. Sobre o mol e seus afins: uma proposta alternativa. **Química Nova**. São Paulo, v. 11, n. 4, p. 419-429, 1988.

ROHRIG, B. Fizzy drinks: stoichiometry you can taste. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.77, n. 12, p. 1608, 2000.

ROSA, M. I. F. P. S.; SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito de transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n.8, 1998.

ROSEN, I. A. A computer program designed to balance inorganic chemical equations. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.54, n. 11, p. 704, 1977.

ROSER, C. E.; MCCLUSKEY, C. L. Pressure and stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.76, n. 5, p. 638-640, 1999.

SÁNCHEZ, B. G.; VALCÁRCEL, P. M. V. Diseño de unidades didácticas em el área de ciências experimentales. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n.1, p. 33-44, 1993.

SANMARTÍ, N. El diseño de unidades didácticas. In: PERALES, A. J.; CAÑAL, P. (Orgs.) **Didactica de las ciências experimentales**. Barcelona. Marfil, 2000. p. 239-266

SAVOY, L.G. Balancing chemical equations, **School Science Review**, Hatfield, v. 69 n. 249, p. 713-720, 1988.

SCHMIDT, H-J. Secondary school students' strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, London, v. 12, n.4, p. 457–471, 1990

SCHWAB, P. A.; JONES, D. R. BALANCER: A Computer Program for Balancing Chemical Equations. **Journal of Agronomic Education**, Madison, v.18, n. 1, p. 29-32, 1989.

SILVA, M. G. L.; NÚÑEZ, I. B. Identificando concepções alternativas dos estudantes. In: **Instrumentação para o ensino de química II**. Natal: EDUFRN, 2007.

SOARES, M. A. C. P. A **Grandeza “Quantidade de Matéria” e sua Unidade “Mol”**: Uma Proposta de Abordagem Histórica no Processo de Ensino-Aprendizagem. 2006. 154f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 2006.

SOUZA, V. C. A. **Os desafios da energia no contexto da termoquímica: modelando uma nova ideia para aquecer o ensino de química**. 2007. 216f. Dissertação (Mestrado em Educação). - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

STAVER, J.R.; LUMPE, A.T. Two Investigations of students» understanding of the mole concept and its use in problem solving. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 32 n. 2, p.177-193, 1995.

THAMBURAJ, P. K. A Known-to-Unknown Approach to Teach About Empirical and Molecular Formulas. **Journal of Chemical Education**, v. 78 n.7, p. 915-916, 2001.

TORRE, A. O.; JIMÉNEZ, J. M. S. La masa no se crea ni se destruye. ¿Estáis seguros?, **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 10 n.2, p. 165-171. 1992.

TÓTH, Z. Balancing Chemical Equations by Inspection. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.74, n. 11, p. 1363, 1997.

TOTH, Z. Limiting Reactant: An Alternative Analogy. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 76, n.7, p. 934, 1999.

TÓTH Z.; SEBESTYÉN A. . Relationship between students' knowledge structure and problem-solving strategy in stoichiometric problems based on chemical equation, **Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education**, v. 1, n.1, p. 8-20, 2009.

UTHE, R. E.; For Mole Problems, Call Avogadro: 602-1023. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v.79, n. 10, p. 1213, 2002.

VERONEZ, K. N. S.; PIAZZA, M. C. R. Estudo Sobre Dificuldades de Alunos do Ensino Médio com Estequiometria. In: Encontro Nacional em Educação em Ciências, 2007. Atas do **VI ENPEC**, 2007.

VOGELEZANG, M.J. Development of the concept 'chemical substance' - some thoughts and arguments. **International Journal of Science Education**, London, v.7 n.5, p. 519-528, 1987.

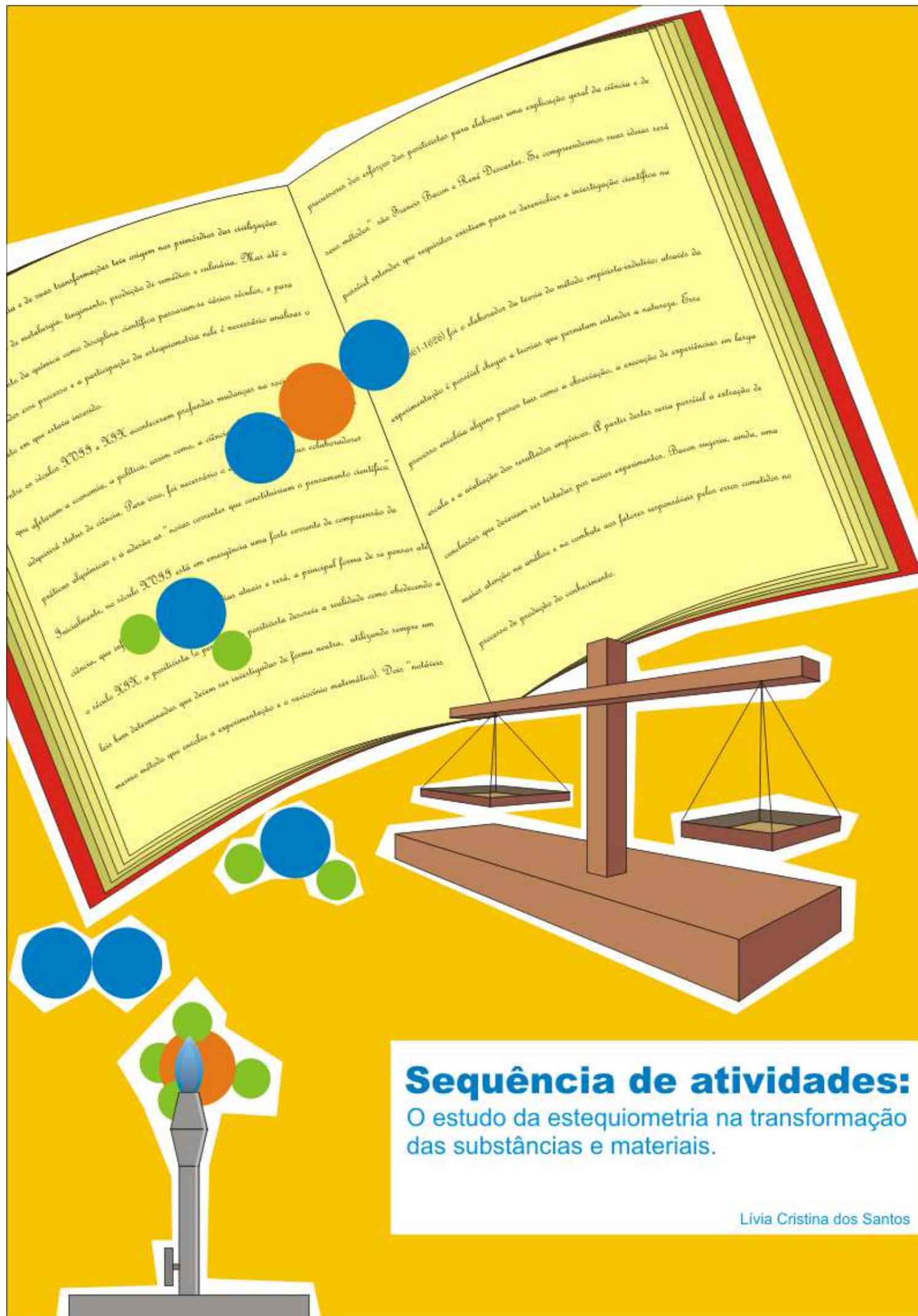
WITZEL, J. E. Lego Stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 79, n. 3, p. 352, 2002.

WOOD, C.; BREYFOGLE, B. Interactive Demonstrations for Mole Ratios and Limiting Reagents. **Journal of Chemical Education**, Georgia, v. 83 n.5, p. 741-748, 2006

ZABALA, A. **A prática educativa**. Como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224 p.

APÊNDICE

PROPOSTA DE ENSINO PARA O CONTEÚDO DE ESTEQUIOMETRIA



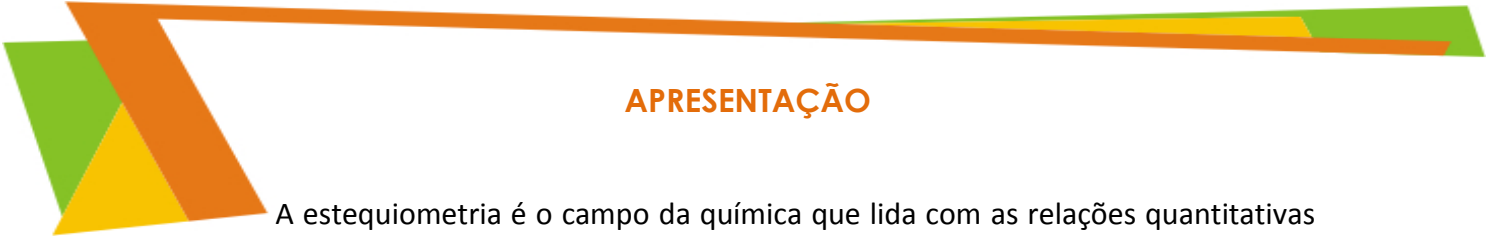
Sequência de atividades:

O estudo da estequiometria na transformação das substâncias e materiais.

Livia Cristina dos Santos

SUMÁRIO

1. Apresentação.....	3
2. Sequência de Atividades	
2.1. AÇÃO 1: Identificando dificuldades de aprendizagem dos estudantes.....	4
2.2 . AÇÃO 2: Conversando sobre modelos e modelagem.....	9
2.2 . AÇÃO 3: Introduzindo a grandeza quantidade de matéria.....	14
2.3. AÇÃO 4: Contextualizando as leis ponderais.....	23
2.4. AÇÃO 5: Compreendendo as transformações químicas em seus três níveis.....	32
3. Referências.....	44
4. Passo-a-passo resolvendo questões.....	45



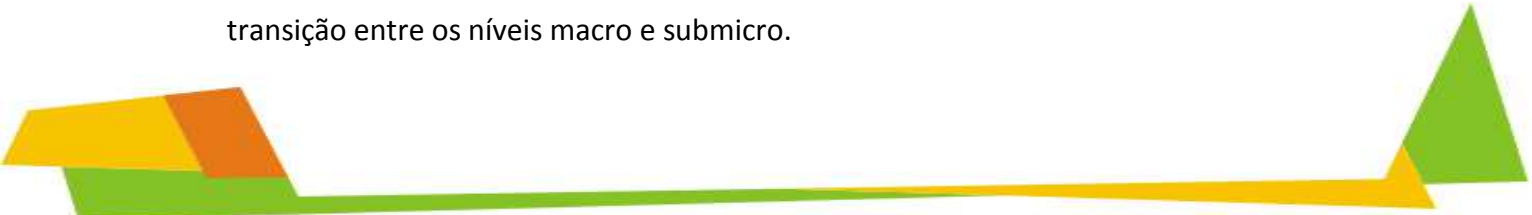
APRESENTAÇÃO

A estequiometria é o campo da química que lida com as relações quantitativas que estão implícitas nas fórmulas e nas equações químicas. O estudo deste conceito implica na compreensão dos significados relacionados a estas representações, ou seja, envolve a simbologia do fenômeno no nível microscópico.

Além disso, possui estreita relação com o observável ou nível macroscópico, pois trata das relações entre massa, volume e quantidade de matéria que são grandezas macroscópicas. Nesta direção, os conceitos envolvidos tornam a estequiometria um conteúdo riquíssimo, pois requer do estudante que estabeleça relações entre os três níveis de interpretação da química (simbólica, macroscópico e submicroscópico). Em virtude disto, o aprendizado da estequiometria pode ter certo nível de dificuldade ao exigir do estudante habilidades cognitivo-linguísticas e certo grau de abstração relevante para a significação dos conceitos e estruturação dos modelos mentais.

