

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



Programa de Pós-Graduação
em Química



A energia e suas implicações no ensino-aprendizagem da química

Carlos Neco da Silva Júnior

Tese de Doutorado
Natal/RN, julho de 2010

CARLOS NECO DA SILVA JÚNIOR

**A ENERGIA E SUAS IMPLICAÇÕES NO ENSINO-APRENDIZAGEM DA
QUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de doutor em química.

Orientadora: Dra. Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein

Co-orientadora: Dra. Márcia Gorette Lima da Silva

Natal/RN
2010

Divisão de Serviços Técnicos
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Silva Júnior, Carlos Neco.

A energia e suas implicações no ensino-aprendizagem da química / Carlos Neco da Silva Júnior. – Natal, RN, 2010.

188 f. : il.

Orientadora: Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein.

Co-orientadora: Márcia Gorette Lima da Silva.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Química.

1. Química – Educação (Superior) – Tese. 2. Energia – Tese. 3. Livros didáticos – Tese. 4. Ensino de Ciências – Tese. I. Hussein, Fabiana Roberta Gonçalves e Silva. II. Silva, Márcia Gorette Lima da. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 378.016:54(043.2)

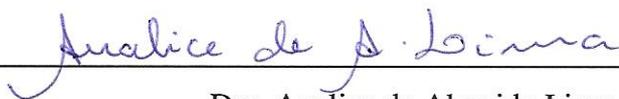
CARLOS NECO DA SILVA JUNIOR

**A ENERGIA E SUAS IMPLICAÇÕES NO ENSINO-APRENDIZAGEM DA
QUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Química.

Aprovada em: 08 de julho de 2010.

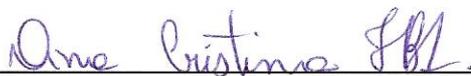
Comissão Examinadora:



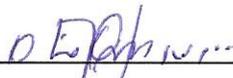
Dra. Analice de Almeida Lima – UFRPE



Dr. José Carlos de Freitas Paula – UFCG



Dra. Ana Cristina Facundo de Brito – UFRN



Dr. Ótom Anselmo de Oliveira – UFRN



Dra. Márcia Gorette Lima da Silva (co-orientadora) – UFRN



Dra. Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein (orientadora) – UFRN

“A coisa mais bela que o homem pode experimentar é o mistério. É esta a emoção fundamental que está na raiz de toda ciência e arte. O homem que desconhece esse encanto, incapaz de sentir admiração e estupefação, já está, por assim dizer, morto, e tem os olhos extintos.”

Albert Einstein

Dedico este trabalho:

Ao meu pai, Carlos Neco da Silva, que nunca mediu esforços para nos dar uma vida melhor.

À minha mãe, Rita Paulino dos Santos Silva, por ser constante intercessora a Deus pela minha vida.

À vovó Anita (in memoriam), que no leito de seu adormecer eterno perguntou-me quando me tornaria Doutor.

Aos meus irmãos, Anita Kalline e Jhonatas dos Santos, pelo amor, carinho e compreensão em todos os momentos importantes da minha vida.

A Elisvar Macêdo, meu segundo pai, pela presença incondicional em todos os momentos da vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

À Deus a maior fonte inspiradora de vida! Guiou todos os meus passos, sem abandonar-me em nenhum instante. “O senhor é meu pastor nada me faltará”.

À minha santa Mãezinha do céu, Maria, por ser minha guardiã e interceder a Deus todos os meus pedidos.

Às minhas orientadoras, professora Dra. Márcia Gorette e professora Dra. Fabiana Hussein, por acreditar que eu gostaria de ser pesquisador da área de educação química, pela amizade, carinho, sugestões, orientação, paciência e apoio incondicional na conclusão deste trabalho. Indiscutivelmente duas pessoas humanas.

Aos alunos(as) que contribuíram com esta pesquisa.

Aos amigos Wendell Nobre e Leonardo Mendes pelo constante incentivo na busca de meus objetivos e pela presença incondicional em todos os momentos da minha vida.

À minha linda e querida amiga Andreza Regis por fazer parte da minha vida desde os doze anos, que com muito amor e carinho sempre compreendeu todos os momentos de ausência.

Às minhas tias Cissa (Maria Medeiros), Helena, Ivone, Mariza, Maria Paulino, e Francisca (in memoriam) grandes intercessoras a Deus por mim.

Aos primos que sempre se alegram com minhas vitórias: Jéssica, Jessi, Adener, Adylis, Deusa, Armandinho, Herbert e a inseparável prima, Leninha (Girleene dos Santos), que tanto amo.

À minha cunhada Herlânia pelo carinho.

Ao Cleber por ensinar o dom da paciência.

Aos grandes amigos: Cláudio Henrique, Eliziano, Magno Márcio, Thiago Cesar, Marciano, Albino e Melquesedeque.

À amiga Patrícia Pimentel pelas valiosas discussões sobre a área de Química Geral e o constante incentivo na conclusão deste trabalho.

Aos amigos conquistados no programa de pós-graduação em ensino de ciências da natureza e matemática.

À professora Dra. Josivânia Dantas (UFRN – Departamento de Educação) pelos constantes momentos de incentivo na realização deste trabalho.

A secretaria de educação a distância (SEDIS) da UFRN nas pessoas das professoras Dra. Ana Cristina Facundo de Brito e Dra. Joana Dar'c Gomes Fernandes pela oportunidade de desenvolver trabalhos na área de físico-química com alunos da licenciatura em química nessa modalidade.

À amiga Débora Lira pelos bons momentos vivenciados durante a graduação e constantes incentivos.

À Ulisandra Ribeiro, Izangela, Hyrla Cunha, Lauro Melo, e Alyne Farias, pelos bons momentos vividos na graduação em química na UFRN.

À professora Dra. Dulce Maria por ter me concedido a oportunidade de iniciar a vida acadêmica na graduação e nos dois anos de mestrado.

Aos professores que contribuíram para a minha formação em química: Márcia Barroso, Goreti Cavalcante, Marta Costa, Magna Coelli, Zelma Rocha, Marconi Ginani, Zacheu Luis, Luis Seixas, Eli Celso (Departamento de Educação) e Helio Scatena.

Às funcionárias do departamento de química, Josélia, Jussara e Sônia (secretaria) pela atenção e serviços prestados.

À Gisele e Daniel secretários da pós-graduação em química e da pós graduação em ensino de ciências da natureza e matemática, respectivamente.

Aos colegas de trabalho da UFERSA.

Ao programa REUNI pela concessão da bolsa de estudos durante o período que não me encontrava empregado.

A todos aqueles que contribuíram com idéias que não foram nominalmente citados, meu sincero agradecimento.

RESUMO

A área de Educação em Química no Brasil surgiu há pouco mais de 30 anos e tem seu crescimento acelerado pela necessidade de compreensão dos processos de ensino-aprendizagem na química. Muitas pesquisas, nessa área, têm entre seus objetos de investigação as ferramentas de ensino tais como materiais didáticos e os processos de aprendizagem de estudantes do nível médio e fundamental de ensino, mas ao tratar do nível superior de ensino, estes ainda são pouco retratados. Este trabalho teve como objetivos investigar os livros de Química Geral com relação a abordagem do conceito de energia; conhecer as principais concepções dos estudantes de graduação em Química sobre a relação do conceito de energia e as transformações químicas; por fim, a elaboração de um ciclo de estudos com a proposição de uma abordagem que inter-relacione o conceito de energia e suas implicações no processo de ensino-aprendizagem de uma transformação química. Para tanto, utilizou-se como instrumentos o questionário, entrevista coletiva, mapa conceitual e atividades experimentais. Todas as atividades do ciclo de estudo foram filmadas e gravadas, posteriormente, transcritas e os resultados organizados em tabelas. Para as atividades do ciclo de estudos foram elaborados textos que inter-relacionam os conceitos químicos e a energia, que por sua vez, deram suporte teórico as atividades no ciclo. Na análise utilizou-se como referencial teórico a análise de conteúdo de Laurence Bardin. Os resultados revelaram que na análise do livro pôde-se perceber que nem sempre o conceito de energia é utilizado no intuito de gerar o pensamento abstrato das transformações químicas, mas que as principais variáveis macroscópicas termodinâmicas se encontram presentes na explicação dessas transformações. Durante o ciclo de estudo foram estudadas duas reações químicas, uma que possibilitasse abordar a dimensão macroscópica de quantificação do conceito de energia e outra que demonstrasse a dimensão macro e microscópica do conceito de energia em meio a uma transformação química. Em todas as reações propostas os alunos utilizaram, na maioria das vezes, como explicações, apenas observações macroscópicas das reações em estudo e não conseguiram perceber que o conceito de energia pode ser utilizado para explicar microscopicamente uma transformação química. Como ação final do ciclo de estudos, os alunos solicitaram uma discussão mais profunda, que esclarecesse a ligação entre o conceito de energia e os significados construídos no processo de estudo das reações. Isso é feito por meio de

uma explicação oral, durante o ciclo, e registrado nesta tese, procurando mostrar a inter-relação conceitual existente.

Palavras-chave: Energia; Inter-relação de conceitos; Química Geral; Livros texto.

ABSTRACT

The area of Education in Chemistry in Brazil has appeared over 30 years and its growth has been accelerated by the need of comprehension of the processes of teaching and learning in chemistry. Many researches, in this area, has among its investigation objects the teaching tools like teaching materials and the learning processes of students in high school and basic education, but when dealing with higher levels of education, they are seldom portrayed. This study aimed to investigate the General Chemistry textbooks with respect to approach the concept of energy; know the main ideas of graduate students in Chemistry on the relation of the concept of energy and chemical transformations; finally, developing a cycle of studies with the proposition of an approach wich inter-relate the concept of energy and its implications in the teaching-learning process of a chemical transformation. To do so, we used as instruments a questionnaire, press conference, conceptual map and experimental activities. All activities of the study cycle were videotaped and recorded, transcribed and the results organized in tables. For the activities of the study cycle texts that have been developed and inter-relating concepts of chemistry and energy, which in turn gave theoretical support to the activities in the cycle. In the analysis it was used as a theoretical content the analysis of Laurence Bardin. The results revealed that the analysis of the book might be perceived that not always the concept of energy is used in order to generate the abstract thought of chemical transformations, but that the main macroscopic thermodynamic variables are present in the explanation of these transformations. During the study cycle, were studied two chemical reactions: the first one, made possible to approach the macroscopic dimension to quantify the concept of energy and the second one, made possible to demonstrate the macro and microscopic dimension of the concept of energy during a chemical transformation. In all reactions proposed, students used, in most of the times, as explanations, only macroscopic observations of the reactions under study and failed to realize that the concept of energy can be used to explain macro and microscopic chemical transformation. As a final action of the study cycle, students requested further discussion, to clarify the link between the concept of energy and the meanings constructed in the process of studying the reactions. This is done through an oral explanation, during the cycle, and registered in this thesis and attempts to show the interrelationship existing conceptual.

Keywords: Energy, Inter-relation of concepts; General Chemistry; Textbooks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diminuição Líquida da Energia.....	56
Figura 2 - Distribuição das velocidades moleculares.	62
Figura 3 - Foto da reação química do alumínio com o ácido clorídrico (6 mol/L) (a) início da reação (b) fim da reação.	70
Figura 4 - Ilustração do experimento de difusão.	81
Figura 5 - Respostas a questão 4 do questionário.....	131
Figura 7 - Primeiro mapa do Aluno X - Grupo 1,2,3,....	164
Figura 6 - Primeiro mapa do Aluno X - Grupo Transformação.	164
Figura 8 - Primeiro mapa da Aluna Z - Grupo Precipitadas.....	165
Figura 9 - Primeiro mapa do Aluno Y - Grupo Almofariz.....	165
Figura 10 - Segundo mapa do Aluno X - Grupo 1,2,3,....	167
Figura 11 - Segundo mapa do Aluno X - Grupo Transformação.	168
Figura 12 - Segundo mapa do Aluno Y - Grupo Almofariz.....	169
Figura 13 - Segundo mapa da Aluna Z - Grupo Precipitadas.....	170

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese do planejamento do Ciclo de Estudos.....	33
Quadro 2 - Caracterização dos alunos participantes da primeira etapa da pesquisa. ...	126
Quadro 3 - Respostas dos Alunos recém egressos no curso de química da UFRN sobre as formas de energia.	128
Quadro 4 - Conteúdos relacionados ao conceito de energia.....	130
Quadro 5 - Caracterização dos participantes do sétimo período da licenciatura em química no ciclo de estudos.....	135
Quadro 6 - Comparação dos modelos negociados.	139
Quadro 7 - Respostas dos alunos quando tentam descrever e explicar a reação do alumínio com HCl.	140
Quadro 8 - Respostas dos alunos quando tentam descrever e explicar a reação do alumínio com NaOH.....	144
Quadro 9 - Comparação entre os modelos consensuais.	150
Quadro 10 - Recorte das falas dos participantes durante a entrevista coletiva. Grupo 1,2,3,...	151
Quadro 11 - Recorte das falas dos participantes durante a entrevista coletiva - Grupo almofariz.....	152
Quadro 12 - Recorte da falas dos participantes durante a entrevista coletiva - Grupo Prótons.....	153
Quadro 13 - Recorte da fala dos participantes durante a entrevista coletiva - Grupo A&A	154
Quadro 14 - Prova pedagógica sobre difusão de gases.	155
Quadro 15 - Modelos explicativos na resposta de diferentes alunos na prova pedagógica.	157
Quadro 16 - Utilização de conceitos de energia ou da termodinâmica química na prova pedagógica.....	158
Quadro 17 - Tentativas de explicar a reação de difusão na prova pedagógica.....	158
Quadro 18 - Relações conceituais conflituosas na utilização do termo energia.....	159
Quadro 19 - Componentes do grupo A&A na tentativa de explicar a velocidade de difusão dos gases.	160
Quadro 20 - Descrição microscópica na resposta do aluno Y, grupo prótons.....	161

Quadro 21 - Montagem parcial de textos propostos nos mapas da segunda situação. 171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos livros textos de ensino superior analisados.....	26
Tabela 2 - Roteiro de análise do livro de Química Geral	27
Tabela 3 - Exemplos de erros sobre a matéria sob o ponto de vista macroscópico.....	29
Tabela 4 - Exemplos de erros sobre a matéria sob o ponto de vista microscópico.	30
Tabela 5 - Exemplos de erros sobre a relação entre os níveis micro e macro.	30
Tabela 6 - Exemplos de erros sobre a linguagem química.	31
Tabela 7 - Exemplos de erros sobre as equações químicas.	31
Tabela 8 - Exemplos de erros sobre as reações químicas, pilhas e células eletrolíticas. 32	
Tabela 9 - Valores de entalpia padrão de formação a 298,15 K.....	72
Tabela 10 - Valores de entropia absoluta a 298,15 K.....	73
Tabela 11 - Valores de entalpia padrão de formação.	85
Tabela 12 - Valores de entropia a 298,15.....	86
Tabela 13- Relação de aspectos energéticos no conteúdo de estrutura atômica da matéria.	96
Tabela 14 - Relação de aspectos energéticos no conteúdo de tabela periódica.....	100
Tabela 15 - Relação dos aspectos energéticos no conteúdo de ligações químicas.....	102
Tabela 16 - Relação dos aspectos energéticos no conteúdo de forças intermoleculares.	110
Tabela 17 - Relações energéticas no conteúdo de Soluções e Propriedades Coligativas.	115
Tabela 18 - Relação de aspectos energéticos e o conteúdo de gases.....	120
Tabela 19 - Relação de aspectos energéticos no conteúdo de Cinética Química.	122
Tabela 20 - Relação de aspectos energéticos no conteúdo de equilíbrio químico.	124
Tabela 21 - Percentual dos conteúdos químicos pelos alunos.....	130
Tabela 22 - Descrição da reação entre alumínio e ácido clorídrico aquoso.	137
Tabela 23 - Descrição da reação entre alumínio e hidróxido de sódio aquoso.	138
Tabela 24 - Principais aspectos abordados para a reação entre alumínio e HCl.	140
Tabela 25 - Principais aspectos abordados para a reação entre alumínio e NaOH.	143
Tabela 26 - Descrição das respostas dos grupos participantes do ciclo de estudos.....	147
Tabela 27 - Aspectos abordados nas respostas da prova pedagógica.....	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Transformação	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Diurno.
1,2,3,...	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Diurno.
Almofariz	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Diurno.
Precipitadas	Grupo de alunas do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Diurno.
Eletrosfera	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Noturno.
Sem Nome	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Noturno.
AN?	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Noturno.
A&A	Grupo de alunas do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Noturno.
Prótons	Grupo de alunos do sétimo período da licenciatura em química da UFRN – Turno Noturno.
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	19
2 A METODOLOGIA DA PESQUISA	24
2.1 OS LIVROS DO ENSINO SUPERIOR E O TERMO ENERGIA – 1º OBJETIVO	25
2.2 AS CONCEPÇÕES DE ALUNOS DE GRADUAÇÃO SOBRE O CONCEITO DE ENERGIA.....	27
2.3 O CICLO DE ESTUDOS EM QUÍMICA FUNDAMENTAL: AS ATIVIDADES	33
3 ESTUDO DAS FORMAS DE ENERGIA E A RELAÇÃO COM CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA QUÍMICA GERAL	38
3.1 FORMAS DE ENERGIA E A RELAÇÃO MICROSCÓPICA COM AS SUBSTÂNCIAS E MATERIAIS.....	40
3.1.1 Formas de energia	41
3.1.2 Princípio da conservação da energia ou 1ª lei da termodinâmica.....	43
3.1.3 Entropia ou 2ª lei da termodinâmica	49
3.1.4 Espontaneidade de um sistema químico e a energia livre de Gibbs	50
3.2 REVENDO O TERMO ENERGIA EM ALGUNS CONCEITOS DA QUÍMICA GERAL.....	51
3.2.1 O uso do termo energia no conteúdo de estrutura atômica da matéria	51
3.2.2 O uso do termo energia no conteúdo de tabela periódica	54
3.2.3 O uso do termo energia no conteúdo de ligação química.....	54
3.2.4 O termo energia no conteúdo de forças intermoleculares	57
3.2.5 O termo energia no conteúdo de soluções	59
3.2.6 O termo energia no conteúdo de gases.....	61
3.2.7 O termo energia no conteúdo de cinética química.....	62
3.2.8 O termo energia no conteúdo de equilíbrio químico	63
4 A ENERGIA SENDO APLICADA NO ESTUDO DE REAÇÕES QUÍMICAS	65

4.1 ARTIGO 1 - UTILIZANDO CONCEITOS TERMODINÂMICOS NA EXPLICAÇÃO DE UMA REAÇÃO QUÍMICA	65
4.2 ARTIGO 2 - USO DO CONCEITO DE ENERGIA NA EXPLICAÇÃO DE UMA REAÇÃO DE DIFUSÃO DE GASES.	79
5 RESULTADOS DA ANÁLISE	90
5.1 CONCEITOS QUÍMICOS FUNDAMENTAIS A PARTIR DOS LIVROS DE QUÍMICA GERAL	90
5.1.1 Categoria 1: Prefácio dos livros	90
5.1.2 Categoria 2: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de estrutura atômica da matéria	95
5.1.3 Categoria 3: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo da tabela periódica	99
5.1.4 Categoria 4: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo das ligações químicas.....	101
5.1.5 Categoria 5: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares.....	108
5.1.6 Categoria 6: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de soluções	114
5.1.7 Categoria 7: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de gases....	119
5.1.8 Categoria 8: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de cinética química	121
5.1.9 Categoria 9: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de equilíbrio químico	124
5.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS DOS ALUNOS DE QUÍMICA SOBRE O CONCEITO DE ENERGIA	125
6 PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE ENERGIA NO CICLO DE ESTUDOS.....	133
6.1 O CICLO DE ESTUDOS: AS ATIVIDADES	133
6.1.1 Modelos explicativos sobre a reação com alumínio.....	136
6.1.2 Esclarecendo os modelos explicativos: a entrevista.....	151

6.2 A VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM: A PROVA PEDAGÓGICA E OS MAPAS CONCEITUAIS.....	155
6.3 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS.....	161
7 CONCLUSÕES.....	172
REFERÊNCIAS	175
Apêndice 1.....	183
Apêndice 2.....	185
Apêndice 3.....	186
Apêndice 4.....	187
Apêndice 5.....	188

1 APRESENTAÇÃO

As pesquisas em educação química vêm revelando dificuldades de aprendizagem de conceitos químicos tanto na educação básica como no ensino superior, este último com um número menor de investigações na área. A experiência como professor substituto no departamento de Química da UFRN, em disciplinas como Termodinâmica Química, Química Fundamental II e Instrumentação para o Ensino de Química, despertou-nos interesse pelo processo de aprendizado de conceitos químicos básicos – consolidado após o ingresso no doutorado, ao procurar delimitar o objeto de estudo no Programa de Pós-Graduação em Química da UFRN, na recém criada linha de pesquisa em ensino de química. Dentre os conceitos abordados, especificamente na disciplina de Química Fundamental II, estava o de energia, o qual gerava para os alunos dificuldades de entendimento e associação com outros conceitos básicos do conteúdo químico.

Nesse percurso de docência, surge ainda a oportunidade de participar da elaboração de material didático para a disciplina Termodinâmica Química junto à Secretaria de Educação à Distância (SEDIS) da UFRN e, durante esse processo, aprofundar os conceitos químicos, procurando mediar a relação entre a linguagem química, o material didático e os alunos, se tornou outro desafio. Após isso, ingressando como professor assistente na Universidade Federal do Tocantins, no ano de 2009, e, em janeiro de 2010 até o presente momento, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em ambas as instituições lecionando disciplinas relacionadas a conceitos básicos da química, tornou-se cada vez mais evidente que, embora mudassem os alunos – e mesmo as instituições – as dificuldades não eram distintas das encontradas anteriormente, o que fortalece o desejo de contribuir para uma modificação desse cenário.

Adentrar uma nova área tendo formação em Química Inorgânica teve muitos contratempos, pois significava ter de dominar uma nova linguagem e uma nova metodologia de pesquisa, distinta da utilizada nos laboratórios de química; desvelar leituras distintas das habituais, relacionadas à psicologia, epistemologia e didática das ciências, entre outros temas; e sempre estabelecendo relações com conceitos químicos. Nesse intento, grande surpresa foi perceber, ao analisar o trabalho de Echeverria, 1993, que as pesquisas que tratam da aquisição de conceitos químicos são carregadas de deduções e explicações próprios desta Ciência. Na maioria das vezes, a escolha por um

tema de pesquisa de doutorado filiado à área da educação química perpassa por inquietações advindas da prática docente. No caso específico dessa pesquisa, mais do que motivar, a própria prática docente foi o catalisador da discussão de que a aprendizagem do conhecimento químico das disciplinas antes ensinadas não deveria acontecer em “pedaços” isolados.

Paralelamente ao ingresso no doutorado, ocorria no departamento de Química da UFRN uma re-estruturação curricular dos cursos de Química, com o objetivo de adequar a formação dos graduandos, para que estes possam atender à demanda de um mercado cada vez mais exigente na busca por profissionais com uma fundamentação sólida, e visão ampla de sua área. O que veio apenas reforçar a percepção de que os conceitos não podem ser abordados de forma estanque e sim integrados com outros conceitos, uma vez que tal fragmentação contribui para criar dificuldades de aprendizagem de alguns conceitos químicos fundamentais e, por natureza, entrelaçados a outros. Entre estes conceitos está o de energia, o qual está envolvido em vários outros conceitos básicos da química geral.

Assim, após um período de discussões em 2010, foram implantadas as novas estruturas curriculares para os cursos de Licenciatura em Química, Bacharelado em Química e Bacharelado em Química do Petróleo na UFRN. Esse processo ocorreu com discussões e planejamento das áreas buscando-se integração entre os conteúdos, evitando repetições destes e, procurando respeitar os conteúdos necessários ao entendimento daqueles que seriam posteriores. A perspectiva de um ensino integrado vem também ao encontro do que espera o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) o qual em suas últimas avaliações tem abordado conteúdos disciplinares do curso de química de forma integrada, na tentativa de avaliar, principalmente, se os alunos concluintes desse curso conseguem articular conceitos químicos, pois a formação do químico deve contemplar a aprendizagem de conceitos básicos, naturalmente inter-relacionados, embora, nas universidades, muitas vezes as estruturas curriculares apresentem tais conteúdos organizados em disciplinas fragmentadas, o que pode dificultar muito a aprendizagem dos conceitos químicos.