O estudo da estequiometria se baseia na articulação de alguns conteúdos conceituais. Os conceitos-chave são a lei da conservação das massas, a lei das proporções constantes, a lei das proporções múltiplas, a quantidade de matéria e o mol. Para articular tais conceitos é necessário que se compreenda seus significados na descrição macroscópica da matéria, na submicroscópica e na simbólica.

Como proposta que auxilie no ensino deste conteúdo em sala de aula apresentamos uma sequência de atividades que tem como objetivo abordar algumas dificuldades de aprendizagem expressas em pesquisas no campo da educação química. Espera-se que estas atividades auxiliem os estudantes na construção do significado do conceito de quantidade de matéria, na interpretação macroscópica por meio de atividades experimentais; na interpretação submicroscópica por meio da elaboração de modelos e na interpretação simbólica de equações e fórmulas baseadas na transição entre os níveis macro e submicro.



AÇÃO 1 – Identificando dificuldades de aprendizagem dos estudantes

Objetivo: Identificar dificuldades de aprendizagem com relação a alguns conceitos envolvidos com estequiometria;

Princípios teóricos:

As dificuldades de aprendizagem são um dos principais direcionadores da ação do professor. De acordo com Pozo e Gómez-Crespo (2009) conhecer as dificuldades dos estudantes e sua origem mais provável leva a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. As diretrizes curriculares nacionais, por exemplo, os PCNmais²⁵ também salientam a necessidade do professor realizar atividades para detectar as dificuldades dos estudantes e de usar os resultados para replanejar as ações.

Descrição da ação:

A literatura sinaliza que os erros cometidos pelos estudantes em situações de verificação do conhecimento de um dado conceito estão intimamente relacionados às concepções alternativas, as quais expressam as dificuldades de aprendizagem. Assim, propomos que esta seja uma atividade inicial a ser aplicada ao estudante antes de abordarmos os conceitos, de tal modo que possa orientar as futuras ações. Apesar disso, há uma expectativa nas respostas dos estudantes em função de outras investigações já desenvolvidas, o que de certa forma nos orientou nas demais ações desta sequência de atividades.

No quadro a seguir apresentamos algumas das concepções expressas pelos estudantes e as dificuldades apresentadas para este conceito.

²⁵ Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais.

Algumas concepções alternativas dos estudantes apontadas na literatura científica:

- Transferência de aspectos observáveis no nível macroscópico para o nível submicroscópico (ROSA e SCHENETZLER, 1996).
- Associação da definição de quantidade de matéria, a massa, volume ou número de Avogadro (GARCIA et al, 1990; FURIÓ et al, 1993).

Principais dificuldades de aprendizagem dos estudantes apontadas na literatura científica:

- dificuldade de transição entre os três níveis de interpretação (LANDAU e LASTRES, 1996; HINTON e NAKHLEH, 1999).
- baixa capacidade de abstração (POZO e CRESPO, 2009).
- baixo conhecimento da linguagem química,
- confusão entre índices e coeficientes estequiométricos,
- desconhecimento do significado das fórmulas e equações químicas (VERONE e PIAZZA, 2007).

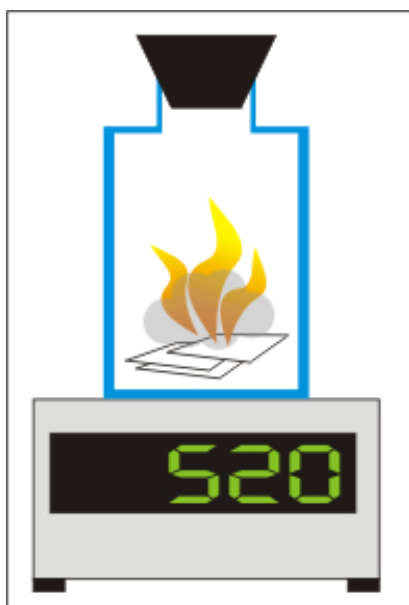
Utilizamos uma prova pedagógica cujas questões envolvem a aplicação de conceitos e/ou procedimentos relacionados ao conteúdo estequiometria. São questões utilizadas em instrumentos de pesquisa já publicados para reconhecer as dificuldades de aprendizagem dos estudantes.

Os itens da prova pedagógica estão divididos por habilidade a ser identificada na atividade. O instrumento pode ser aplicado aos estudantes antes de iniciadas as atividades de ensino e devem orientar possíveis modificações nas ações a serem realizadas.

PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA IDENTIFICAR ERROS CONCEITUAIS RELACIONADOS AO CONTEÚDO DE ESTEQUIOMETRIA.

Tempo da atividade – 20 minutos

Tópico Abordado 1 - Aplicação da Lei de Conservação das massas



Em uma garrafa, como a da figura ao lado, situada sobre uma balança, é introduzido um papel pegando fogo que pesa 20 gramas fechando-a imediatamente. Uma vez fechada, a balança marca 520 gramas. Quando o papel se queimar totalmente a balança marcará:

- a) *menos de 500 gramas.*
- b) *exatos 500 gramas*
- c) *entre 500 e 520 gramas*
- d) *exatos 520 gramas*
- e) *mais de 520 gramas*
- f) *não sei.*

Justifique sua resposta.

OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por TORRE e JIMÉNEZ (1992).

2 - Coloca-se em um frasco cheio de ar um pedaço de ferro de massa conhecida. Fecha-se hermeticamente e se deixa durante três semanas. Ao final deste período, o pedaço de ferro apresenta manchas que mostram que o metal enferrujou.

Comparando a massa do sólido ao final da experiência com sua massa inicial, esta será:

- a) *a mesma.*
- b) *maior.*
- c) *menor.*

Justifique sua resposta

OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por LANDAU e LASTRES (1996).

3 - Com relação à situação anterior, a massa de ar ao final da experiência com respeito à massa inicial será:

- a) *a mesma.*
- b) *maior.*
- c) *menor.*

Justifique sua resposta

OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por LANDAU e LASTRES (1996).

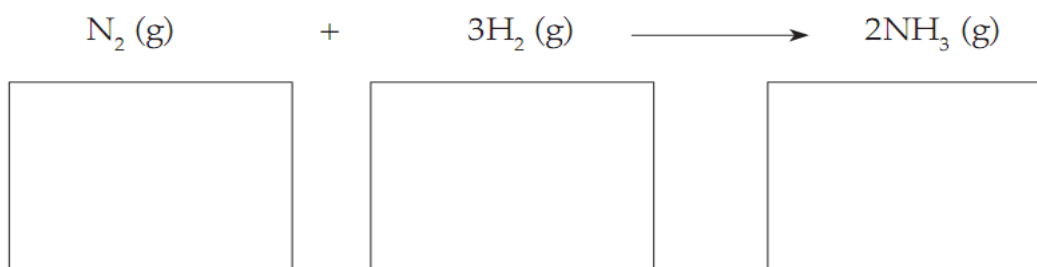
Tópico Abordado 2 - Tradução da representação química.

1 - O que significa para você a seguinte expressão química?



OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por GARCIA et al. (1990)

2 - Suponha que uma esfera negra representa um átomo de hidrogênio e uma esfera branca um átomo de nitrogênio. Com a informação anterior, faça uma representação que demonstre como você considera que aconteça a reação química abaixo:



OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por BALLÉN (2009).

Tópico Abordado 3 - Aplicação do conceito de quantidade de matéria

1 - Que relação existe entre 1 mol de água e 1 mol de ferro?

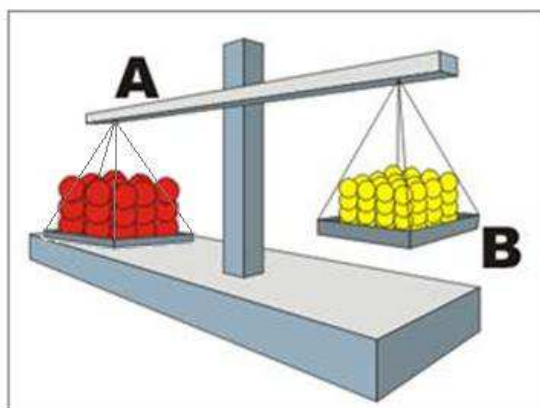
OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por GARCIA et al. (1990)

2 - Ao comparar o número de átomos existente em 1g de carbono e os existentes em 1g de sódio, qual será o resultado (igual, maior ou menor)? (Dados: massa atômica de carbono: 12u, de sódio: 23u).

OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por GARCIA et al. (1990)

3 - No desenho a seguir se tem representado nos pratos pequenos pedaços de diferentes substâncias e seus correspondentes átomos, para que compare a quantidade de substância existente nos dois pratos:

- a) A quantidade de substância é maior em A.
- b) A quantidade de substância é maior em B.
- c) A quantidade de substância é igual nos dois lados.
- d) Não sei.



Justifique sua resposta

OBS: Item adaptado do estudo desenvolvido por FURIÓ, C. et al. 1999.

AÇÃO 2 – Conversando sobre modelos e modelagem²⁶

Objetivos:

- Discutir o significado do termo "modelo";
- Apresentar os diferentes tipos de modelos importantes para o processo de ensino;
- Iniciar o contato com o processo de modelagem.

Conteúdos:

Conteúdos conceituais

- Modelos;
- Modelos científicos, mentais, curriculares e didáticos.

Conteúdos procedimentais

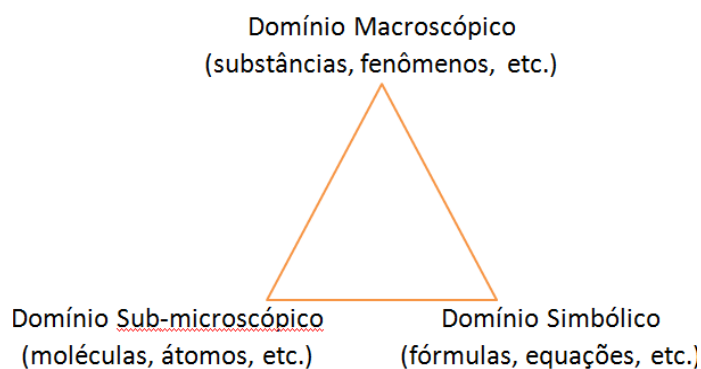
- Construir modelos como representações de abstrações.

Conteúdos atitudinais

- Reconhecer o papel dos modelos na ciência, como ferramentas indispensáveis no processo de construção do conhecimento.

Princípios teóricos:

A química é a ciência que estuda a matéria. O que é feito compreendendo-se a matéria em termos de três domínios que estão representados no triângulo abaixo:



Esquema 1 - Triângulos dos significados em química.

²⁶ Esta ação refere-se à fase 1 da dissertação (Introdução aos modelos e modelagem)

O domínio macroscópico é aquele com o qual temos contato mais antecipadamente, é chamado também de nível descritivo e abrange os aspectos observáveis da matéria, tais como as propriedades físicas e organolépticas, dentre as quais podem ser citados como exemplos, a cor, o cheiro e o estado físico.

O domínio submicroscópico é abstrato, é chamado também de nível explicativo, envolve o comportamento ou as propriedades das partículas, que são usados para explicar/prever observações no domínio macroscópico.

O domínio simbólico ou representacional envolve os símbolos utilizados para representar objetos, propriedades, ou fenômenos referentes tanto ao domínio macroscópico quanto ao submicroscópico, por meio de fórmulas, equações, etc. Trata-se da forma de comunicação em ciência.