O apoio em outros trabalhos na área de educação química revelava dificuldades de aprendizagens em alunos do nível superior como, por exemplo, de conteúdos conceituais como termodinâmica e equilíbrio (SILVA et. al., 2007; ARÉVALO, ORTEGA, DOMÍNGUEZ, 2005; BELLO GARCÉS, GARCÍA CRUZ, 2005) e erros

conceituais em livros utilizados nesse nível de ensino sobre os conceitos de calor, trabalho e o ciclo de Carnot (ALOMÁ, MALAVER, 2007) e estrutura atômica da matéria (MALAVER, PUJOL, D’ALESSANDRO MARTÍNEZ, 2007).

Particularmente neste trabalho se objetiva tratar do conceito de energia. Tal escolha deu-se por ser considerado relevante na compreensão e interpretação de transformações químicas. Idéia essa já explicitada em outros trabalhos da área de educação química (LOPES, 2007), porém em nosso levantamento bibliográfico, o enfoque dado nesta tese não foi identificado. É importante ressaltar que a falta de compreensão desse conceito nas etapas de transformação da natureza, cujos impactos foram para este trabalho sobre o nível superior de ensino, na verdade pode gerar dificuldades de aprendizagem em qualquer outro nível.

É a partir destas colocações que neste trabalho defende-se a tese de que a abordagem do conceito de energia a partir de situações ou fenômenos químicos favorece a aprendizagem pelos alunos de conceitos químicos de forma integrada. Essa perspectiva de ensino se opõe à aprendizagem mecânica – ou automática – do conhecimento, uma vez que na aprendizagem mecânica qualquer informação existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende não tem relação com novas informações. Portanto, os objetivos específicos desta tese são assim estruturados:

- I) Identificar nos livros de Química Geral do ensino superior a relação de conceitos Químicos com os aspectos energéticos;
- II) Caracterizar as concepções dos alunos do ensino superior sobre o uso do conceito de energia em meio a processos de transformação química;
- III) Organizar um ciclo de estudos inter-relacionando conteúdos que permeiam o conceito de energia e avaliar o processo de aprendizagem dos alunos.

Com base nestes objetivos, a tese foi estruturada nos capítulos que seguem da seguinte forma:

O capítulo dois mostra a metodologia utilizada neste trabalho, a fim de situar os elementos que consideramos importantes para validar esta tese. Portanto, nele serão apresentados os requisitos necessários para a análise dos livros didáticos de química

geral escolhidos na análise deste trabalho, os instrumentos utilizados para caracterizar as concepções dos alunos investigados nesta pesquisa e o formato do ciclo de estudos realizado com alunos do sétimo período da licenciatura em Química da UFRN.

No capítulo três, intitulado Aspectos energéticos e a relação dos conceitos básicos da química geral, apresentamos as principais formas de energia no nível macroscópico e microscópico e sua relação com conceitos básicos discutidos no curso de química geral. Sendo o referencial para a produção deste capítulo livros de química geral e outros materiais bibliográficos de divulgação científica. O intuito da abordagem desse texto foi sinalizar para estudantes de disciplinas da área de química geral que o conceito de energia é importante e se encontra na explicação de diversos conceitos químicos do conteúdo em estudo nessa área.

No quarto capítulo apresentamos a explicação de duas reações químicas, no nível macroscópico e microscópico, que podem ser utilizadas em aulas experimentais de química geral para ilustrar a inter-relação do conceito de energia em meio a outros conceitos químicos. Os textos deste capítulo foram escritos em formato menos comprometido com a linguagem acadêmica constante no restante desta tese, de forma a facilitar sua reprodução e utilização integral, com fins didáticos, por profissionais dispostos a experimentar esse tipo de aula.

No capítulo cinco apresentamos os resultados desta tese fazendo uma análise dos livros didáticos utilizados em disciplinas de química geral, onde discutimos que elementos são considerados como importantes para o conhecimento químico no prefácio desses livros e a relação desse conceito com outros conceitos químicos. Ainda para complementar nosso estudo identificamos por meio de um instrumento presente no Apêndice 1, quais as principais concepções de licenciandos em química, recém-egressos na UFRN, sobre as formas de energia.

No sexto capítulo discutimos e apresentamos as atividades do ciclo de estudos, mostrando as principais concepções dos alunos do sétimo período do curso de química quando tentam descrever e explicar uma transformação química, Apêndice de 2 a 4. Para coleta de dados desta etapa, realizamos atividade experimental, instrumento com perguntas para ser respondido individualmente e em grupo, entrevista coletiva e prova pedagógica.

Por fim, apresentamos, no sétimo e último capítulo, nossas conclusões sobre esta pesquisa, mostrando as fragilidades e percepções sobre o uso do conceito de energia, encontradas, em meio ao processo de ensino-aprendizagem da química no nível superior de ensino.

2 A METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo apresentaremos a metodologia adotada para esta pesquisa a fim de responder aos objetivos da tese. Assim, para atender ao 1º objetivo (Identificar se os livros de Química Geral do ensino superior abordam o termo energia de forma integrada) será apresentado a relevância desta ferramenta no processo de ensino e aprendizagem, como foi realizada a análise de livros de Química Geral adotados no ensino superior, o instrumento utilizado e a forma de organização dos resultados.

A seguir, apresentaremos o instrumento utilizado para o 2º objetivo (caracterizar as concepções dos alunos do ensino superior sobre o termo energia), a influência destas no processo de aprendizagem de conceitos químicos, assim como as principais dificuldades apresentadas na bibliografia sobre o objeto de estudo desta tese. O 3º objetivo (organizar um ciclo de estudos inter-relacionando conteúdos que permeiam o termo energia e avaliar a aprendizagem) inclui a estrutura e o desenvolvimento das atividades realizadas com alunos do curso de Química da UFRN.

Para todos os objetivos específicos adotados utilizamos como técnica de análise de dados alguns elementos da análise de conteúdo (BARDIN, 2004).

As recomendações de Bardin (2004) e Rizzini (1999) para a análise de conteúdo constituem “uma técnica de investigação que têm por objetivo ir além da compreensão imediata e espontânea, ou seja, ela teria como função básica a observação mais atenta dos significados de um texto” (RIZZINI, 1999, p.91).

A escolha pela análise de conteúdo foi pelo fato desta oferecer a possibilidade de investigar um objeto ou um problema de pesquisa, tendo como fonte primordial de dados, os conteúdos da comunicação com fins a definição do conteúdo das mensagens. Conforme Bardin (2004), a análise de conteúdo é:

[...] um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2004, p. 42).

Nesta pesquisa utilizamos diferentes instrumentos de investigação, a saber: o questionário, as entrevistas coletivas, a observação, o mapa conceitual e a prova pedagógica. Para cada instrumento utilizou-se uma estratégia de organização dos dados.

Para o questionário foram elaboradas tabelas a partir dos itens desejáveis da pesquisa (concepções alternativas). As entrevistas e observação das atividades no ciclo de estudo foram registradas em filmagens e gravações, o que possibilitou a transcrição integral de seu conteúdo. Após a transcrição das discussões, foram realizadas sucessivas leituras das falas com o objetivo de identificar os temas dominantes a partir do exame dos dados e de sua contextualização.

Vale ressaltar que os temas não foram elaborados a priori, eles representaram os diversos assuntos discutidos por cada aluno de graduação em relação ao objeto de investigação da tese. Após ler e reler os textos, procedimento este chamado por Bardin (2004) leitura flutuante, é que voltamos ao objetivo central da pesquisa possibilitando a discussão sobre a abordagem do termo energia nos livros textos; as concepções alternativas (se estes são semelhantes ou não com o que é apresentado nos livros); a aprendizagem e os erros cometidos pelos alunos de graduação, antes, durante e após o ciclo de estudos.

2.1 Os livros do ensino superior e o termo energia – 1º objetivo

Para atender ao objetivo de identificar como o livro texto do ensino superior relaciona o conceito da termodinâmica ou da energia utilizamos como instrumento um roteiro de análise dos livros. Geralmente os livros textos utilizados pelos alunos de graduação e por professores para a disciplina de Química Fundamental I e II (do currículo do curso de química da UFRN) são os de Química Geral.

Assim, levantamos os livros disponíveis na Biblioteca Central Zila Mamede (BCZM). Tal relação se encontra na Tabela 1:

Tabela 1 - Relação dos livros textos de ensino superior analisados

Código	Título	Autor(es)	Volume/ Edição/ano	Editora
L1	Química – A matéria e suas transformações	James E. Brady; Joel W. Russel e John R. Holum	V 1/ 3° Ed./2002	LTC
L2	Química – A matéria e suas transformações	James E. Brady; Joel W. Russel e John R. Holum	V 2/ 3° Ed./2002	LTC
L3	Química Geral	John B. Russel	V1 / 2° Ed./2006	Pearson
L4	Química Geral	John B. Russel	V 2/ 2° Ed./2006	Pearson
L5	Química Geral 1 e Reações Químicas	J.ohn C. Kotz e Paul M. Treichel, Jr.	V1/ 5° Ed./2005	Thomson
L6	Química Geral 2 e Reações Químicas	John C. Kotz e P.M. Treichel, Jr.	V. 2/ 5° Ed./2005	Thomson
L7	Química um curso universitário	Bruce Mahan e R. J. Myers	V. único/4° Ed./2000	Edgard Blücher
L8	Princípio de Química - Questionando a vida moderna e o meio ambiente	Peter Atkins e Loretta Jones	V. único /2°Edição/ 2001	Bookman

Optamos por fazer a análise do livro porque este constitui um dos meios – sejam estes impressos ou eletrônicos – que, tanto professores como estudantes utilizam como fonte de informações sobre os conceitos abordados.

Assim, entendemos que era necessário conhecer como os livros abordam o conceito de energia, se esta abordagem é integrada com outros conceitos ou não. Esta opção de recorte procura defender a tese desta investigação, ao entender a relevância de discutir os conceitos integralmente e não de forma compartimentada. Quer dizer, partir de fenômenos químicos ou situações em que não podem ser analisados sem considerar todos os fatores envolvidos, por exemplo, ligações químicas, forças intermoleculares etc.

Wuo (2000) afirma que os livros texto auxiliam a organização dos conteúdos a serem ensinados. Nesta perspectiva, a maioria dos docentes reconhece o livro como ferramenta importante no desenvolvimento do seu trabalho além de auxiliar o aluno de graduação a aprofundar e rever conceitos estudados.

Para a análise dos livros foi elaborado um roteiro (Tabela 2) baseado em pontos considerados relevantes para nossa pesquisa:

Tabela 2 - Roteiro de análise do livro de Química Geral

Categoria	Pontos abordados
Prefácio	identificar o uso do termo energia como integrador no processo de ensino-aprendizagem da química
Conceitos químicos selecionados previamente	identificar a abordagem do termo energia para explicar microscopicamente os conceitos apresentados nestes capítulos.

A opção pela análise do prefácio ocorreu em virtude do mesmo poder apresentar elementos que justifiquem a inter-relação entre os diferentes capítulos. Além disso, em geral, é nesta seção do livro texto que os autores expressam para que o livro é dirigido, como os capítulos são abordados, que experimentos podem ser pensados, enfim, há certa discussão metodológica e didática da organização do material.

Já a segunda categoria – os conceitos químicos selecionados –, foi proposto um recorte por entender que o interesse desta tese é a discutir a importância da relação entre diferentes conceitos. Estes por sua vez, devem ter como característica uma interação explícita com o termo energia de forma que esta relação possibilite para o aluno de química uma visão microscópica dos fenômenos químicos e, ao mesmo tempo em que o termo energia propicia o entendimento de aspectos microscópicos da matéria.

Para a análise dos resultados a partir do roteiro, utilizou-se alguns elementos da análise de conteúdo proposto por Bardin (2004). Após a leitura de cada livro foram separados os pontos mais significativos e organizados em tabelas de acordo com o nome do autor, o número da página e as categorias de análise.

2.2 As concepções de alunos de graduação sobre o conceito de energia

A década de 80 foi considerada por alguns autores como a época das concepções alternativas (POZO, 1993). A discussão em torno das concepções alternativas tem-se

constituído numa linha de pesquisa importante tanto em Educação Química como no ensino de outras ciências (física, biologia, geociências, astronomia entre outras).

Entretanto ao comparar as pesquisas sobre concepções alternativas no conhecimento químico com outras áreas observa-se que ainda é incipiente. Apenas 10% dos trabalhos na química vão nesta direção enquanto que existem 70% em Física e 20% da Biologia (Garritz; Trinidad-Velasco, 2003).