O estudo da química compreende a manipulação desses três domínios e a transição entre eles. Porém, já apontamos anteriormente que dentre as dificuldades que os estudantes apresentam na aprendizagem da química está a dificuldade de transição entre esses três domínios (LANDAU e LASTRES, 1996; HINTON e NAKHLEH, 1999) e a baixa capacidade de abstração (POZO e GOMÉZ-CRESPO, 2009).

Entendemos que para manipular os três domínios e conseguir transitar entre eles é necessário que o estudante construa representações mentais adequadas, o que impescinde de abstração. Envolve, portanto, o desenvolvimento de ideias puramente no plano mental que não é facilmente acessível aos professores. Para auxiliar na elaboração de tais representações o professor pode trabalhar junto com os estudantes na construção de modelos, o que pode ajudá-los a desenvolver ideias abstratas²⁷, criando formas de concretizá-las, expressá-las e aprimorá-las.

Modelos são representações parciais de objetos, fenômenos ou ideias. Um modelo é produzido com um propósito específico como, por exemplo, facilitar a visualização; fundamentar elaboração e teste de novas ideias; e possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado.

²⁷ De acordo com Piaget (MOREIRA, 2009) os indivíduos passam por estágios de desenvolvimento mental nos quais apresentam diferentes capacidades. A habilidade de "operar com construtos mentais" tem início no período operatório formal, entre 11 e 12 anos. É papel do professor respeitar o nível de desenvolvimento mental do aluno e ajudá-lo a desenvolver as capacidades de cada estágio.

É importante destacar que um modelo não corresponde à realidade ou uma simplificação da mesma. O modelo é uma representação de algum aspecto da realidade.

Os modelos são muito relevantes no processo de construção do conhecimento. Desempenhando muitas funções, como: simplificar a representação de objetos, visualizar materiais abstratos, fundamentar interpretações, auxiliar o processo de explicação, facilitar a comunicação e fundamentar previsões (JUSTI e GILBERT, 2001).

Os modelos não só desempenham diferentes papéis, como também podem ser de diferentes tipos dependendo de suas características e dos contextos em que são elaborados/utilizados.

Quatro categorias de modelos são relevantes de serem discutidas no processo de ensino, os modelos mentais, os modelos científicos, os modelos curriculares e os modelos didáticos. Apresentaremos a seguir destacando suas características mais importantes (GALAGOVSKY e ADÚRIZ-BRAVO, 2001; GILBERT, 2004):

- ♦ *Modelos mentais:* representações produzidas **internamente** como resultado do esforço do indivíduo para compreender o mundo. Esses modelos são **idiossincráticos** e representam objetos, eventos ou conceitos. São produzidos quando o sujeito está sozinho ou em grupo, dependendo da forma como ele **interpreta as informações** que recebe. Correspondem a uma representação analógica do conhecimento e **não são acessíveis a outras pessoas**, mas podem ser externalizados como *modelos expressos*.
- ♦ *Modelos científicos:* representações construídas **provisoriamente** e **consensualmente** pela ação conjunta de uma comunidade científica, que utiliza de instrumentos para explorar a realidade. Esse modelo articula um **número imenso de hipóteses de alto nível de abstração com relação a um campo problemático da realidade**. Seu **alto grau de formalização** faz com que esse modelo esteja além das capacidades operatórias dos estudantes e da sua disponibilidade de conhecimentos prévios.

- ♦ *Modelos Curriculares*: versões simplificadas dos modelos científicos. Para sua elaboração, deve ser **preservada a estrutura conceitual do modelo científico** ao qual está relacionado e devem ser **levadas em consideração as ideias prévias e as habilidades dos estudantes**.
- ♦ *Modelos didáticos*: representações criadas com o objetivo de auxiliar na compreensão de algum aspecto dos modelos curriculares. São representações visuais (ou tácteis) **associadas a um modelo científico**, que têm como objetivo ajudar na visualização de entidades abstratas. Podem ser objetos **concretos**, imagens, analogias, esquemas ou outras ferramentas que auxiliem o professor no processo de ensino. Exemplos destas representações são: o desenho de um orbital, o esquema de uma célula e os modelos moleculares.

É essencial que ao utilizar os modelos durante o processo de ensino se discuta com os estudantes o que são os modelos, quais são as suas funções e qual é a sua importância, para que se evitem algumas dificuldades sobre o uso de modelos já apontadas pela literatura (COLL, 2006; GALAGOVSKY e ADÚRIZ-BRAVO, 2001), como as listadas a seguir:

- ♦ Concepção de que o modelo corresponde à realidade ou uma **cópia reduzida** desta;
- ♦ Apreensão do modelo desvinculado do conceito à que está relacionado;
- ♦ Não percepção da limitação dos modelos;
- ♦ Insistência no uso de modelos mais simples, mesmo diante de uma gama de modelos mais sofisticados;
- ♦ Dificuldade de aplicação do modelo em contextos diferentes.

Considerando estas problemáticas associadas à ideia de modelos e ao seu uso é importante que o professor destaque as principais características dos modelos e desenvolva com os estudantes de atividades de modelagem. Onde eles próprios estejam engajados na elaboração, discussão e utilização dos modelos.

Para que os estudantes possam ser inseridos em atividades de modelagem, é necessário que eles desenvolvam algumas ideias principais sobre modelos, de maneira que eles sejam capazes de reconhecer que eles:

- podem ser concretos ou abstratos, não apenas simples artefatos;
- são usados para representar um determinado domínio, não sendo uma cópia do mesmo;
- simplificam os seus domínios, não representando todos os seus aspectos;
- podem ser usados para explicar e prever o comportamento de um fenômeno;
- podem ser aplicados em vários contextos, não apenas em situações de interesse imediato;
- podem ser modificados, sempre que isto se fizer necessário.

Modelar

Modelar *é o processo de criar modelos para um fenômeno/objeto a partir da seleção, interpretação e integração de aspectos importantes para descrever e explicar o comportamento do sistema. Os modelos criados são submetidos a uma série de teste, revisão e reelaboração, até produzir descrições e explicações satisfatórias para o fenômeno.*

Processo de modelagem

No processo de modelagem os estudantes vão construir modelos a partir de um propósito predefinido pelo professor. Esses modelos irão representar algum aspecto de um objeto/fenômeno conhecido pelos alunos.

Os estudantes expressarão os seus modelos de alguma forma, discutirão entre si e farão alterações de modo a chegar num consenso. Apresentarão seu modelo explicando as razões de sua validade.

Após discutirem e reformularem sucessivamente o modelo, os estudantes tentarão aplicá-lo a novas situações. Assim, teremos um processo em ciclos de construção-discussão-revisão-reformulação do modelo.

Por fim, se discutirá a validade de cada modelo construído, seu grau de abrangência, suas limitações, semelhanças, diferenças e aplicabilidades.

Com esse processo espera-se levar o estudante a desenvolver sua capacidade crítica, sua capacidade de abstração e compreenda a elaboração de modelos como ferramenta importante no processo de construção do conhecimento.

A atividade que propomos para introduzir a noção de modelos e o procedimento da modelagem é apresentada a seguir:

Descrição da ação:

Tempo da atividade – 15 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 1 – Apresentação expositiva sobre modelos e modelagem

Inicia-se com a discussão sobre o significado coletivo da palavra modelo ao perguntar a toda à turma:

De que vocês lembram quando eu falo a palavra modelo?

Logo após, apresentar aos estudantes diferentes imagens associadas a diferentes usos das palavras modelos, destacando suas características, algumas sugestões podem ser encontradas a seguir:



Figura 1 - Modelos como profissionais que representam um personagem.



Figura 2 - Modelos como exemplares de um artigo.



Figura 3 - Modelo como uma representação em escala reduzida.

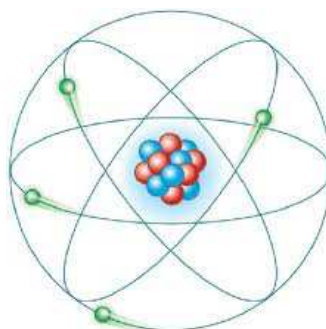
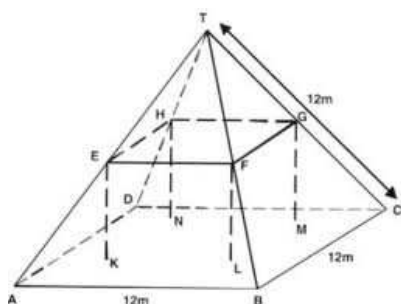


Figura 4 - Modelo como uma representação limitada de um objeto/fenômeno com um propósito.

A partir dos significados discutidos, destacar a ideia de modelo como uma representação, presente em todas as imagens apresentadas. Diferenciando o modelo ao qual estamos nos referindo, ressaltando que não se trata de um exemplar ou uma redução da realidade, mas uma representação elaborada com um objetivo específico. No caso dos modelos apresentados na figura 4, têm o objetivo de representar a estrutura de um objeto.

Tempo da atividade – 25 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 2 – Identificação de modelos

Nesta atividade propomos apresentar 6 sistemas²⁸ para os estudantes e solicitar que identifiquem os que podem ser considerados modelos justificando suas respostas. Sugerimos abaixo alguns sistemas:



Figura 5 - Desenho da planta de um apartamento. Representa a disposição do ambiente.

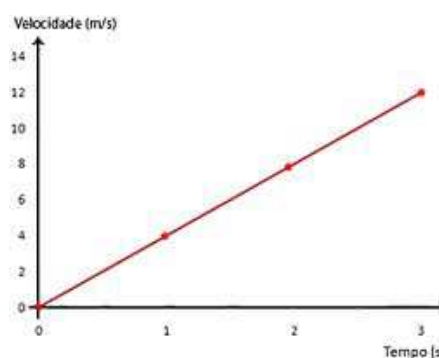


Figura 6 - Gráfico da variação da velocidade com o tempo. Representa a aceleração de um objeto.



Figura 7 - Desenho da molécula de amônia segundo o modelo pau e bola. Representa a estrutura e a geometria da molécula de amônia.

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln Q$$

Figura 8 - Equação matemática para a variação da energia livre de Gibbs. Representa matematicamente a variação da energia livre em um sistema.

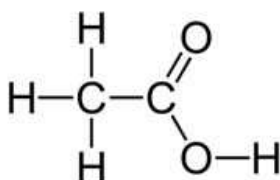


Figura 9 - Fórmula estrutural do ácido acético. Representa a estrutura da molécula de ácido

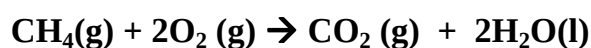


Figura 10 - Equação química para a combustão do metano. Representa as substâncias participantes da reação química e suas proporções.

²⁸ É importante que todos os sistemas sejam diferentes formas de representação que se apliquem na nova definição de modelos que foi apresentada na atividade anterior, para que se possam destacar a principal característica do modelo, ser voltado a uma finalidade específica.

Os estudantes podem ter de 10 a 15 minutos para completar a atividade de forma individual. Ao fim deste período, o professor poderá mediar o questionamento sobre “quais são modelos identificados” e “quais as justificativas para tal identificação”.

É importante que fique claro qual o aspecto(s) de cada objeto/fenômeno que o modelo está a representar.

Tempo da atividade – 25 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 3 – Introdução à modelagem

Essa atividade deve ser introduzida com uma breve apresentação sobre a importância da elaboração de modelos no processo de construção do conhecimento e sobre o que é modelagem.