Silva e Núñez (2007, p.4) relatam que os conteúdos de Química mais estudados em termos de concepções alternativas são “reações químicas; as partículas como átomos e moléculas; o equilíbrio químico; os modelos e representações de reações químicas; os ácidos e as bases; a combustão; a eletroquímica; o conceito de mol”.

Diferentes denominações foram utilizadas para os conhecimentos que os estudantes têm sobre os objetos de estudos nas transformações da matéria. Inicialmente as concepções alternativas foram chamadas de pré-concepções, erros conceituais, concepções errôneas, atribuindo-lhes uma conotação negativa (Giordan e De Vecchi, 1996). Outras denominações encontradas são as idéias prévias como uma denominação geral, teorias espontâneas, ciências dos estudantes, concepções espontâneas.

As concepções alternativas¹ podem ser entendidas como modelos explicativos dos indivíduos com relação a fenômenos ou situações dadas. O argumento para estas investigações baseava-se na construção de teorias sobre como as idéias dos estudantes influenciavam o ensino-aprendizagem das Ciências (POZO; GÓMEZ-CRESPO, 1998).

Silva e Núñez (2007) na perspectiva de compreender o processo de aprendizagem, as concepções alternativas ocorrem quando,

o sujeito constrói um pensamento para interpretar e explicar eventos naturais cotidianos; são construções elaboradas para dar resposta às necessidades pessoais de interpretar fenômenos naturais. Tais ideias resultam da interação com o outro nos cenários socioculturais (SILVA e NÚÑEZ, 2007, p. 2).

Outros autores procuram distinguir as concepções alternativas dos erros conceituais (CARRASCOSA, 2005). Assim, baseado na metáfora do iceberg, a pesquisa em ensino de química vem sinalizando que as concepções alternativas estão relacionadas com as dificuldades de aprendizagem expressas em erros conceituais (SILVA; NÚÑEZ, 2007). Carrascosa (2005) ainda afirma que há uma estreita relação

¹ Reconhecemos que existem debates sobre o sentido de cada um destes termos, mas nesta pesquisa assumiremos como sendo de mesmo significado.

entre estas duas categorias, afirmando que “as concepções alternativas são idéias que levam aos erros conceituais”. Na mesma direção, este autor assinala que as principais causas das concepções alternativas são a influência de experiências cotidianas; a linguagem seja cotidiana ou acadêmica; as estratégias de ensino pouco adequadas; as concepções alternativas dos professores e os erros conceituais em livros textos.

Sobre as dificuldades de aprendizagem na educação básica, Jimenez Aleixandre (2007), afirma que estas se agrupam na matéria sob o ponto de vista macroscópico e microscópico; na linguagem química sejam fórmulas, equações químicas, modelos etc.; nas características das reações químicas, tais como, calor de reação, equilíbrio químico e velocidade das reações químicas; nos tipos de reações químicas (ácido-base e redox) e os processos eletroquímicos. Cabe ressaltar que a opção em apresentar estas concepções se baseia no fato de que os alunos de graduação que cursam a disciplina de Química Fundamental (ou Geral) o fazem no primeiro semestre letivo, assim, são egressos da educação básica que podem possuir estas concepções alternativas. Por outro lado, o estudo destas concepções no ensino superior ainda são poucas.

Nas Tabelas a seguir apresentaremos uma síntese apresentada por Silva e Núñez (2008) sobre as concepções alternativas e dificuldades de aprendizagem para diversos conceitos químicos. Assim, sobre a compreensão da matéria sob o ponto de vista macroscópico e microscópico as principais dificuldades são apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3 - Exemplos de erros sobre a matéria sob o ponto de vista macroscópico.

Conceitos químicos	Dificuldades de aprendizagem
Substâncias e misturas	diferenciar ‘mistura’ de ‘composto’
	diferenciar ‘elemento’ de ‘substância pura’
Estados e mudança de fase	reconhecer que os gases possuem massa
	compreender o que ocorre quando um líquido ferve
Reação química	não distinguir transformação química de física
	não compreender a conservação da matéria

Fonte: (ALEIXANDRE JIMÉNEZ, 2007, p. 212 apud SILVA e NÚÑEZ, 2007).

Com relação às dificuldades de aprendizagem sobre a matéria sob o ponto de vista microscópico a Tabela 4 faz algumas considerações:

Tabela 4 - Exemplos de erros sobre a matéria sob o ponto de vista microscópico.

Conceitos químicos	Dificuldades de aprendizagem
Teoria corpuscular da matéria	apresentar a concepção de que a matéria é contínua
	entender a partícula como uma parte pequena da substância
	possuir modelos atômicos alternativos diferentes dos científicos
	atribuir a todos os compostos uma estrutura molecular
	atribuir a todos os elementos uma estrutura atômica
	possuir concepções alternativas sobre estrutura dos eletrólitos
Ligação química: covalente, iônica, metálica e forças intermoleculares	entender que os átomos se unem para completar os 8 elétrons da camada de valência
	Não distinguir ligação iônica de covalente
	não entender a polaridade das ligações: as cargas parciais dos átomos são cargas iônicas.
Partículas nas mudanças de fase	Não distinguir entre transformação química e física
	entender que ligações entre átomos das moléculas se rompem

Fonte: (ALEIXANDRE JIMÉNEZ, 2007, p. 212 apud SILVA e NUÑEZ, 2007).

Já as concepções alternativas da relação microscópica e macroscópica são expressas na Tabela 5:

Tabela 5 - Exemplos de erros sobre a relação entre os níveis micro e macro.

Conceitos químicos	Dificuldades de aprendizagem
Quantidade de substância	apresentar dificuldades para compreender e utilizar o conceito quantidade de substância
	confundir quantidade de substância com massa molar
Estrutura dos gases, sólidos e líquidos	entender que átomos ou moléculas de um sólido não se movem
	dificuldade em aceitar a existência de espaço vazio entre as partículas
	apresentar a visão molecular de uma estrutura gigante iônica ou covalente
	confundir forças intermoleculares e as ligações intramoleculares em um sólido.

Fonte: (ALEIXANDRE JIMÉNEZ, 2007, p. 213 apud SILVA e NUÑEZ, 2007).

A Tabela 6 apresenta exemplos de dificuldades de aprendizagem relacionadas à linguagem química.

Tabela 6 - Exemplos de erros sobre a linguagem química.

Conceitos químicos	Dificuldades e/ou concepções
Fórmulas químicas	Confundir os índices das fórmulas moleculares dos elementos com a estrutura molecular.
	Confundir os índices das fórmulas com as valências
Balanceamento e interpretação da reação química	entender que os átomos se unem para completar os 8 elétrons da camada de valência
	Modificar o índice das fórmulas com o objetivo de igualar as equações químicas
	não compreender os coeficientes estequiométricos como uma relação numérica entre as moléculas das espécies reagentes.

Fonte: (ALEIXANDRE JIMÉNEZ, 2007, p. 214 apud SILVA e NÚÑEZ, 2007).

Na Tabela 7 apresentam-se exemplos de erros relacionados às equações químicas:

Tabela 7 - Exemplos de erros sobre as equações químicas.

Conceitos químicos	Dificuldades e/ou concepções alternativas
Interpretação molecular de uma reação química	Falta de compreensão da conservação dos elementos nas reações químicas.
Calor de reação	Entalpia de uma reação: falta de compreensão da entalpia de uma reação em função da energia absorvida e desprendida na ruptura e na formação das ligações.
Equilíbrio químico	O equilíbrio químico não é um processo dinâmico
	Confusão entre quantidade de substância e concentração na expressão da constante
	O princípio de Le Chatelier é aplicado a equilíbrios heterogêneos, sem considerar as fases dos reagentes e produtos
Velocidade da reação	Um catalisador pode afetar as velocidades de reação nos sentidos direto e inverso e modificar o estado de equilíbrio.
	A reação no sentido inverso não começa até que tenha finalizado a reação no sentido direto.
	Os mecanismos de reação não implicam na ruptura das ligações

Fonte: (ALEIXANDRE JIMÉNEZ, 2007, p. 214 apud SILVA e NÚÑEZ, 2007).

Na Tabela 8 são apresentados exemplos sobre erros relativos ao entendimento dos tipos de reações químicas, pilhas e células eletrolíticas.

Tabela 8 - Exemplos de erros sobre as reações químicas, pilhas e células eletrolíticas.

Conceitos	Dificuldades e/ou concepções alternativas
Ácidos e Bases	Confusão entre os modelos de Arrhenius e de Brønsted-Lowry.
	As bases não contêm hidrogênio
	O ácido conjugado de uma base fraca é um ácido forte e vice-versa.
	Quando os ácidos e as bases reagem sempre forma uma dissolução neutra.
Oxidação-Redução	O estado de oxidação de um elemento sempre é igual à carga do íon monoatômico desse elemento.
	Os processos de oxidação e redução podem ocorrer independentemente.
Pilhas	O ânodo está carregado positivamente porque perde elétrons; o catodo é negativo porque ganha elétrons.
	Em uma pilha a ponte salina proporciona elétrons para completar o circuito
Células eletrolíticas	A polaridade dos terminais não tem efeito no ânodo e no cátodo. Na superfície dos eletrodos inertes não ocorre nenhuma reação.
	Não há relação entre a f.e.m de uma pilha e a magnitude da voltagem necessária para produzir eletrólise.

Fonte: (ALEIXANDRE JIMÉNEZ, 2007, p. 215 apud SILVA e NÚÑEZ, 2007).

Entre os instrumentos de pesquisa para identificar as concepções alternativas podem ser utilizados a entrevista, o questionário e os desenhos. Nesta perspectiva optamos por utilizar o questionário (Apêndice 01) para identificar as concepções alternativas dos alunos de graduação, recém egressos no curso de química, sobre as formas de energia e suas implicações na quantificação de um fenômeno químico. Este instrumento possui algumas vantagens como, por exemplo, permite descrever as características de um determinado indivíduo ou grupo social e ainda medir algumas variáveis. Este não possui um número definido de perguntas e podem ser classificados como perguntas abertas, perguntas fechadas e perguntas abertas e fechadas (RICHARDSON, 1999).

De acordo com este autor, os questionários de perguntas fechadas apresentam como característica afirmações ou perguntas com respostas pré-definidas, ficando a cargo do participante escolher uma das alternativas. Os questionários de perguntas abertas permitem que os participantes tenham mais liberdade em suas respostas. Já os questionários de perguntas abertas e fechadas combinam características citadas do instrumento nas duas modalidades, aberto e fechado.

Entre as limitações destacam-se o fato de não garantir que todas as perguntas sejam respondidas o que pode interferir no que o autor chama de representatividade dos

resultados. Outra limitação é a de que não se pode ter sempre certeza das respostas serem verdadeiras. Com relação às vantagens, segundo o mesmo autor, são: a de permitir atingir muitas pessoas ao mesmo tempo, pois os participantes da pesquisa poderão refletir sobre as perguntas antes de responder, e o questionário que não exige a identificação do participante pode proporcionar maior liberdade de opiniões.

Mesmo considerando as limitações optou-se pelo questionário por ser mais fácil e rápido de realizar a organização dos dados e se adequar a realidade da pesquisa. A análise das respostas do questionário será realizada com o mesmo referencial teórico (análise de conteúdo) utilizado para o livro texto.

2.3 O ciclo de estudos em Química Fundamental: as atividades

O ciclo de estudos foi realizado no 1º semestre de 2010 com a participação de 21 alunos do curso de química licenciatura da UFRN. Antes do início das atividades foi necessário mergulhar no referencial teórico não apenas de fundamentação química, mas também de estratégias didático-pedagógicas como, por exemplo, o uso do mapa conceitual. O Quadro 1 apresenta uma síntese do planejamento das atividades desenvolvidas no Ciclo de Estudos.

Aulas	Atividades desenvolvidas	Objetivo
1ª semana (4 aulas)	- <i>Atividade 1a</i> : realização de experimento do alumínio com soluções de ácido clorídrico e hidróxido de sódio. - <i>Atividade 1b</i> : identificar conteúdos químicos envolvidos no fenômeno (microscopicamente).	- Conhecer a opinião dos participantes ao interpretar um fenômeno químico.
2ª semana (4 aulas)	- <i>Atividade 2a</i> : construir e debater o mapa conceitual para o fenômeno realizado experimentalmente. - <i>Atividade 2b</i> : discutir os conceitos envolvidos no fenômeno e as relações energéticas.	- Abordar a inter-relação dos conceitos; - Verificar o aprendizado dos participantes.