Na sequência apresenta-se à turma uma caixa lacrada com alguns objetos que não podem ser vistos, e uma luva em dois dos lados, de modo que alguém possa colocar as mãos dentro e tocar os objetos por meio das luvas. Um dos estudantes deve ser convidado a manipular a caixa e descrever os objetos dentro da caixa para os colegas que devem fazer desenhos baseados nas suas afirmações. Ao fim de cada desenho os colegas devem compartilhar seus rascunhos com os colegas e conversar sobre as limitações e possibilidades de seus desenhos e refazê-los. Devem ser testados e representados vários objetos da caixa, com a ressalva de que o estudante não deve dizer aos outros o que é o objeto manipulado (caso ele o reconheça) até que os desenhos sejam completados.

Durante esse processo os estudantes começam a vivenciar o processo de modelagem, aprendem a selecionar e interpretar informações relevantes para a construção do modelo provisório e adaptá-lo de modo a alcançar um modelo consensual que ainda vai possuir limitações em relação ao objeto modelado.

AÇÃO 3 – Introduzindo a grandeza quantidade de matéria²⁹

Objetivos:

- Identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema;
- Revisar estratégias matemáticas de razão e proporção;
- Apresentar a grandeza quantidade de matéria.

Conteúdos:

Conteúdos procedimentais

- Utilizar ferramentas matemáticas de conversão de unidades;
- Resolver problemas quantitativos.

Conteúdos atitudinais

- Promover a cooperação com os colegas para alcançar um objetivo;
- Promover a participação nas discussões.

Conteúdos conceituais

- Grandeza/unidade;
- Quantidade de matéria/mol.

Princípios teóricos:

Pesquisas sobre as dificuldades de aprendizagem relacionadas ao conceito de quantidade de matéria (GARCIA et al., 1990; FURIÓ et al., 1993) ressaltam que os estudantes têm dificuldades para compreender esse conceito. Ao aplicar este conceito os estudantes o confundem com outras grandezas como a massa ou o volume.

Rocha-Filho (1988) atribui essa dificuldade ao próprio termo usado para a grandeza. Para este autor a quantidade de matéria não seria um termo suficientemente distintivo para impedir tais confusões (já que quantidade de matéria poderia referir-se a uma quantidade em massa ou em volume).

²⁹ Esta ação corresponde a fase 2 da dissertação (Identificando os conhecimentos prévios e ativando os subsunções na perspectiva de Ausubel)

Gamboa, Corso e Gennari (2006) destacam o problema decorrente da própria forma de definição da grandeza visto que a quantidade de matéria está atrelada a sua unidade, o mol.

Considerando as dificuldades de aprendizagem dos estudantes com esses conceitos, Furió e outros (2000) recomendam o conhecimento detalhado pelos professores da grandeza quantidade de matéria e do mol e de seu contexto de surgimento. Eles atribuem às dificuldades apresentadas pelos estudantes na compreensão da quantidade de matéria ao próprio ensino, à incoerência entre as exposições contidas nos livros e na fala do professor, e os significados compartilhados no meio científico sobre este conceito.

Furió, Azcona e Guisasola (2002) ressaltam ainda a necessidade do estudante compreender a quantidade de matéria como uma ponte entre o mundo macroscópico e o mundo submicroscópico. Para isso, é necessário que ele (aluno) compreenda as relações entre esses níveis.

De modo que, esses estudos ressaltam a necessidade de se abordar a quantidade de matéria como uma grandeza específica, construindo o significado dela como uma magnitude diferente da massa e do volume e como elemento que relaciona o nível macroscópico de representação da matéria e o submicroscópico.

A seguir apresentaremos uma proposta de atividade para identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema e revisar (ou introduzir, se for o caso) o significado de quantidade de matéria. Para tanto, será necessário também manipular matematicamente algumas grandezas.

Descrição da ação:

Tempo da atividade – 30 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 1 – Técnica do remador

Para trabalhar o significado de quantidade de matéria como uma magnitude química é proveitoso que os estudantes tenham uma noção da utilidade de uma grandeza e de como utilizamos grandezas no nosso cotidiano. Além disso, no estudo de estequiometria é necessário que saibam trabalhar com razões, proporções, regras de três e conversões.

Sendo assim, a primeira atividade consiste na manipulação de grandezas conhecidas. Para tanto, a dinâmica da atividade consiste em dividir os estudantes em grupos e propor a discussão sobre o termo “grandezas” utilizando a **técnica remador**. Nesta técnica a turma é dividida em grupos, nos quais a quantidade de participantes é equivalente ao número de questões que serão fornecidas ao grupo.

Todos os grupos recebem as mesmas questões, neste caso cada grupo terá 3 integrantes, devido à existência de três indagações. Cada pessoa recebe uma folha em branco e uma ficha com uma questão diferente. É estipulado um tempo de 4 minutos para se responder a questão solicitada na ficha (as questões podem ser visualizadas no quadro³⁰ a seguir).

Quadro 1: Perguntas – atividade 1

- O que é e para que serve uma grandeza?
- Que grandezas usamos no cotidiano? Por que não utilizamos apenas uma grandeza?
- Como podemos converter grandezas? Mostre exemplos de como se dá tal conversão.

As questões vão sendo repassadas, de modo que, todos os estudantes respondam a todas, na sua própria folha sem consultar as respostas dos outros participantes. A seguir os participantes devem discutir as respostas e chegar a um consenso que deve ser redigido e entregue (8 a 10 minutos). A partir das respostas definitivas o professor sistematiza as discussões e desenvolve exercícios que envolvam conversão entre unidades de grandezas (5 a 10 minutos).

Tempo da atividade – 25 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 2 – Resolução de problemas

Nesta atividade propomos apresentar aos estudantes a utilidade de uma magnitude que se relacione com a massa, na abordagem das transformações químicas em termos de uma grandeza que permita a contagem de unidades. Para isso, serão utilizados alguns problemas analógicos³¹ que os levem a compreender a necessidade

³⁰ A ficha com todas as questões pode ser entregue no final da atividade para todos os alunos.

³¹ Problemas que utilizam de analogia para chegar a uma conclusão que possa ser transferida ao tema alvo da analogia.

de estabelecer uma relação entre uma unidade e a massa em determinadas situações. Essa tarefa foi adaptada de um exercício do livro Química e Sociedade (SANTOS, 2005, p. 256). É dado a cada um dos grupos uma das seguintes questões para que resolvam e determinados 15 minutos de tempo para a execução:

Problema 1

Minha namorada adora amendoins coloridos e eu gostaria de colocar 48 amendoins em forma de coração no presente que estou preparando para comemorar os 4 anos de nosso namoro. Apesar do pouco dinheiro, queria comprar exatamente essa quantidade de amendoins.

Como o rapaz poderá realizar o presente sem precisar contar um a um, quando a unidade para a venda desse doce é o grama?

Problema 2

Vou preparar uma refeição que requer o uso de 250g de farinha. Na cidade onde moro a farinha é vendida em Litros. Como eu posso comprar exatamente a quantidade de farinha que preciso?

Problema 3

Tenho uma curiosidade enorme de saber quantas pipocas consigo fazer com um pacote de milho de pipoca. Como poderia saber quantos milhos têm em um pacote, sem contar um a um?

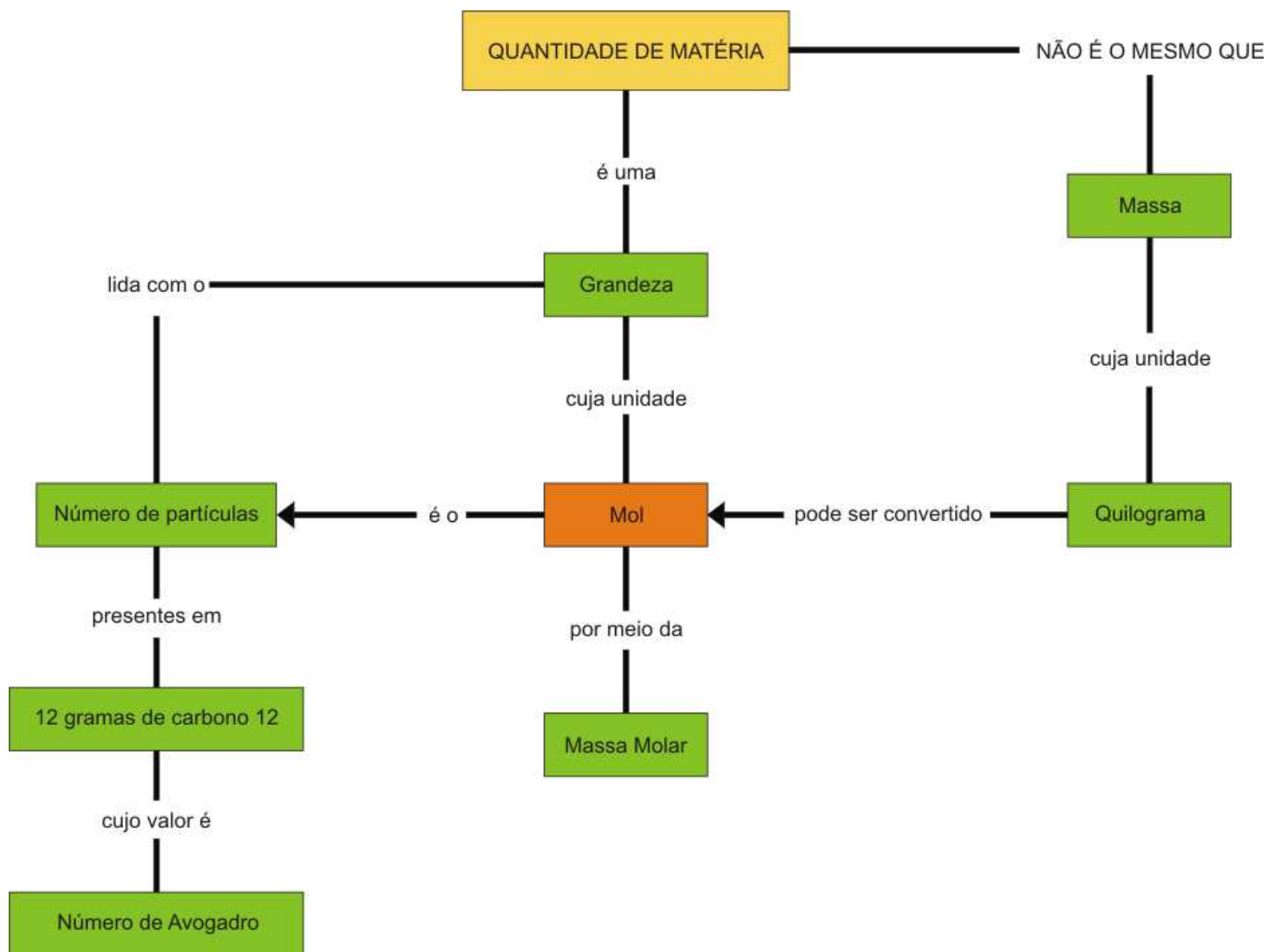
Concluída esta atividade, os participantes devem relatar as respostas aos problemas apresentados por cada grupo e, posteriormente, no grande grupo discutir, durante 10 minutos, a possibilidade de resolução de todas da mesma forma.

Tempo da atividade – 25 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 3 – Relações matemáticas e mapa conceitual

Nesta atividade procurar-se-á de forma expositiva definir quantidade de matéria e mol, utilizando como base as discussões realizadas e apresentando as relações matemáticas entre essa grandeza e outras como a massa e o volume. Para sistematização do discutido utilizamos o seguinte mapa conceitual:



Esquema 01 - Mapa conceitual para sistematizar o conceito de quantidade de matéria.

AÇÃO 4 – Introduzindo os conceitos-chave da estequiometria de forma contextualizada³²

Objetivos:

- Definir as leis ponderais e a quantidade de matéria de forma contextualizada;
- Introduzir os três níveis de interpretação da matéria e começar a sua articulação;
- Discutir o significado da grandeza quantidade de matéria considerando os três níveis de interpretação da matéria;
- Apresentar algumas aplicações desta lei.

Conteúdos:

Conteúdos procedimentais

- Leitura e interpretação de textos;
- Utilizar ferramentas matemáticas e teóricas para explicar os fenômenos;
- Exposição de respostas sintetizadas a partir dos textos.

Conteúdos atitudinais

- Promover a cooperação com os colegas para alcançar um objetivo;
- Promover a participação nas discussões.

Conteúdos conceituais:

- Quantidade de matéria/mol;
- Lei de conservação das massas;
- Lei das composições constantes;
- Lei das proporções definidas.

Princípios teóricos:

Uma das dificuldades de aprendizagem dos estudantes para compreender a lei de conservação das massas remete a uma concepção de continuidade da matéria (ROSA e SCHENETZLER, 1996), o que é essencial ao entendimento do conceito de estequiometria. Assumimos que a discussão, mesmo simplificada, sobre a introdução

³² Esta ação refere-se à fase 3 da dissertação (Ter experiência com o “alvo”)

da concepção atomista no meio científico, isto é, como e porque surge a ideia de matéria descontínua, porque não é aceita de imediato ou ainda que conflitos aparecem em torno deste tema e, de que forma o atomismo acaba prevalecendo, pode auxiliar aos estudantes na compreensão do significado e da lógica do modelo particular da matéria. Sendo assim, a abordagem contextualizada da estequiometria pode ajudar na introdução dos conceitos que dão suporte ao seu estudo.

Descrição da ação:

Tempo da atividade – 1h e 30 minutos

Local – Sala de aula

Atividade:

Inicialmente, realiza-se uma *aula expositiva* sobre o significado da transformação química macroscopicamente, submicroscopicamente e simbolicamente. Salientando aspectos da interação entre os três níveis (15 minutos).

Para apresentar as leis ponderais e evoluir na discussão do conceito de quantidade de matéria, propomos a *discussão pela turma alguns textos* que devem ser fornecidos aos estudantes na aula anterior e, solicitada sua leitura. Para essa atividade os estudantes, mais uma vez, serão divididos em grupos e devem discutir tópicos que estão relacionados aos textos, utilizando trechos em sua exposição.

A estratégia utilizada no desenvolvimento da atividade é o método de aprendizagem colaborativa, conhecido como *Jigsaw* (FATARELI, et al. 2010). Neste método serão formados 6 grupos e cada componente receberá um conjunto de 6 perguntas. Os participantes de diferentes grupos que selecionaram o mesmo tópico se reúnem para ler os textos fornecidos e discutir o assunto abordado. Cada conjunto de indagações tem maior relação com um dado texto, de modo que, se necessário, os estudantes podem ler o texto durante a atividade. Em seguida, todos voltam aos seus grupos originais e explicam aos seus colegas o conteúdo das discussões e procuram estabelecer relações entre os diferentes tópicos desenvolvidos (1h).

Em seguida o professor media a exposição dos resultados das discussões pelos diferentes grupos e sistematiza as principais ideias dos textos, integrando os diferentes tópicos (25 min). Os textos bem como as indagações são apresentados nas próximas páginas. São textos informativos de autoria própria.

Texto 1

A CONSERVAÇÃO DAS MASSAS

O estudo da matéria e de suas transformações teve origem nos primórdios das civilizações com as técnicas de metalurgia, tingimento, produção de remédios e culinária. Contudo, até o século XVII não existia uma ciência alicerçada que se pretendesse ao estudo da matéria. As práticas voltadas a esse estudo estavam frequentemente, associadas ao misticismo, não tinham uma sistematização e eram conhecidas como alquimia.

Nessa época a ideia existente de ciência estava fortemente marcada pelo rigor matemático e pela experimentação. Para ser reconhecida como ciência, a química precisaria adequar seus métodos e nesse sentido o estudo da estequiometria foi de grande importância.

No contexto da química ao fim do século XVIII os problemas fundamentais eram determinar a “composição em massa” das substâncias compostas e o cálculo quantitativo das proporções em massa com que se combinam as substâncias nas reações químicas. Assim, Antoine Lavoisier (1743-1794) empenhava-se em seus estudos sobre os fenômenos químicos. Uma de suas preocupações era a aplicação de uma metodologia rigorosa em seu trabalho experimental, construindo explicações baseadas em fatos/dados quantitativos obtidos por meio de medidas precisas, relacionando grandezas e expressando-os em linguagem matemática.

Sua contribuição mais famosa é a negação empírica da teoria do flogisto, que tratava da química de forma exclusivamente qualitativa, quando se requeria agora um tratamento quantitativo. Daí a importância dos trabalhos de Lavoisier, primeiro criando uma nova teoria da combustão e depois colocando a massa como uma informação pertinente nas transformações químicas. Em seu Tratado Elemental de Química, de 1789, escreve:

“Podemos estabelecer como um axioma³³ que, em todas as operações da arte e da natureza nada se cria; uma quantidade igual de matéria existe antes e depois do experimento; a qualidade e a quantidade dos elementos permanecem as mesmas; e nada ocorre

³³ Princípio que não deriva de outro princípio.

além de variações e modificações na combinação dos elementos. Deste princípio depende toda a arte de executar experimentos químicos: devemos sempre supor uma igualdade exata entre os elementos do corpo examinado e aqueles dos produtos de sua análise.”

Este trecho ilustra o que viria a ser a lei de conservação das massas, que indica que não é possível gerar ou destruir matéria durante uma reação química. Mas, Lavoisier não chega sozinho a esta conclusão, teorias similares já haviam sido sugeridas por outros estudiosos, que compunham o que se pode chamar de a comunidade científica da época. Lavoisier teve acesso a alguns desses materiais e realizando observações de experimentos com o uso de sistemas gasosos fechados e balanças, constatou que, de fato, a massa dos sistemas não se alterava durante a experiência, postulou então, a lei de conservação das massas. Com esse conhecimento seria possível determinar as quantidades de produtos nas reações químicas o que representava um avanço da química em direção ao rigor científico que era exigido na época.

Tópico 1: A matemática e a ciência

A MATEMÁTICA E A CIÊNCIA

Qual foi a importância da lei de conservação das massas no seu contexto de criação? Explique a através do modelo de uma reação química qual é o significado da lei de conservação das massas? Faça outros comentários que achar relevantes.

Texto 2

AS PROPORÇÕES NAS TRANSFORMAÇÕES

Ao saber que a massa se conserva durante a transformação química, uma indagação permanece: como se dá a combinação entre massas? Será que existem proporções definidas de reagentes na reação química?

Neste sentido, merecem destaque as investigações de Jeremias Richter (1762-1807). Ele era um matemático que se interessava pela química. Entre seus objetivos era matematizá-la, por isso se dedicava a buscar regularidades nas massas de combinação das substâncias nas reações de neutralização. Assim, Richter preparou tabelas mostrando as quantidades de diferentes bases que neutralizam uma

quantidade específica de um ácido-padrão e as quantidades de diferentes ácidos que neutralizam uma quantidade específica de uma base-padrão. Nesse processo percebeu dois aspectos:

1. as quantidades necessárias para a neutralização mantinham uma relação de proporcionalidade (isto é, se dobrássemos a quantidade de base envolvida na reação de neutralização teríamos que dobrar também a quantidade de ácido).
2. quando se definia a quantidade de uma base a quantidade de determinado ácido que reagia era sempre a mesma, se a quantidade de ácido inserida fosse maior que a necessária havia sobra de ácido, se fosse menor haveria sobra de base.

Tais aspectos sinalizavam que as transformações químicas apresentam proporções definidas. Richter propõe então o termo “estequiometria” baseado nas palavras gregas *stoicheion* (elemento) e *metrein* (medida) para quantificar as proporções ponderais (em massa) com que se combinavam os elementos nas substâncias. Entretanto, resta outra questão importante: *apenas as reações de neutralização se apresentavam uma proporção constante ou isso poderia ser aplicado a todas as reações?*

Sobre este tema, destacamos dois personagens neste contexto com posicionamentos distintos. Um deles Joseph Louis Proust (1755 - 1826) e o outro Claude Louis Bertholet (1748-1822) que se dedicariam aos estudos das composições das substâncias. O primeiro defendia que os compostos apresentavam composição constante, de modo que os reagentes se combinariam em proporções definidas. Enquanto que o segundo defendia que os compostos poderiam apresentar composição diferente dependendo de sua forma de produção, sendo assim, os reagentes poderiam se combinar em quantidades variadas.

Proust desenvolve estudos com diferentes compostos e publica um artigo, onde mostrava que o óxido de mercúrio, quer fosse produzido em laboratório, quer viesse das minas do Peru tinha a mesma composição. De acordo com Proust, os compostos têm de fato uma identidade e componentes em proporções fixas ou definidas. A este respeito, ele escreveu que

(...) as propriedades dos compostos verdadeiros são invariantes, assim como a razão entre seus constituintes. (...) Não existem diferenças observáveis entre os óxidos de ferro do Sul e aqueles do Norte. O cinábrio do Japão é composto pela mesma proporção do que aquele de Almadén. A prata não é diferentemente oxidada ou

muriatizada pelo muriato do Peru e daquele da Sibéria. Em todas as partes do mundo não são encontrados dois muriatos de soda, dois muriatos de amônio, dois salitres, dois sulfatos de cálcio, de potássio, de soda, de barita, etc... diferindo um do outro...

Tais constatações formaram a base da chamada lei das composições constantes, enunciando basicamente que “as relações entre as massas segundo as quais dois os mais elementos se combinam são fixas e não suscetíveis de variação contínua”. A admissão desta lei esteve precedida por uma larga controvérsia entre Proust e Bertholet³⁴ o qual a negou sustentando que os compostos podiam ser formados em várias proporções. A composição fixa era accidental. Mas Proust realizou demonstrações com base em dados empíricos, que os compostos aos quais Bertholet se referia como tendo composição variável eram na realidade misturas. Assim, Proust foi o primeiro a distinguir claramente as misturas dos compostos, sendo separáveis os componentes das primeiras por meios físicos, enquanto os dos últimos só o eram por meios químicos.

Se a quantidade de reagentes não estiver na proporção correta apenas um será completamente consumido, uma quantidade do outro reagente sobrá.

Pouco mais tarde, John Dalton (1766-1844), preocupado em mostrar a validade de suas ideias sobre a natureza dos gases que formam a atmosfera, encaminhou suas pesquisas para o problema de determinar o peso relativo de diferentes gases em relação a outros.

A questão com a qual Dalton se confrontava era *como determinar o peso relativo dos átomos?* Para responder a esta pergunta se volta para a química quantitativa ou estequiométrica que já se encontrava consolidada e vinha sendo desenvolvida por vários pesquisadores na época. Ao combinar diferentes quantidades das mesmas substâncias (oxigênio e hidrogênio gasosos, por exemplo) ele percebe a formação de compostos diferentes (água e água oxigenada, por exemplo), porém a razão da proporção é sempre um número inteiro. O enunciado da lei das proporções múltiplas:

³⁴ É interessante notar que a oposição a lei das proporções constantes se constitui num obstáculo a sua aceitação, pois Bertholet havia aderido as idéias de Lavoisier e já havia publicado uma boa quantidade de trabalhos relacionados a análise e preparação de substâncias, além de desenvolver atividades relacionadas produção de pólvora durante a revolução francesa, participava da política como senador e era, por tudo isso, reconhecido pela comunidade científica da época.