Quadro 1: Síntese do planejamento do Ciclo de Estudos.

Instrumentos utilizados

A preocupação que permeava o ciclo de estudos foi o processo de aprendizagem. Assim, optou-se pelo uso da entrevista coletiva entre a realização de cada atividade.

Para o registro das discussões dos participantes durante a intervenção na entrevista foi utilizado vídeo e gravador. Entre as vantagens destes equipamentos está o fato de se poder ver e rever as discussões quantas vezes for necessária (CARVALHO, 2007). Por outro lado, o uso deste recurso requer cuidados com a questão ética. Portanto foi elaborado um pequeno instrumento que explicasse o objetivo e finalidade do ciclo de estudos e, solicitado autorização (Apêndice 02) para utilizar as falas dos participantes na pesquisa, preservando a identidade dos mesmos.

A pesquisa em educação química (e outras ciências) utiliza diferentes instrumentos para identificar as concepções alternativas dos alunos sobre um dado fenômeno químico. Entre elas utilizamos a entrevista e o desenho.

As respostas às perguntas das entrevistas e dos desenhos possibilitam aos professores a identificação dos erros conceituais e, a partir disso, inferir as concepções alternativas que estão na base dessas idéias e erros conceituais.

a) as entrevistas

As entrevistas podem se classificar em individuais ou coletivas, em razão da quantidade de entrevistados que respondem em uma mesma situação às perguntas apresentadas, e segundo a organização das perguntas, podem se classificar em não-estruturada, semi-estruturada e estruturada (LEÓN *et al*, 2001). As entrevistas coletivas, ou em grupo, têm a característica de se concentrar na opinião do grupo e não de indivíduos isoladamente. Podem-se formular poucas perguntas ao grupo e ouvir mais os participantes e, estes podem interagir de modo que a construção de significados se dê socialmente, pois estimula os participantes a falar e a reagir àquilo que outras pessoas no grupo dizem. É uma interação social mais autêntica (GASKELL, 2002).

Durante o ciclo de estudos optou-se pela entrevista semi-estruturada, pois permite maior flexibilidade do entrevistador em relação à maneira, à ordem e à linguagem com que se abordam as perguntas, podendo adequar-se a cada situação concreta, expressar as perguntas de maneira que se compreendam mais facilmente alcançando maior riqueza dos dados qualitativos (LEÓN et al, 2001)

A entrevista foi conduzida no decorrer da discussão com os participantes. As perguntas definidas previamente estavam inseridas no planejamento das atividades e buscavam uma correspondência com os objetivos específicos da pesquisa. As demais perguntas que não foram previamente formuladas surgiram na dinâmica das discussões.

b) os desenhos

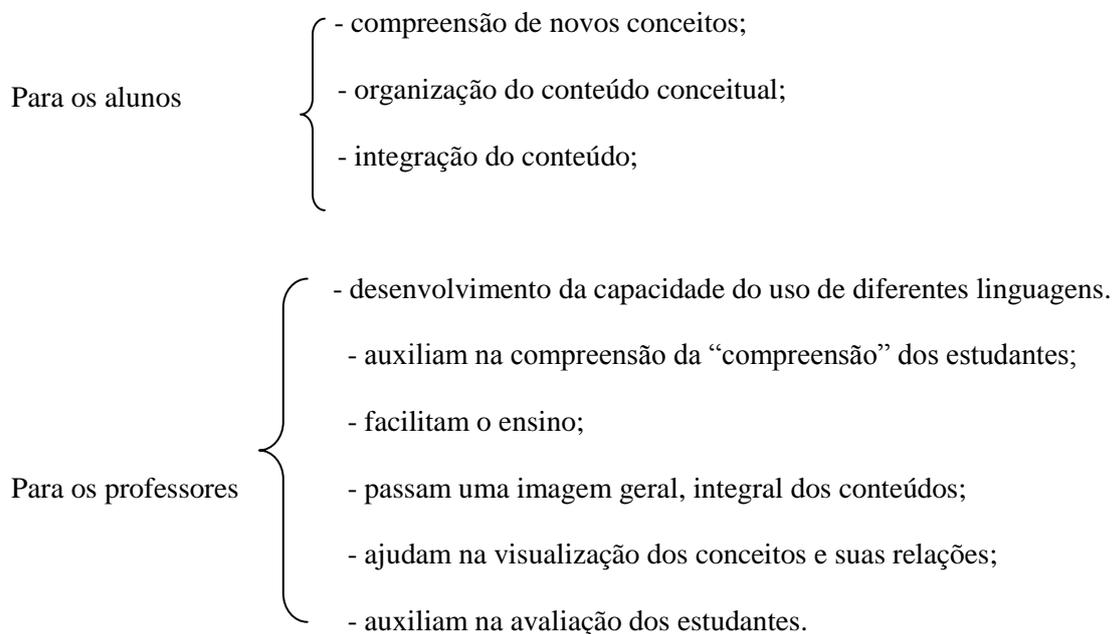
No caso dos desenhos são utilizados para representar, ou melhor, apresentar um modelo explicativo sobre um fenômeno químico. Para obter esclarecimentos e aprofundar os sentidos expressos nos desenhos, é importante recorrer às entrevistas ou outra ferramenta focalizando o sentido dado por eles a esses desenhos. Particularmente nesta tese utilizou-se o mapa conceitual.

c) os mapas conceituais

Os mapas conceituais podem ser utilizados em três dimensões, a saber:

- estratégia: ajudar os alunos na aprendizagem e os professores na organização dos materiais para a aprendizagem;
- método: ajudar os alunos e professores a captar o significado dos materiais para a aprendizagem;
- recurso: recurso esquemático para representar o conjunto de significados na estrutura de proposições.

Assim, podem ser utilizados no processo ensino e aprendizagem tanto por alunos como por professores, conforme o esquema a seguir:



Esquema 1: Papel do mapa conceitual no processo de ensino e aprendizagem

O mapa conceitual é constituído por conceitos, proposições e palavras de enlace. A proposição é formada por dois ou mais termos conceituais (conceitos) unidos por uma palavra de enlace para formar uma unidade semântica. A unidade semântica tem valor de verdade por afirmar ou negar algo de um conceito. As palavras de enlace são palavras que servem para unir os conceitos em proposições que têm um sentido, determinando um tipo de relação entre os conceitos. Além disso, destacam-se três características dos mapas conceituais: hierarquização, seleção e impacto visual. Na hierarquização os conceitos estão dispostos na ordem de importância ou de inclusividade, numa relação de subordinação conceitual. Assim, os conceitos mais abrangentes ocupam os lugares superiores. Um conceito só aparece uma vez e são usadas linhas (setas) para indicar o conceito derivado. A seleção consiste em uma síntese ou resumo que contém a parte mais importante ou significativa de uma mensagem, tema ou texto. O impacto visual consiste na representação visual em que os conceitos e suas relações devem ser apresentados de modo simples e claro. Usam-se os mesmos destaques para os conceitos, por exemplo, estes devem estar dentro de uma figura geométrica, como um retângulo, com um destaque no tipo de letra.

Assim, durante o ciclo de estudos explicou-se o uso desta ferramenta para que os participantes pudessem entender os princípios de utilização.

Foram realizadas duas provas pedagógicas (Apêndice 2 e 3) que abordaram aspectos discutidos no ciclo de estudos. As provas pedagógicas têm o propósito de avaliar os resultados da aprendizagem (estado dos conhecimentos, hábitos e habilidades). Possibilitam sinalizar elementos para a verificação da aprendizagem dos participantes e, ao mesmo tempo fornecer subsídios para o professor e/ou pesquisador reveja a intervenção no processo de ensino e aprendizagem.

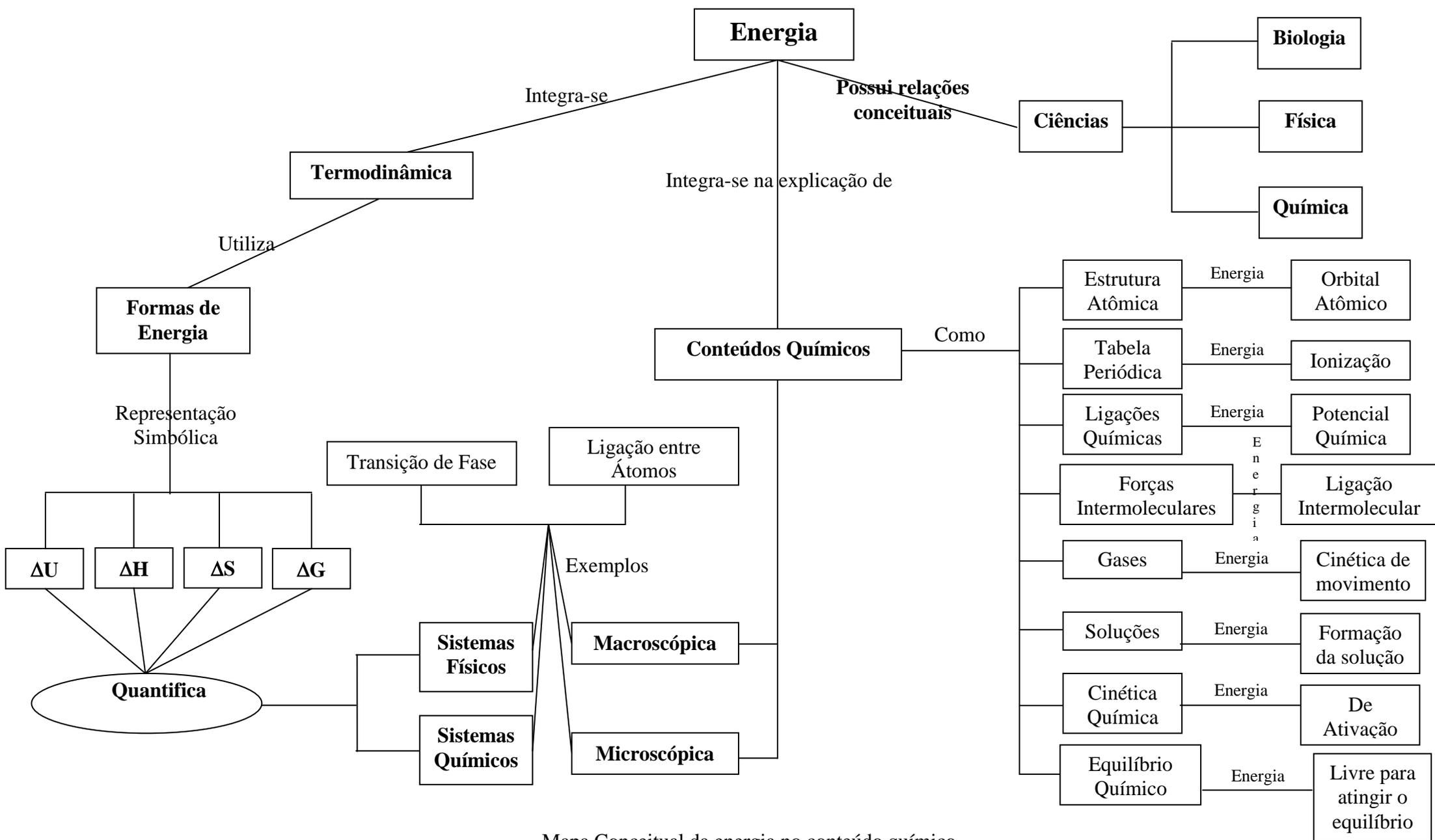
Pelo tipo de respostas que provocam, as provas pedagógicas são classificadas em provas de desenvolvimento, também denominadas de ensaio ou tradicionais e as provas de resposta breve ou objetivas (LEÓN *et al*, 2001). Essas provas permitem ao avaliador conhecer o grau de domínio e profundidade que o participante possui com relação às temáticas abordadas para expressar as idéias com clareza e precisão. Comparada às de resposta breve, sua redação é muito menos complexa, embora, a subjetividade do avaliador possa influenciar na pontuação outorgada ao sujeito e o tempo que se requer para respondê-la e avaliá-la seja maior (LEÓN, 2001).