“Se existir mais de um composto formado por dois elementos diferentes, os números dos átomos de cada elemento nos compostos guardam entre si uma razão de números inteiros.”

Dalton envolve o conceito de átomo na definição de sua lei ponderal e explica todas às outras com base em sua teoria atômica, mas a lei das proporções múltiplas só será completamente aceita pela comunidade científica quando a hipótese atômica se consolidar, quase um século depois de sua elaboração.

A partir da leitura dos textos são apresentados questionamentos.

Tópico 2: As proporções nas transformações químicas

AS PROPORÇÕES NAS TRANSFORMAÇÕES 1

Elabore um modelo que explique a visão de Proust e outro que explique a de Bertholet para a matéria. Justificando através desses modelos a diferença nos dois pontos de vista. Faça outros comentários que achar relevantes.

Tópico 3: As proporções nas transformações químicas

AS PROPORÇÕES NAS TRANSFORMAÇÕES 2

Explique através de um modelo o que significa proporcionalidade em uma reação química? Faça outros comentários que achar relevantes.

Texto 3

O NASCIMENTO DO MOL

Da não aceitação da teoria atômica e da necessidade de uma grandeza que tornasse mais práticos os cálculos envolvendo relações ponderais (entre massas) delineia-se a introdução do termo mol.

Wilhelm Ostwald (1853-1932) introduziu o termo mol em 1900 devido a seu ceticismo sobre a hipótese atômica, sendo ele um dos maiores partidários da teoria

equivalentista³⁵ (também conhecida como energitista) mantinha suas ideias de peso equivalente³⁶:

Na medida aqui indicada, a hipótese atômica se tem mostrado como um recurso muito eficaz para a aprendizagem e a investigação, já que facilita enormemente a concepção e a utilização das leis gerais da química. No entanto, não se deve deixar seduzir-se por essa correspondência entre imagem e realidade confundindo-as [...] Na medida em que até agora as relações nos processos químicos têm sido tratadas, parece que as substâncias estão compostas, no sentido exposto, de átomos. Disso resulta, no melhor dos casos, a possibilidade de que eles realmente existam, mas não é certeza; já que não se pode demonstrar que as leis de união química não podem inferir-se em sua totalidade a partir de uma suposição completamente diferente.

Ostwald introduz o termo mol como o peso normal (o que atualmente é a massa molar) expresso em gramas. Ele identificava a quantidade de matéria como uma quantidade em massa coerentemente com o paradigma equivalentista e empirista que defendia. Mas, o consenso da comunidade científica em aceitar a teoria atômica traria grandes transformações à estequiometria como, por exemplo, a explicação das leis ponderais, a modificação do conceito de mol e a produção de uma escala de massas atômicas relativas, que começou a ser produzida por Dalton em comparação com o hidrogênio com base nas regras de combinação postuladas por ele e nos dados experimentais obtidos, mas só viria a ser desenvolvida em 1864 com o químico inglês Newlands.

O problema das quantidades nas reações químicas não se solucionaria de forma definitiva até a introdução da grandeza quantidade de matéria, da qual o mol é a sua unidade. Essa solução encontrada é decorrente da consolidação da teoria atômico-molecular, que centra mais atenção na relação entre as quantidades de partículas que intervêm em uma reação do que nos pesos (massas) de combinação. No entanto, a extrema pequenez das partículas dificulta a possibilidade de contá-las diretamente. Dessa dificuldade nasce a necessidade de se introduzir a quantidade de matéria como uma nova grandeza que torna possível contar no nível macroscópico as entidades elementares a partir das massas de combinação das substâncias reagentes.

³⁵ As principais características da teoria equivalentista são a crença na continuidade da matéria e na energia como substância.

³⁶ A ideia de equivalente estava relacionada a continuidade da matéria, o equivalente seria uma quantidade das substâncias que reagiriam com uma quantidade de uma substância padrão. Cada substância diferente teria uma quantidade diferente que reagiria com uma mesma quantidade de uma substância padrão.

Assim, precisamos de métodos de quantificação dos átomos, apesar de suas características diminutas, isto é, precisamos transpor as barreiras entre o universo macroscópico e o universo atômico. O problema é resolvido com a introdução da grandeza quantidade de matéria. Portanto, a introdução desta nova grandeza obedece a razões de comodidade na hora de quantificar entidades elementares.

Dito de outra forma: a quantidade de matéria é uma grandeza que surge como necessidade física de comparar quantidades de partículas nas substâncias que participam de uma reação, evitando o incômodo de contá-las microscopicamente. O atributo principal desta grandeza é que ela permite contabilizar facilmente o número de entidades elementares em qualquer porção de substância, através de outras grandezas mais acessíveis, como a massa e o volume.

Com o surgimento desta grandeza surge uma nova definição para o mol. Que mais tarde seria definido pela IUPAC como “O mol é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12.”

Durante o período exposto foram vários os pesquisadores que investigavam as proporções ponderais de combinação dos elementos e o entendimento e utilização das leis citadas prosperou. Mas, com a formulação e divulgação dessas leis que são a base da estequiometria havia se alcançado um dos objetivos dos químicos nesta época: se adequar a forma de pensar da época e equiparar a química, enquanto ao rigor matemático, a física.

Tópico 4: A quantidade de matéria

A QUANTIDADE DE MATÉRIA

Explique através de um modelo porque a grandeza quantidade de matéria pode ser chamada de “ponte” entre o nível de descrição macroscópico e o nível de descrição submicroscópico? Faça outros comentários que achar relevantes.

AÇÃO 5 – Compreendendo as leis ponderais em seus três níveis³⁷

Objetivos:

- Usar atividades experimentais e modelos para analisar as relações ponderais a nível macroscópico e submicroscópico;
- Usar modelos para resolver problemas em estequiometria;
- Discutir o uso de modelos na ciência.
- Usar guias para o desenvolvimento de estratégias matemáticas e resolução de exercícios em estequiometria.
- Discutir a elaboração de modelos concretos no processo de aprendizagem.

Conteúdos

Conteúdos procedimentais

- Transição entre os três níveis de interpretação da matéria.
- Resolução de problemas a partir dos resultados da observação;
- Elaboração e discussão de representações concretas.

Conteúdos atitudinais

- Cooperação com os colegas para alcançar um objetivo;
- Reconhecimento dos modelos como construções limitadas e provisórias.

Conteúdos conceituais:

- Quantidade de matéria/mol;
- Lei de conservação das massas;
- Lei das composições constantes;
- Lei das proporções definidas;

Princípios teóricos:

A Química é a ciência que estuda a composição dos materiais, suas propriedades e transformações. O que envolve a compreensão da matéria sob o ponto

³⁷ Esta ação corresponde a fase 4 e 5 da dissertação (Realizar testes-Expressar modelos-Reformular modelos e Discutir a validade e limitações dos modelos)

de vista macroscópico (das propriedades e modificações perceptíveis através dos sentidos humanos) e submicroscópico (entidades elementares e seus comportamentos), este último é tratado através de modelos explicativos.

Ademais, esta ciência faz uso de símbolos, tais como, representações dos materiais e suas transformações. Essa simbologia faz parte de uma linguagem específica que é necessária para a comunicação na área e ao trabalho com os níveis de descrição macroscópico e microscópico.

Com relação ao ensino do conceito de estequiometria e suas inter-relações, documentos legais brasileiros como PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) e PCNmais sinalizam a necessidade de um tratamento inicial macroscópico sobre o fenômeno objeto de estudo, que se aproxima da leitura que o estudante faz do mundo. Levando em conta a necessidade de passagem ao nível submicroscópico ressalta-se nos PCNEM o uso da análise macroscópica como ponto de partida para a construção de representações:

(...) os fatos macroscópicos já estudados podem ser o ponto de partida para a construção de modelos microscópicos (...)

Um primeiro entendimento da transformação química e suas relações de massa baseia-se na compreensão em nível macroscópico. A seguir, o entendimento desses fatos deve ser feito dentro de visão microscópica, de rearranjo de átomos e relações entre quantidades de matéria. (BRASIL, 2000, p. 34 e 37)

Considerando o caráter multidimensional da química e a dificuldade dos estudantes em compreender o aspecto descontínuo da matéria. Isto é, para pensar na matéria nível submicroscópico, precisamos de uma estratégia que permita aos estudantes o trabalho com entidades abstratas. Neste sentido, Clemente (2000 apud FERREIRA e JUSTI, 2008, p. 33) aponta que “a atividade de elaborar modelos permite ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas por meio das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais flexíveis e abrangentes”.

Sobre o ensino com o uso de modelos Harrison e Treagust (2000 apud LIMA, 2007) defendem que a ciência e os modelos exploratórios são inseparáveis, já que estes são produtos e métodos da ciência. Estes autores sustentam que os modelos sejam apresentados como construções humanas com suas potencialidades e

limitações. O que pode levar os alunos a terem uma melhor compreensão sobre a estrutura do conhecimento científico, considerando que os modelos explicativos são partes integrantes da ciência.

Desse modo, a proposta dessa ação é o trabalho com modelos, quer dizer, a construção, discussão, reformulação, aplicação a novos contextos e reconhecimento das abrangências e limitações.

Tempo da atividade – 30 minutos

Local – Sala de aula

Atividade 1

Exibir o vídeo de uma atividade experimental que apresenta a reação de precipitação do iodeto de chumbo a partir do nitrato de chumbo e do iodeto de potássio. O objetivo da apresentação do vídeo é o estabelecimento de um contato inicial com a transformação química a nível macroscópico, de modo que se comece a pensar na reação a nível micro.

Após assistir ao vídeo o aluno deve resolver a atividade A que exige a interpretação macroscópica da reação, a manipulação simbólica, a elaboração de modelos e a realização de cálculos químicos. Esse problema deve ser respondido de forma individual, para que sirva também como apontador das habilidades dos alunos em desenvolver os procedimentos solicitados e para que no momento da resolução pelo professor exista riqueza de ideias.

Antes da resolução é importante que se explique aos alunos o objetivo do modelo que ele vai produzir, que é a representação da reação química a nível submicroscópico de uma forma que exprima as relações estequiométricas existentes.

Tarefa A

No vídeo apresentado vimos que 10 mL de uma solução contendo 3 mol/L de nitrato de chumbo II, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, é adicionado a 10 mL de uma solução contendo 2 mol/L de iodeto de potássio, KI.

1) Determine:

(a) a equação química balanceada para a reação que ocorre;

(b) as observações a olho nu que lhe permitem saber que ocorreu uma reação química;

- (c) um modelo adequado que representem como essa reação acontece a nível submicroscópico;
- (c) o reagente limitante;
- (d) o número de mols em excesso do reagente em excesso;
- (e) o número máximo de mols de Iodeto de Chumbo II que pode ser obtido;

2) Descreva passo a passo o procedimento utilizado para resolver cada uma das opções.

3) Diga em que teorias se baseou seu raciocínio prático.

4) Se você não conseguiu resolver ou terminar de resolver alguma(s) da(s) opção(ões) comente o motivo.

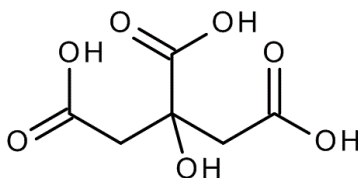
Tempo da atividade – 60 minutos

Local – Laboratório

Atividade 2

Em sequência oferece-se aos alunos o problema abaixo que envolve a elaboração de um modelo:

Problema



FÓRMULA CONDENSADA DO ÁCIDO CÍTRICO.

O processo de efervescência de um comprimido de vitamina C é desencadeado pela reação do ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) com o bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) que promove a liberação de dióxido de carbono em forma gasosa. Como podemos determinar o teor de bicarbonato de sódio em um comprimido de vitamina C.

Os estudantes devem realizá-lo individualmente, e devem ter disponíveis uma variedade de materiais para fazer os modelos, desde clipes, a massinha, palitos, lápis de cor, etc. Logo após devem reunir-se em grupos discutir os modelos produzidos e as soluções encontradas, bem como sua relação com os modelos elaborados, até chegarem a um consenso.

Eles podem chegar a diferentes respostas, baseadas num mesmo modelo ou em outros, para determinar o teor de Bicarbonato no comprimido de vitamina C. Deve-se orientar a discussão para a viabilidade dos métodos e guiar-se à realização de atividades similares a Tarefa B que apresenta um roteiro de experimento para resolução deste problema.

Após a realização da atividade experimental, que deve se dar através do procedimento elaborado pelos estudantes, no caso de não conseguirem resolver o problema ou de não conseguirem sistematizar a resolução sozinhos deve se apresentar a eles o roteiro para a atividade experimental. Neste caso deve-se discutir sua validade em torno do modelo e do objetivo.

Ao fim deve-se pedir que eles, construam um novo modelo. Dessa vez o modelo deve ser feito, exclusivamente com massinha de modelar, para que se obtenham modelos mais homogêneos entre os grupos e se perceba se conseguem transitar entre uma forma de representação e outra. Trabalhar com diferentes formas de representação nesse contexto pode levar a comparação das limitações das diferentes formas de representação e auxilia na construção dos significados. Depois eles devem ser solicitados a calculem o teor de Bicarbonato da Vitamina C explicando como o cálculo se relaciona com o modelo produzido. Para que os estudantes resolvam o problema é necessário o conhecimento de estratégias matemáticas que estão listadas no anexo (Passo-a-passo resolvendo questões) que será fornecido aos alunos nesse momento e eles deverão trazer durante todas as aulas, pois será o material que eles usarão como base para o desenvolvimento das estratégias matemáticas.

Ao fim da atividade o professor resolve o problema no quadro, mas não apresenta um modelo, discutem-se os resultados obtidos, seu sucesso e a relação com o modelo produzido. Passa-se a *resolução de um novo problema* com o uso de um modelo similar ao modelo obtido (teste do modelo) o professor mais uma vez resolve o problema e compara com os resultados dos estudantes e discute-se mais uma vez os modelos obtidos.

Tarefa B – Aplicando a lei de conservação das massas

OBJETIVO

Calcular o teor de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) em um comprimido efervescente a partir da massa de dióxido de carbono (CO_2) produzido na efervescência.

MATERIAL

- um comprimido efervescente que contenha bicarbonato de sódio (NaHCO_3) envolto em papel filme;
- um copinho de café descartável;
- balança semi-analítica;
- água.

ETAPAS

- Colocar água no copinho até aproximadamente um pouco mais da metade da sua capacidade;
- Pesar o conjunto copinho com água e comprimido (ainda dentro do envelope) e anote essa massa na tabela, na cédula que corresponde à massa inicial (m_i);
- Transferir o comprimido para o copinho de água e certificando-se de que não restou nem mesmo uma pequena parte no envelope; em seguida, cobrir rapidamente o copinho com o próprio envelope (isso evita perda de material por espirramento).
- Aguardar o final da efervescência e pese novamente o conjunto, incluindo o envelope vazio, e anotar essa massa. Esta será posteriormente chamada de massa final (m_f).

m_i	m_f	m_{NaHCO_3}

- **Descreva suas observações textualmente, desenhe uma representação microscópica para o fenômeno observado e escreva a reação balanceada.**
- Calcule a massa de bicarbonato de sódio presente no comprimido e comente por que o seu cálculo é coerente com o modelo produzido.

Recomendações

- Antes da realização da atividade experimental seria interessante comentar com os estudantes a ação dos comprimidos efervescentes e lançar o questionamento sobre como seria possível confirmar a massa de bicarbonato de sódio presente na amostra, o que pode instigar a curiosidade dos estudantes a cerca do experimento e destacar uma das utilidades práticas dos cálculos estequiométricos no trabalho do químico.
- Após a realização dos cálculos é possível expor aos alunos outra possibilidade similar para resolver o problema lançado no início da aula (como determinar a massa de NaHCO_3 existente no comprimido), que não necessitaria de uma balança, por meio da medição do volume de CO_2 formado nas CNTP. Pode-se até mesmo mostrar os cálculos necessários nessa operação calculando-se o volume de gás que seria formado nessas condições com a massa obtida.

Tempo da atividade – 60 minutos

Local – Laboratório

Atividade 3

Realiza-se uma nova atividade experimental (apresentada à frente como tarefa C), agora com uma nova variável, um reagente limitante, onde se solicita que os alunos registrem os aspectos macroscópicos, elaborem um modelo que explique a observação empírica e discutam sobre a validade do(s) mesmo(s), o professor mais uma vez orienta a discussão no sentido de se chegar a um consenso e discute o conceito de reagente limitante.

Tarefa C - Estabelecendo a relação ideal entre as quantidades de carbonato de sódio e cloreto de cálcio para a formação de carbonato de cálcio

OBJETIVO

Quantificar a proporção entre os reagentes envolvidos na formação do precipitado considerado.

MATERIAL

- 5 Tubos de ensaio numerados; estante para tubos de ensaio; solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) 0,5 mol/L; solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) 0,5 mol/L; 2 Provetas de 10mL

ETAPAS

- Adicionar aos cinco tubos de ensaio o volume de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) 0,5 mol/L indicado para cada tubo no quadro abaixo. Registre o aspecto do sistema.
- Adicionar aos cinco tubos de ensaio o volume de solução a 0,5 mol/L de cloreto de cálcio (CaCl_2) indicado para cada tubo no quadro abaixo. Registre o aspecto do sistema.

Tubos	Volume de solução de carbonato de sódio (mL)	Volume de solução de cloreto de cálcio (mL)
1	10	2
2	8	4
3	6	6
4	4	8
5	2	10

- Deixar em repouso por no mínimo 5 minutos, até que o precipitado (ppt) se deposite no fundo e mais uma vez registre o aspecto do sistema.
- *Desenhe uma representação microscópica para o fenômeno observado que explique as observações registradas*
- *Escreva a equação balanceada para o fenômeno.*
- Medir a altura do precipitado nos cinco tubos, usando uma régua, anotar os resultados na tabela abaixo:

Tubo	Altura do precipitado (cm)	Relação cloreto/carbonato
1		
2		
3		
4		
5		

- Utilizando os resultados obtidos para o experimento registrado no quadro, preencha a coluna relação carbonato/cloreto, dividindo os volumes de cada tubo pelo menor valor. Por exemplo, no tubo 1, dividindo-se 10 mL e 2 mL, por 2 mL, encontra-se a relação carbonato/cloreto é 5/1.

Responda os itens a seguir:

- a) Faça um gráfico, em papel milimetrado ou quadriculado, da altura do precipitado obtido em centímetros (eixo das ordenadas) em função da relação carbonato/cloreto (eixo das abscissas).
- b) Baseando-se nos dados do quadro em seu caderno e do gráfico construído, que relação carbonato/cloreto possibilitou a formação da maior quantidade de precipitado branco?
- c) *Relacione a equação elaborada ao modelo desenhado e aos aspectos visualizados.*

Tempo da atividade – 1h:20 minutos

Local – Laboratório

Atividade 5

Propõe-se o seguinte problema:

Existem três erlenmeyers cada um com a mesma quantidade de ácido clorídrico que tem a mesma concentração. Em cada um deles será colocada uma quantidade diferente de alumínio: no primeiro 5g, no segundo 10g e no terceiro 20g. O que acontecerá nos três recipientes? Por quê?

Ao resolver esse problema não se espera que o estudante desenvolva cálculos, mas que ele desenvolva a habilidade de prever como se sucederá uma reação por meio da elaboração de uma representação mental do que acontecerá a nível macro. Para avaliar a compreensão do princípio envolvido no experimento anterior, da existência de proporções definidas em uma transformação química.

Solicita-se ao estudante que elabore individualmente um modelo de como ocorrerá à transformação a nível submicroscópico destacando a diferença de configuração entre os três sistemas. Em seguida passa-se ao desenvolvimento da atividade D que consiste na realização do experimento descrito para o problema que mais uma vez aborda o conceito de reagente limitante. Contudo, *inclui uma nova variável*, a formação de produtos na fase gasosa, por meio do qual se pode avaliar o desenvolvimento na compreensão das leis ponderais. Ao realizar o experimento o estudante testará os modelos elaborados e elaborará novos modelos em grupos, que serão discutidos com toda a turma de modo a se obter um modelo consensual.

Tarefa D - Estabelecendo a relação estequiométrica em uma reação com produto em estado gasoso.

OBJETIVO

Verificar as relações quantitativas entre reagentes em diferentes estados na formação de um produto gasoso.

MATERIAL

- 3 erlenmeyers numerados;
- 3 balões de festa;
- Solução de ácido clorídrico (HCl) 0,2 mol/L;
- 35g de alumínio;
- 3 vidros de relógio;
- 1 proveta/ seringa de 10mL.

ETAPAS

- Utilizando a proveta adicionar aos três erlenmeyers 5mL da solução de ácido clorídrico (HCl) 0,2 mol/L. Pesar 5g, 10g e 20g de alumínio.
- Colocar cada massa de alumínio em uma bexiga diferente. Introduzir no erlenmeyer de menor numeração a boca do balão com menor massa de sólido, tomando cuidado para não derramar o conteúdo do balão no recipiente. Repita a operação para os outros balões/erlenmeyers, de modo que, a massa de sólido aumente com a numeração do erlenmeyer. Deve-se obter o seguinte resultado conforme imagem a seguir:



- Despeje o conteúdo de cada balão sobre o líquido, da seguinte forma:



- Espere alguns minutos e registre suas observações;
- Volte aos modelos elaborados por você e registre em seu caderno em que medida ele poderia ser utilizado para explicar suas observações.

Responda os itens a seguir:

- Elabore uma representação que explique a nível microscópico as diferenças observadas entre os três recipientes.*
- Escreva a equação balanceada para o fenômeno.
- Como poderia se estabelecer a proporção ideal entre reagentes para essa transformação? Estabeleça essa relação.
- Relacione a equação elaborada ao modelo desenhado e aos aspectos visualizados.

Tempo da atividade – 1h:20 minutos

Local – Laboratório

Atividade 6 –

Propõe-se o seguinte exercício:

Na oxidação de 10g de palha de aço qual será a massa de óxido de ferro obtida?

O exercício deve ser resolvido em pouco tempo. Mais uma vez será solicitado aos estudantes que elaborem uma representação para a transformação a nível microscópico. Em sequência aplica-se a atividade E. Ao realizar o experimento o estudante testará os modelos elaborados e elaborará novos modelos em grupos, que serão discutidos com toda a turma de modo a se obter um modelo consensual.

ATIVIDADE E – Rendimento de uma reação química.

OBJETIVO

Prever o rendimento da reação e o grau de pureza do reagente por meio da quantidade de produto formada.

MATERIAL

- Recipiente de vidro; 10g de palha de aço; palito de fósforo; balança.