3 ESTUDO DAS FORMAS DE ENERGIA E A RELAÇÃO COM CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA QUÍMICA GERAL

Neste capítulo apresentaremos as bases teóricas da termodinâmica química e do conceito de energia em meio ao conteúdo químico utilizada em uma das atividades propostas nesta tese (ciclo de estudos), sinalizando as inter-relações entre os conceitos da química geral e o conceito de energia. A intenção é que os itens deste capítulo possam auxiliar – especialmente aos alunos de graduação na disciplina de Química Geral – no reconhecimento dos aspectos que envolvem um dado fenômeno e a relação da energia com conceitos fundamentais da Química Geral, usando linguagem um pouco diferente do restante da tese. Esta é uma proposta única na área de Química, tendo em vista que procura unificar e/ou interligar os conceitos na área Química Geral, cujo ensino - tanto a nível médio como superior - tem se apresentado bastante fragmentado, sendo uma das causas da falta de abstração por parte dos alunos, o que é necessário nessa ciência que usa de teorias para explicar o mundo microscópico.

Este capítulo foi também construído para nortear o planejamento das atividades desenvolvidas no ciclo de estudos e para auxiliar nas discussões dos conceitos químicos trabalhados com os alunos de graduação – participantes da pesquisa, que será discutido no capítulo 6.

Para iniciarmos o capítulo apresentamos um mapa conceitual onde emergem os conceitos básicos abordados, assim como a sinalização das discussões dos conceitos químicos trabalhados com os alunos de graduação – participantes da pesquisa.



Mapa Conceitual da energia no conteúdo químico

3.1 FORMAS DE ENERGIA E A RELAÇÃO MICROSCÓPICA COM AS SUBSTÂNCIAS E MATERIAIS

O termo energia é utilizado tanto cotidianamente quanto nos meios científicos e tecnológicos, sendo que a abordagem formal deste conceito é, em geral, feita na física.

Em 1807, Tomas Young enunciou pela primeira vez o termo (*enérgeia*) cuja origem grega significa eficácia, ação, vigor entre outras. No entanto, sua consolidação só veio ocorrer na segunda metade do século XIX, quando além da mecânica foi utilizado também para denotar as energias interna e eletromagnética em termodinâmica e eletromagnetismo, respectivamente.

Pode-se dizer que toda a vida na Terra é impulsionada por energia. O ser humano a utiliza para realizar as atividades vitais, assim como para exercer inúmeros trabalhos no dia a dia. Uma excepcional idealização unificadora da energia foi criada por Albert Einstein, quando propôs a equivalência entre a energia e a massa, formalizada através da equação:

$$E = mc^2 \quad \text{eq. 1}$$

na qual E representa a energia, m a massa e c a velocidade da luz ($2,998 \times 10^8$ m/s) esta equação representa apenas a relação da energia do ponto de vista relativístico sendo que a energia para partículas que não possuem massa de repouso (energia quantizada) pode ser obtida pela equação de Planck:

$$E = h \cdot \nu \quad \text{eq. 2}$$

onde E representa a energia, h a constante de Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ J. s) e ν a frequência da onda que tem como unidade de medida Hertz.

A energia pode ser entendida como uma medida de transformação ou possibilidade de transformação, podendo ser aplicada ao movimento, à luz, ao som, ao magnetismo, às reações químicas – como processos bioenergéticos e as reações de combustão. Enfim, a energia é uma entidade intrínseca a qualquer processo natural que envolva alguma mudança ou possibilidade de uma mudança.

3.1.1 Formas de energia

O entendimento para o termo energia contempla não somente o movimento, mas, também a capacidade da sua transformação. Sem dúvida esse é um dos conceitos mais fundamentais da química, física e de outras ciências. E uma de suas propriedades diz respeito à conservação em qualquer que seja o processo físico, químico ou de qualquer outra natureza. Portanto, não pode ocorrer criação ou eliminação de energia, mas transformação de uma forma para outra, ou ainda transformação da matéria por transferência de energia de um sistema a outro, muitas vezes acompanhados por transformações da matéria.

Dizer que a energia é a capacidade de fazer as coisas acontecerem ou ainda que é a capacidade de realizar trabalho, sem dúvida, seria a forma mais fácil de conceituá-la. Porém, o que se observa é que comumente esse conceito deve estar associado à tipologia do fenômeno investigado, originando formas de energia como:

- **Energia Cinética** – forma de energia associada ao movimento. Por exemplo, todo corpo (ser humano, animal, objeto, átomo, molécula, etc) em movimento seja de rotação e/ou translação possui essa forma de energia;
- **Energia Potencial** – toda e qualquer forma de energia que “pode vir a ser utilizada” para fazer com que algo realize movimento, estando associada à configuração de um sistema. Embora, enquanto estiver na forma potencial representará apenas uma possibilidade de uso que ainda não foi concretizada. Por exemplo, dizemos que um corpo a certa altura em relação à superfície da Terra tem energia potencial gravitacional ou que um corpo preso à extremidade de uma mola esticada, ou encolhida, possui energia potencial elástica ou que uma molécula com certo arranjo atômico possui energia potencial química (energia das interações intra e intermoleculares) e assim por diante;

Assim a energia potencial pode ser subdividida em: gravitacional; elástica; química e mecânica.

- **Energia potencial química ou energia química** - energia proveniente da ligação entre os átomos nas substâncias e nos agregados dos materiais. Numa reação química, a energia do sistema pode aumentar ou diminuir após a transformação dos reagentes em produtos, devido à mudança no arranjo dos átomos ou íons. Se o volume do sistema for constante, a energia química, proveniente de uma reação química, pode ser dita como energia interna. Por outro lado, se a pressão for constante a energia da transformação química é associada à entalpia.
- **Energia Térmica** – forma de energia associada à temperatura em que se encontram os corpos. Cada sistema apresenta, em um dado instante, determinada temperatura, portanto quanto maior a temperatura deste maior sua energia térmica, que está associado – no nível macroscópico - com o movimento aleatório (rotação, vibração e translação) das partículas constituintes do material. Essa forma de energia pode ser observada no nível microscópico, quando também é chamada de energia interna (expressa a energia cinética e outras formas de energia das partículas pertencentes ao sistema estudado, não sendo observada diretamente no nível macroscópico). O calor, outra forma de energia, pode ser definido como a transferência de energia térmica entre os corpos.
- **Energia Elétrica** – forma de energia associada ao fluxo de cargas elétricas;
- **Energia Magnética** – forma de energia associada a um campo magnético (lembrando que a única forma de criar um campo magnético é através de corrente elétrica ou da variação temporal de campos elétricos).
- **Energia Nuclear** – Se caracteriza por ser a energia liberada nas reações nucleares, ou seja, onde ocorrem processos de transformações nos núcleos atômicos de fusão ou fissão nuclear.

- **Energia Eletromagnética** – é a energia proveniente da radiação eletromagnética, que é um fenômeno de propagação de ondas no vácuo ou na matéria. Dependendo do comprimento de onda ou frequência da radiação, a radiação eletromagnética pode ser classificada como: radiação infravermelho, visível e ultravioleta; raios-X e raios gama, ondas de rádio e microondas. Na propagação desses tipos de radiação existe um campo elétrico e magnético associado, que estão perpendiculares entre si.

Existem outras formas de energias, além das citadas acima, as quais podem ser classificadas também como energia cinética ou potencial, de forma que algumas dessas formas de energias são mais aplicadas no nível macroscópico e outras ao nível microscópico, envolvendo átomos, moléculas ou partículas subatômicas, entretanto, todas essas formas de energias podem ser transformadas umas nas outras.

Na ciência Química, as energias mais importantes envolvidas no tratamento dos sistemas químicos são as energias potencial, cinética e a eletromagnética e isto será visto adiante nos tópicos que tratam dos conceitos fundamentais da química geral.

3.1.2 Princípio da conservação da energia ou 1ª lei da termodinâmica

Antes de iniciarmos o estudo da termodinâmica definiremos os conceitos de sistema e vizinhança. De forma geral um sistema se caracteriza como a parte do universo que se pretende estudar. Portanto, um sistema pode se caracterizar por um tubo de ensaio, contendo reagentes para reagir, ou até mesmo um grande lago. Portanto, um sistema pode ou não trocar tanto energia quanto massa com o meio que o circunda, muitas vezes chamado de vizinhança, sendo assim poderá ser classificado em três tipos:

- a) Sistema aberto – Pode trocar matéria e energia com o meio que o circunda (vizinhança);
- b) Sistema fechado – Pode trocar energia com o meio que o circunda (vizinhança), mas não pode trocar matéria;
- c) Sistema isolado – Nem realiza troca de energia nem de matéria com o meio que o circunda (vizinhança).

Então, a vizinhança se caracteriza apenas como uma parte limitada ao redor do sistema que se estuda.

Das formas de energia anteriormente citadas, deduz-se que não podemos criar energia, então podemos afirmar que em qualquer processo natural, a quantidade total de energia é a mesma antes e depois, mesmo que essa tenha se transformado completamente. Esta idéia é conhecida como “princípio da conservação da energia ou primeira lei da termodinâmica”.

A 1ª lei da termodinâmica estabelece que a variação da energia interna é a soma das contribuições de calor e trabalho (equivalente mecânico do calor). Na transformação de uma forma de energia em outra, as contribuições do ‘calor’ e do ‘trabalho’ quantificam macroscopicamente a 1ª lei da termodinâmica.

Calor e trabalho: fundamentações

Certamente uma das descobertas mais importantes da história da humanidade foi a do domínio do fogo, o que possibilitou luz à escuridão, calor ao frio e o cozimento dos alimentos necessários a sua subsistência. A forma de produção do fogo evoluiu com o passar dos anos. Na Antiguidade, a maior fonte de energia para a produção de alimentos cozidos era obtida através da madeira. Hoje em dia, as cozinhas modernas são providas de fogão a gás e elétrico. A combustão do gás liquefeito de petróleo (gás de cozinha) fornece energia, em forma de calor, não só para o cozimento dos alimentos, mas também em diversas aplicações industriais e agrícolas.

Em termodinâmica, a quantidade de calor é representada pela letra Q , sendo definida como a “energia transferida em consequência da diferença de temperatura entre o sistema termodinâmico e suas vizinhanças”. Quando o calor é transferido da vizinhança para o sistema, chamamos o processo de endotérmico e dizemos que o calor é positivo ou maior que zero, ($Q = +$ ou $Q > 0$), pois o sistema “ganha” energia na forma de calor. Da mesma forma quando o calor é transferido do sistema para a vizinhança, dizemos que o processo é exotérmico e que Q é negativo ou menor que zero, ($Q = -$ ou $Q < 0$), pois o sistema “perde” energia na forma de calor.

Para entendermos o conceito de trabalho, analisemos a seguinte situação:

Ao chutar uma bola de futebol, por exemplo, podemos perceber que a direção e a velocidade de movimento podem mudar pela transferência de energia do pé para a bola. Quando uma força provoca o deslocamento de um objeto, dizemos que essa realiza “trabalho (w)” sobre o objeto. A letra w é utilizada para representar o trabalho. Também, o chute realizado pelo jogador é um exemplo de energia química (potencial) acumulada nos tecidos musculares na forma de ATP (trifosfato de adenosina) que é transformada em energia mecânica ou energia para movimentar órgãos e membros do corpo humano. A molécula de ATP, um nucleotídeo, apresenta como característica as ligações responsáveis pela união dos grupamentos fosfatos, ricas em energia, sendo utilizadas pelos organismos vivos para fornecer energia imediata às reações químicas consumidoras. Assim, a molécula de ATP é a molécula responsável pela reserva de energia da célula e, conseqüentemente, da energia armazenada no corpo humano – carboidratos e gorduras.

Em sistemas químicos, tanto o calor como o trabalho ocorrem na fronteira do sistema em estudo. O primeiro é empregado para identificar a energia transitória em meio às reações químicas e o de trabalho para especificar que quando um desses sistemas possui, no final da reação, espécies químicas gasosas podem realizar “trabalho de expansão” – ocorre quando um gás contido em um cilindro ao ser liberado desloca a atmosfera ambiente e então realiza trabalho sobre a atmosfera. Entretanto, alguns sistemas químicos também podem realizar “trabalho não expansivo” que ocorre, por exemplo, em uma célula eletroquímica ou em uma célula biológica (em ambos não há liberação de gases). Trabalho não expansivo, também pode ser detectado em sistemas físicos quando, por exemplo, se comprime uma mola (trabalho mecânico) ou na contração de um músculo.

Representação da 1ª lei da termodinâmica (Princípio da conservação da energia): Energia Interna

Para generalizar a representação da 1ª lei, utilizaremos como modelo um sistema isolado (identificado como a parte do universo que se deseja estudar), ilustrado a seguir:

A energia perdida ou ganha pelo sistema	=	A energia ganha ou perdida pelo ambiente
---	---	--

Para delimitar o estudo da “1ª lei da termodinâmica” (ou princípio da conservação da energia), levaremos em conta que o sistema apresenta apenas energia interna (U), que é a contribuição da energia cinética e energia potencial de todas as espécies que constituem o sistema.

Ao estudar os fenômenos físicos na mecânica, normalmente se observa que a energia mecânica se decompõe em energia cinética (E_c), associada à velocidade dos sistemas, e energia potencial (E_p), que está associada à capacidade de produzir movimento, à gravidade, a um campo elétrico, entre outros. Vale considerar que esses dois estados da energia (energia cinética e energia potencial) são suficientes para explicar os fenômenos mecânicos.

No estudo de sistemas químicos, em geral, estão associadas às formas de energia cinética e potencial das contribuições microscópicas dos fenômenos. Essas formas são, por exemplo, as energias:

- Cinética de cada molécula no referencial do centro de massa do sistema;
- Potencial - de interação entre as partículas, de ligação das moléculas (energia química) e de ligação dos constituintes do átomo (energia atômica ou nuclear).

Determinar essa diversidade de energias é, em algumas situações, complexa para os sistemas termodinâmicos químicos, mas elas podem ser obtidas em cálculos como o: da partícula na caixa (mecânica quântica), oscilador harmônico e rotor rígido. Em tais sistemas, o número de espécies (átomos e/ou moléculas e/ou íons) constituintes é grande (basta lembrar, por exemplo, que para cada mol de uma espécie química tem-se aproximadamente $6,02 \times 10^{23}$ espécies), o que torna complexo o conhecimento das energias individuais de cada uma. No entanto, o conjunto das energias microscópicas descritas acima é agrupado e recebe o nome de energia interna, sendo representada pelo símbolo U . Portanto, a energia interna é uma grandeza ‘macroscópica’ que leva em conta todas as contribuições ‘microscópicas’ do sistema em estudo.

Caracterização do fluxo de calor nos sistemas químicos

Na natureza, várias são as reações que ocorrem a pressão constante da atmosfera, sejam de origem química ou biológica. Nessas reações frequentemente existe um fluxo de energia que pode ser quantificado.

A quantidade de calor de um sistema químico, medida a pressão constante, é denominada entalpia (palavra de origem grega *enthalpein*, que significa aquecer ou do alemão *enthalten* que significa conter), sendo representada simbolicamente pela letra ‘**H**’. Essa quantidade de calor é proveniente das diversas transformações que ocorrem em um sistema químico como, por exemplo, quebra de ligações químicas intermoleculares e/ou intramoleculares.

Os químicos e os bioquímicos estão frequentemente interessados nas variações de energia que ocorrem nas reações à pressão constante. Sejam essas com absorção ou liberação de calor caracterizando-as em reações endotérmicas ou exotérmicas, respectivamente. Tanto a energia interna como a entalpia são caracterizadas como uma propriedade do sistema (ou também chamadas de função de estado), cujo valor depende somente do estado inicial e final e independe da maneira como esse estado foi atingido.

Caracterização do fluxo de calor nas transformações físicas

A grandeza entalpia é utilizada para quantificar os sistemas físicos em processos como fusão, vaporização, condensação, liquefação, sublimação e solidificação. Em processos como fusão, vaporização e sublimação ocorrem absorção de energia, devido à quebra de ligações² intermoleculares, onde as espécies que constituem o sistema passam de um estado mais ordenado para um estado mais desordenado. Enquanto na liquefação, solidificação e condensação, as espécies que constituem o sistema liberam energia para atingir estados mais ordenados.

² Nesta tese atribuímos que o significado de ligações intermoleculares é sinônimo de interações intermoleculares.

Caracterização do fluxo de calor nos sistemas atômicos e moleculares

Além da quantificação da energia nos processos físicos, a entalpia também pode ser utilizada para quantificar processos que ocorrem no nível atômico e molecular, ou seja, na perda ou ganho de elétron em um átomo ou íon gasoso, por exemplo. Dois desses processos atômicos são a energia de ionização e a afinidade eletrônica.

A energia de ionização é a quantidade de energia mínima necessária para remover um elétron de um átomo ou íon, na fase gasosa. Geralmente, a ionização se constitui um processo endotérmico, porque deve-se fornecer energia para que a partícula consiga vencer as forças atrativas e ser removida. Entretanto, a remoção de um segundo elétron requer mais energia do que a primeira ionização. Isto ocorre devido um aumento da carga nuclear efetiva que exerce uma maior atração do núcleo atômico ao elétron mais externo a ser removido, após a saída do primeiro elétron.

A afinidade eletrônica mede a quantidade de energia associada à adição de um elétron a um átomo para formar íons carregados negativamente. Diferente da energia de ionização, não se pode afirmar que a afinidade eletrônica de todos os átomos seja um processo endotérmico ou exotérmico, pois, algumas espécies, absorvem energia quando recebe um elétron e outras liberam energia quando absorve um elétron.

A energia absorvida para quebrar cada ligação é denominada entalpia de ligação ou entalpia de dissociação e é a quantidade de energia necessária a quebra de cada ligação. Essa energia dependerá da atração exercida pelo núcleo de um dos átomos aos elétrons mais externos do outro. Portanto, quanto menor o raio atômico de um dos átomos na ligação, mais próximos o núcleo desse átomo estará dos elétrons mais externos dos elétrons de ligação do outro átomo e, conseqüentemente, maior é a energia de ligação.

3.1.3 Entropia ou 2ª lei da termodinâmica

A entropia, representada pela letra ‘S’, caracteriza-se como a propriedade termodinâmica relacionada com a forma em que a energia de um sistema – químico ou físico – se distribui entre os níveis microscópicos de energia disponíveis.

De forma macroscópica, essa função termodinâmica mede o grau de aleatoriedade ou desordem das espécies químicas em determinados sistemas. Portanto, a descrição dos estados termodinâmicos de um sistema pode ser feita de duas maneiras:

- (1) Macroscopicamente – quando são consideradas funções de estado como pressão (p), volume (V) e temperatura (T).
- (2) Microscopicamente – quando se analisam as velocidades e posições de todos os átomos, moléculas e íons que constituem o sistema.

Cada espécie química poliatômica apresenta modos vibracionais específicos de sua estrutura que dependerá da quantidade de átomos que a espécie possui. Uma molécula linear possui $3N+5$ movimentos vibracionais e uma molécula não linear possui $3N+6$ modos, sendo N o número de átomos na molécula.

O aumento do número de modos vibracionais possibilita um maior número de níveis de energia acessíveis (w), tendo em vista que:

$$S = k \ln w \quad \text{eq. 3}$$

Nesta equação, k representa a constante de Boltzmann que é obtida a partir da divisão de duas outras constantes, R (constante universal dos gases que expressa em Joules é 8,31 J/mol K) e N_A (constante de Avogadro cujo valor é $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), equação 4:

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}}{6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad \text{eq. 4}$$

Em sistemas físicos, a análise da entropia pode ser feita em processos de transformação de estados da matéria. Em cada transição de fase, as espécies que constituem o sistema podem ou não adquirir estados mais desordenados que o estado anterior em que se encontravam e, conseqüentemente, experimentar um maior número

de níveis de energia acessíveis para o movimento molecular. Assim a entropia pode ser encontrada através da equação 5:

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T} \quad \text{eq. 5}$$

Esse estado mais desordenado é adquirido quando a transição é uma fusão e/ou vaporização, pois o ganho da energia pelo sistema, além de quebrar as ligações intermoleculares, fornece energia suficiente as espécies para que essas aumentem seus movimentos de vibração, rotação ou translação. Quando a transformação necessita liberar energia, no caso de uma condensação ou solidificação, o aumento da entropia se dá pelo fato de a energia liberada aumentar mais a entropia das vizinhanças do que a diminuição da entropia sofrida pelo sistema em estudo, de forma que a entropia total seja maior que zero.

O critério para estabelecer a espontaneidade em que esses processos ocorrem pode ser resumido pela junção da entropia e da entalpia em uma única variável macroscópica termodinâmica, a energia livre de Gibbs.

3.1.4 Espontaneidade de um sistema químico e a energia livre de Gibbs

Do ponto de vista macroscópico, a energia livre se caracteriza como a quantidade máxima de energia disponível pela reação para produzir trabalho adicional (não trabalho de expansão). Tal trabalho não seria possível se, do ponto de vista microscópico, as espécies químicas não possuíssem energia potencial suficiente entre seus átomos para reagir. Em cada reação que ocorre espontaneamente, o sistema somente realiza trabalho, sem a ação de forças externas, quando as espécies de um determinado reagente possuem energia suficiente para atrair elétrons mais externos da outra espécie reagente a fim de formar novos produtos e produzir trabalho útil pela reação.

Em seu curso, à medida que a reação se processa, essa energia diminui devido ao número de espécies que possuem a energia necessária a atração de elétrons da outra espécie, que participa da reação, começarem a se converter nos produtos da reação. Macroscopicamente, essa energia pode ser evidenciada pela diminuição líquida da

energia livre dos reagentes da reação até o ponto em que a variação de energia livre da reação é zero, ou seja, a reação atinge o equilíbrio quando as espécies que constituem o sistema da reação não mais disponibilizam energia suficiente para reagir. Para a situação de uma reação não espontânea, ambas as espécies reagentes na reação não possuem energia suficiente para que ocorram atrações entre si e, conseqüentemente, ocorra reação. De certa forma, o caráter espontâneo da reação pode ser caracterizado como a afinidade química que as espécies possuem entre si para reagir.

3.2 REVENDO O TERMO ENERGIA EM ALGUNS CONCEITOS DA QUÍMICA GERAL

Neste item apresentaremos alguns conceitos químicos nos quais o termo energia é utilizado para aprofundar as explicações dos fenômenos, tais como estrutura atômica da matéria, tabela periódica, ligações químicas (ligações iônica, covalente e intermoleculares), soluções e propriedades coligativas, gases, cinética química e equilíbrio químico.

3.2.1 O uso do termo energia no conteúdo de estrutura atômica da matéria

Indiscutivelmente, no conteúdo de estrutura atômica da matéria, o termo energia é muito utilizado para especificar diversos outros conceitos que fundamentam esse conteúdo, fazendo-se presente na evidência da quantização:

- da energia do elétron no átomo;
- no estudo do efeito fotoelétrico;
- no entendimento dos níveis energéticos dos átomos de hidrogênio;
- no estudo da excitação de elétrons em um átomo.
- na explicação dos níveis de energia que cada orbital atômico adquire em um átomo.

Na tentativa de explicar a interação da matéria com a radiação eletromagnética, o termo energia é utilizado para explicar o enunciado da quantização da energia. As idéias de quantização da energia por Max Plank partem do princípio de que um átomo apenas pode liberar (ou absorver) energia em discretos “pacotes” de tamanhos mínimos. Esses pacotes recebem o nome de *quantum*, que significa quantidade fixa, para especificar a menor quantidade de energia que pode ser absorvida ou emitida como radiação eletromagnética. A quantização da energia advém da idéia de que as vibrações de átomos em um objeto aquecido causam a emissão de radiação eletromagnética. Para relacionar a energia com essas vibrações Planck propôs um modelo matemático para sua suposição, equação 2. Nessa equação, a quantização significa que somente determinadas vibrações com frequências específicas são permitidas, ou seja, a energia é sempre emitida pela matéria em múltiplos inteiros de $h\nu$; $2h\nu$; $3h\nu$ e assim sucessivamente.

Nesse conteúdo o termo energia também se faz presente na explicação do conceito de efeito fotoelétrico. Esse termo é utilizado por Einstein quando supõe a partir das idéias de Planck que a energia radiante (ou radiação eletromagnética) que incide sobre uma determinada superfície metálica consiste em um fluxo de pacotes minúsculos de energia, denominados fótons.

Na explicação desse fenômeno (efeito fotoelétrico), o termo energia também é utilizado para especificar que a remoção de elétrons da superfície metálica, onde se incide uma determinada quantidade de fótons, somente ocorre quando existe uma energia mínima. Caso essa energia seja menor que a energia mínima, os elétrons não são removidos. Em outra situação, sendo a energia superior a energia mínima, então os elétrons são removidos e o excesso de energia é transformado em energia cinética dos elétrons emitidos.