ETAPAS

- Medir na balança a massa da palha de aço e do recipiente, anotando a massa na tabela abaixo.

m_i (massa inicial)	m_f (massa final)	m_{Fe}

- Acender o palito de fósforo e aproximar a chama da palha de aço até que ela começa a queimar e descartar o palito. Esperar até que a chama se apague, medir a massa do sistema (recipiente/produto) anotar como m_f . Compare o resultado com o resultado de seu cálculo discuta com seus colegas os motivos da diferença nos resultados.

Responda:

a) *Elabore um modelo que permita explicar a não formação da quantidade esperada de produto.*

Após a discussão localizada, cada grupo deve apresentar suas hipóteses e modelos elaborados, de modo a se chegar a um consenso. Caso o professor observe que o modelo consensuado seja coerente com o conceito de rendimento passa-se ao cálculo da massa de ferro presente na amostra de palha de aço, do rendimento da reação e do grau de pureza da palha. Caso contrário deve ser fornecida uma nova situação experimental em que se possa aplicar o modelo e aprimorá-lo ou modificá-lo até que se alcance o esperado.

Desenvolvidas todas as atividades e elaborados diversos modelos, deve-se comparar os diferentes modelos produzidos para as reações, as necessidades de mudanças e as limitações dos modelos produzidos para explicar outros aspectos das reações químicas além da conservação da matéria.

REFERÊNCIAS

- BALLÉN, A. B. *Identificación y superación de errores conceptuales en la enseñanza y aprendizaje del concepto estructurante estequiometría*. Bogotá: ACODESI. 2009
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2000.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.
- COLL, R. K. The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*. v. 27, n. 2, p. 183-198, Fev. 2005.
- FATARELI, E. F. et al. Método cooperativo de aprendizagem *Jigsaw* no ensino de cinética química. *Química Nova na Escola*. v 32, n 3, p. 161-168, 2010.
- FURIÓ, C. et al. Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud «olvidada» en la enseñanza de la química: la cantidad de sustancia. *Enseñanza de las Ciencias*, v.11, n.2, p. 107-114, 1993.
- FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*, v17, n 3, p. 359-376. 1999
- GALAGOVSKY, L; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*. v 19, n 2, p. 231-242, 2001.
- GAMBOA, J.; CORSO, H.; GENNARI, F. Se busca una magnitud para la unidad mol. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. v 3, n 2, p. 229-236, 2006.
- GARCÍA, J.P. et al. Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias*, v 8, n 2, p. 111-119. 1990.
- GILBERT, J. K. Models and Modeling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 2, p. 115-130. 2004.
- HINTON, M.; NAKHLEH, M. Students' Microscopic, Macroscopic, and Symbolic Representations of Chemical Reactions. *Chemical Educator*, v. 4, n.5, p. 158-167, 1999.
- LANDAU, L.; LASTRES, L. Cambios químicos y conservación de la masa... ¿Está todo claro? *Enseñanza de las ciencias*. v. 14, n. 2, p.171-174. 1996.
- MOREIRA, M. A. *Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de Ciências: comportamentalismo, construtivismo e humanismo*. Porto Alegre: 2009. 64p.
- LIMA, A. A. *O uso de modelos no ensino de química: uma investigação acerca dos saberes construídos durante a formação inicial de professores de química da UFRN*. 2007. Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. Rio Grande do Norte.

POZO, J. I.; GOMÉZ CRESPO, M. A. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: Artmed, 2009.

ROCHA-FILHO, R. C. Sobre o mol e seus afins: uma proposta alternativa. *Química Nova*. v. 11, n. 4, p. 419-429, 1988.

ROSA, M. I. F. P. S.; SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito de transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*. n.8, nov, 1998.

SANTOS, W. L. P. et al. *Química & Sociedade*. São Paulo: Nova geração, 2005. 256 p.

TORRE, A. O. y SÁNCHEZ JIMÉNEZ, J.M. La masa no se crea ni se destruye. ¿Estáis seguros? *Enseñanza de las Ciencias*, v 10, n 2, p. 165-171. 1992.

VERONEZ, K. N. S.; PIAZZA, M. C. R. Estudo sobre dificuldades de alunos do ensino médio com estequiometria. Atas do VI ENPEC, 2007.

PASSO-A-PASSO RESOLVENDO QUESTÕES

Resolução de questões com proporções estequiométricas simples	
Estrutura Conceitual	Estrutura Operacional
Em uma transformação química os elementos que fazem parte dos reagentes devem aparecer na mesma quantidade nos produtos e a soma da massa dos reagentes deve ser igual a soma das massas dos produtos.	- Escrever a equação química balanceada; - Colocar abaixo de cada fórmula molecular a massa molar da substância (em g/mol); - Converta as grandezas (massa, ou volume nas CNTP, ou quantidade de matéria, ou quantidade de partículas) fornecidas no enunciado da questão em quantidade química (mol); Onde n - Quantidade de Matéria da substância $n = \frac{m}{MM}$ MM-Massa Molar da Substância m -Massa da Substância Em uma solução $n = \mathcal{M} \times V$
As reações químicas acontecem em proporções fixas.	Onde n - Quantidade de Matéria do soluto $\mathcal{M}$ - Concentração em quantidade de matéria V - Volume - A partir de qualquer uma das substâncias da reação é possível saber a proporção estequiométrica de todas as outras substâncias envolvidas na reação. - Para uma reação genérica: $aA + bB \rightarrow cC + dD$ $\frac{a}{n_A} = \frac{b}{n_B} = \frac{c}{n_C} = \frac{d}{n_D}$ Onde a = Número de mols de A da reação balanceada n_A = Número de mols de A da reação na questão b = Número de mols de B da reação balanceada n_B = Número de mols de B da reação na questão

	c = Número de mols de C da reação balanceada n_c = Número de mols de C da reação na questão d = Número de mols de D da reação balanceada n_D = Número de mols de D da reação na questão - Se for necessário calcular a quantidade de C que será produzida através da reação estequiométrica de certa quantidade de A, por exemplo, é só utilizar a razão: $\frac{a}{n_A} = \frac{c}{n_C}, \text{ onde organizando: } n_C = \frac{n_A \times c}{a}.$ - Por último converte-se novamente a quantidade de matéria obtida na resposta para a grandeza solicitada na questão.
--	--

Resolução de questões com reagente limitante 1 (só para reações com dois reagentes)

Estrutura Conceitual	Estrutura Operacional
A massa e os elementos se conservam em uma reação química. As transformações químicas ocorrem em proporções constantes. O reagente limitante é aquele que é totalmente consumido na reação química (se apresenta na quantidade necessária para uma reação proporcionalmente estequiométrica). A partir do reagente limitante se calcula o rendimento da reação.	- Escrever a equação química balanceada; - Colocar abaixo de cada fórmula molecular a massa molar da substância (em g/mol); - Converta as grandezas (massa, ou volume nas CNTP, ou quantidade de matéria, ou quantidade de partículas) fornecidas no enunciado da questão em quantidade química (mol); - Para uma reação genérica: $aA + bB \rightarrow cC + dD$ - Use a seguinte fórmula para calcular a razão molar ideal: $\frac{a}{b} = RMI$ - Use a seguinte fórmula para calcular a razão molar real: $\frac{n_A}{n_B} = RMR$ - Depois compare o valor de RMI e RMR: · Se $RMR > RMI$, o reagente B é o reagente limitante; · Se $RMR < RMI$, o reagente A é o reagente limitante; · Se $RMR = RMI$, a proporção da reação é estequiométrica não há reagente em excesso; - Agora se utiliza o reagente limitante como base para fazer os cálculos estequiométricos (Resolução de questões com proporções estequiométricas simples).

Resolução de questões com reagente limitante 2

Estrutura Conceitual	Estrutura Operacional
A massa e os elementos se conservam em uma reação química. As transformações químicas ocorrem em proporções constantes. O reagente em excesso é aquele que não será	- Escrever a equação química balanceada; - Colocar abaixo de cada fórmula molecular a massa molar da substância (em g/mol); - Converta as massas fornecidas no enunciado da questão em quantidade química (mol) – utilizando as massas molares; - Escolha um dos reagentes. Faça o cálculo da quantidade necessária do segundo reagente para reagir completamente com o escolhido de acordo com a lei das proporções fixas (Resolução de questões com proporções estequiométricas simples); • Se a quantidade real do segundo reagente é maior que a quantidade

totalmente consumido na reação química (se apresenta em quantidade maior que a necessária para uma reação proporcionalmente estequiométrica).	obtida na etapa anterior, então o segundo reagente está em excesso. • Se a quantidade real do segundo reagente é menor que a quantidade obtida na etapa anterior, então o primeiro reagente está em excesso. • Se a quantidade real do segundo reagente é igual a quantidade obtida na etapa anterior, então não há reagente limitante, as quantidades fornecidas reagirão entre si completamente de acordo com a lei das proporções constantes. - Agora se utiliza o reagente limitante como base para fazer os cálculos estequiométricos (Resolução de questões com proporções estequiométricas simples).
Resolução de questões com reagente limitante 3	
Estrutura Conceitual	Estrutura Operacional
A massa e os elementos se conservam em uma reação química. As transformações químicas ocorrem em proporções constantes. O reagente limitante é aquele que determina o fim da reação. A reação acaba quando ele acaba.	- Escrever a equação química balanceada; - Colocar abaixo de cada fórmula molecular a massa molar da substância (em g/mol); - Converta as grandezas (massa, ou volume nas CNTP, ou quantidade de matéria, ou quantidade de partículas) fornecidas no enunciado da questão em quantidade química (mol); - Selecione um dos produtos. Para cada um dos reagentes calcule quantos mols do produto serão formados (Resolução de questões com proporções estequiométricas simples). O reagente que produzir menos mols é o reagente limitante. - Agora se utiliza o reagente limitante como base para fazer os cálculos estequiométricos (Resolução de questões com proporções estequiométricas simples).
Resolução de questões com rendimento	
Estrutura Conceitual	Estrutura Operacional
A massa e os elementos se conservam em uma reação química. As transformações químicas ocorrem em proporções constantes. A reação entre dois reagentes pode ocorrer por vários mecanismos e gerar diferentes produtos, além do produto desejado. Os reagentes podem estar contaminados por impurezas, de modo que nem toda massa medida será do reagente.	- Escrever a equação química balanceada; - Colocar abaixo de cada fórmula molecular a massa molar da substância (em g/mol); - Converta as grandezas (massa, ou volume nas CNTP, ou quantidade de matéria, ou quantidade de partículas) fornecidas no enunciado da questão em quantidade química (mol); ► Quando se dá a quantidade formada de um dos produtos e se solicita o rendimento da reação: - Calcule a quantidade de produto que deveria ser produzida de acordo com a relação estequiométrica a partir da quantidade de reagente fornecida (Resolução de questões com proporções estequiométricas simples). - Utilize a fórmula a seguir para calcular o rendimento: $\text{rendimento} = \frac{\text{quantidade de produto obtida}}{\text{quantidade de produto ideal}}$ - Se for solicitado o rendimento percentual: $\text{rendimento\%} = \frac{\text{quantidade de produto obtida}}{\text{quantidade de produto ideal}} \times 100$ ► Quando se dá a porcentagem de transformação de um dos reagentes e se solicita a quantidade formada de um dos produtos: - Calcule a quantidade de produto que deveria ser produzida de acordo com a

relação estequiométrica a partir da quantidade de reagente fornecida
(Resolução de questões com proporções estequiométricas simples).
- Utilize a fórmula a seguir para calcular a quantidade de produto que será formada:

$$\text{quantidade de produto obtida} = \frac{\text{quantidade de produto ideal}}{100} \times \text{rendimento\%}$$