Na descrição dos espectros de linhas emitidos por cada átomo, na fase gasosa e em baixa pressão, quando uma alta tensão é aplicada, comumente, se utiliza o termo energia para especificar que seus elétrons absorveram essa energia, assumindo um estado excitado (nível de maior energia), e depois decaíram ao estado fundamental (nível de menor energia) emitindo um fóton.

Em um de seus postulados, N. Bohr usou o termo energia para quantificar as energias correspondentes a cada órbita permitida através da seguinte expressão matemática:

$$E = (-2,18 \times 10^{-18} J) \left(\frac{1}{n^2} \right) \quad \text{eq. 5}$$

Na equação 5, a letra “n” representa cada um dos níveis energéticos para o átomo de Bohr, podendo assumir valores de 1 a infinito. Em cada uma dessas órbitas, o termo energia ainda é utilizado para especificar a estabilidade ou não da espécie atômica em estudo, uma vez que quanto mais baixa for a energia mais estável será o átomo.

Esse termo ainda pode ser utilizado para especificar qual a quantidade de energia radiante emitida (luz ou linhas espectrais específicas de um átomo) durante a transição dos elétrons desse átomo no retorno do nível mais energético (estado excitado) para o nível energético de origem (estado fundamental). A equação que especifica essa quantidade de energia é:

$$\Delta E = E_f - E_i = E_{\text{fóton}} = h\nu \quad \text{eq. 6}$$

Em ambas as equações de energia, propostas no modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio, consideram que apenas frequências específicas de luz são satisfeitas pela equação (2). Essa variação de energia pode ser rearranjada na expressão abaixo:

$$\Delta E = h\nu = \frac{h.c}{\lambda} = (-2,18 \times 10^{-18} J) \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad \text{eq. 7}$$

Sendo também chamada de equação de Rydberg.

O modelo atômico atual determina a probabilidade de encontrar o elétron no átomo através da equação de Schrödinger independente do tempo da mecânica quântica, $H\Psi = E\Psi$, onde H é o operador Hamiltoniano, Ψ é a função de onda que gera o orbital e E é a energia total do orbital. Essa energia é obtida pela resolução dessa equação, sendo limitada pelo conjunto de números quânticos n (número quântico principal), ℓ (número quântico de momento angular ou azimutal) e m_ℓ (número quântico magnético).

Ainda relatando o uso do termo energia no conteúdo de estrutura atômica da matéria, esse se apresenta frequentemente em gráficos, figuras e diagramas que expressam a distribuição de elétrons em orbitais atômicos.

3.2.2 O uso do termo energia no conteúdo de tabela periódica

Cada átomo possui características específicas advindas, na maioria das vezes, da quantidade de elétrons que possui ou da atração que o núcleo atômico exerce pelos seus próprios elétrons ou ainda dos elétrons de um átomo ao qual esteja ligado.

O conteúdo de tabela periódica mostra as propriedades que os átomos possuem a partir da quantidade de espécies que o constituem. Seu estudo possibilita o desenvolvimento de conceitos como raio atômico, raio iônico, energia de ionização e afinidade eletrônica. Na explicação dos dois últimos conceitos o termo energia é utilizado para especificar a quantidade de energia necessária para remover ou adicionar um elétron a um átomo ou íon no estado gasoso. Dependendo do processo em análise, como já discutido anteriormente na caracterização do fluxo de calor nos sistemas atômicos e moleculares, esta energia pode ser liberada ou absorvida pelo átomo. Sendo a determinação quantitativa realizada para um mol de espécies o que implica uso da unidade kilojoules por mol ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) para expressar valores de energia em cada um desses processos.

3.2.3 O uso do termo energia no conteúdo de ligação química

A partir do conhecimento ondulatório atribuído aos elétrons, do desenvolvimento da teoria quântica moderna e da resolução da equação de Schrödinger, foi possível compreender a relação entre as propriedades químicas (Duarte, 2001) e desenvolver modelos explicativos para a interação de uma ou mais espécies atômicas na formação de uma molécula ou composto iônico. Cada um desses modelos é descrito

através de ligações químicas que podem ter suas explicações a partir de várias teorias dependendo da(s) espécie(s) que está interagindo.

Uma ligação química pode ser caracterizada como ligação iônica, covalente ou metálica. A explicação da formação de uma ligação química é feita em termos das interações eletrostáticas existentes entre essas espécies, motivo pelo qual o termo energia é constantemente utilizado para descrever essas interações. Em cada um desses tipos de interações as ligações podem ocorrer entre átomos que compõe uma molécula (ligações covalente), unidade iônica (ligações iônicas) e metais (ligações metálicas), tendo, portanto diferentes valores de energia de ligação em cada um desses tipos de ligações.

Nas teorias que descrevem a formação de uma ligação química, o uso do termo energia é utilizado inicialmente para explicar a formação de uma ligação iônica através do ciclo de Born-Haber. Este é um ciclo termoquímico, baseado na lei de Hess, para explicar a variação de energia que ocorre na formação dos sólidos iônicos. Neste ciclo o termo energia é utilizado para especificar tanto a transformação das espécies químicas de sua forma elementar em espécies iônicas como a separação destas, que constituem o sólido iônico em íons isolados na fase gasosa, sendo este último processo denominado de energia de rede. A explicação dessa energia é expressa em termos da variável termodinâmica entalpia.

Também na análise da energia de rede, o termo energia é utilizado para explicar os diferentes valores de energia que cada sólido iônico possui, por ter em sua constituição diferentes espécies atômicas interagindo com diferentes valores de raio atômico e, conseqüentemente, diferentes valores de carga nuclear efetiva.

De acordo com a Teoria da Ligação de Valência (TLV) e a Teoria do Orbital Molecular (TOM), o princípio básico para formação de uma ligação química é a diminuição líquida da energia da espécie formada em relação aos seus constituintes isolados. Este princípio fica claro quando utiliza-se, no conteúdo de ligações químicas, o gráfico de diminuição de energia potencial líquida, Figura 1, da formação das moléculas de hidrogênio (H_2), geralmente usado na teoria da Ligação de Valência (TLV) para mostrar a variação na energia potencial na formação do H_2 .

No gráfico da Figura 1, o termo energia também é utilizado. Nesse gráfico se ilustra que quando dois átomos atingem uma distância ideal entre os núcleos atômicos

para formar a ligação a energia mínima da formação da ligação é atingida. Quando a distância mínima é superior a esse valor ideal ocorre um aumento no número de repulsões eletrostáticas entre as duas espécies, de forma tal, que ocorre um aumento da energia.

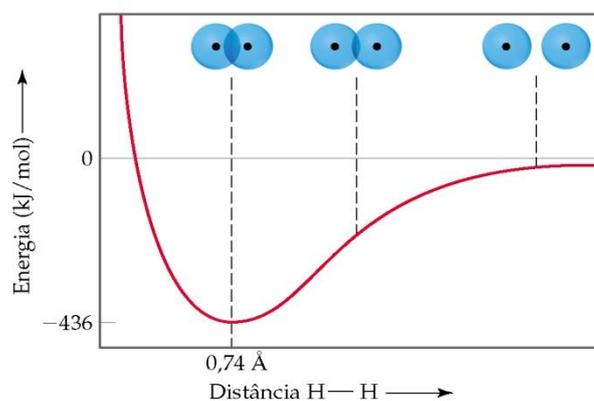


Figura 1 - Diminuição Líquida da Energia
 Fonte: Brown et. al., (2005, p. 304)

O termo energia também é utilizado para especificar a estabilidade que cada molécula possui ao calcular valores de carga formal para cada átomo dessa molécula em uma determinada representação de Lewis. O menor valor de carga formal em um átomo, de dada representação de Lewis, especifica que essa representação corresponde a real alocação dos átomos na molécula o que implica que é a representação mais estável e, conseqüentemente, de menor energia.

Ainda no estudo do conteúdo de ligações químicas, o termo energia é utilizado para explicar a energia de ligação entre os átomos em uma molécula qualquer, sendo que a energia de ligação entre os átomos de certa molécula depende das forças atrativas e repulsivas que esse átomo exerce em relação ao átomo ao qual está se ligando, o que implica saber o tamanho do raio atômico de cada uma das espécies ou da quantidade de ligações existentes entre essas espécies. A variação de energia na quebra de uma ligação química pode ser também quantificada através da variável macroscópica termodinâmica entalpia.

Com relação a representação da forma da molécula (geometria molecular), o termo energia pode ser utilizado para explicar que a menor repulsão entre os pares de elétrons em domínios ligantes advém do fato dessa molécula possuir a menor energia, ou seja, ser a representação mais estável.

Como já descrito anteriormente, cada orbital atômico apresenta uma energia específica. A teoria da ligação de valência se utiliza do conceito de orbital atômico para especificar que esses orbitais se tornam híbridos (orbitais formados pela combinação dos orbitais atômicos de um mesmo átomo), e compartilham os elétrons que formam uma determinada molécula. Na formação dos orbitais híbridos, o termo energia é utilizado para especificar que os elétrons promovidos a ocupação desses orbitais requer um ganho de energia, mas que a energia liberada na formação da ligação mais do que compensa a energia gasta para promoção desses elétrons.

Para descrever a teoria do orbital molecular, o termo energia é utilizado no intuito de explicar que os orbitais atômicos formam orbitais moleculares de energia específica. O orbital molecular pode ser caracterizado como orbital ligante (orbital molecular de menor energia) e orbital molecular antiligante (orbital molecular de maior energia), sendo que a formação da ligação química, de acordo com essa teoria, se utiliza do termo energia para especificar que a ligação só ocorre quando um maior número de elétrons da molécula ocupam o(s) orbital(is) de menor energia, ou seja, o(s) orbital(is) ligante. Ainda nesta teoria o termo energia é expresso ao lado de cada diagrama que descreve os orbitais moleculares, especificando a ordem crescente de energia dos elétrons que ocupam a molécula.

3.2.4 O termo energia no conteúdo de forças intermoleculares

Em cada estado físico da matéria as espécies químicas interagem entre si dando origem a diversas substâncias encontradas na natureza³. Em cada uma dessas substâncias as espécies se atraem, designando boa parte das propriedades físicas específicas advindas dessa forma de interação. Alguns dos tipos de interação entre as espécies químicas no estado sólido e líquido.

- Interações íon-dipolo;
- Interações dipolo-dipolo;

³ Considerando que no estado gasoso também há interação entre as espécies químicas mesmo que estas sejam fracamente atrativas.

- Interações dipolo instantâneo-dipolo induzido;
- Interações dipolo permanente-dipolo induzido
- Ligação de hidrogênio.

O termo energia é de fundamental importância na explicação de cada uma dessas interações intermoleculares (ou ligações intermoleculares) que ocorre pelo menos entre uma dada molécula e outra espécie química que pode ser outra molécula, formada por um único elemento ou por distintos elementos, ou uma espécie iônica.

Assim, o termo energia é utilizado para explicar que, na transição de uma fase da matéria para outra, as ligações intermoleculares precisam absorver energia para que ocorra quebra da ligação e, conseqüentemente, essa transição.

A quantidade de energia absorvida depende da transição que deve acontecer do tipo de interação intermolecular que existe entre as espécies. Por exemplo, pode-se dizer que na transição da fase líquida para a fase gasosa, a quantidade de energia que deve ser absorvida é muito maior que na transição da fase sólida para a fase líquida. Ou ainda que a quantidade de energia necessária em substâncias que possuem interações do tipo ligações de hidrogênio é maior que a quantidade de energia necessária em substâncias com interações do tipo dipolo-dipolo ou dipolo permanente-dipolo induzido.

Como o termo energia é usado para explicar as diferentes quantidades necessárias ao rompimento das ligações intermoleculares, esse também pode ser utilizado na explicação dos diferentes pontos de fusão e ebulição que cada substância apresenta, portanto, quanto maior as interações entre determinadas espécies maior a quantidade de energia necessária ao rompimento dessas ligações e, conseqüentemente, maior o ponto de fusão e ebulição.

Em cada transição de fase, a quantificação da energia pode ser feita utilizando a variável termodinâmica entalpia, que será específica para cada tipo de transição e terá um maior ou menor valor, dependendo da transição que está ocorrendo.

O termo energia também é utilizado para explicar a volatilidade ou pressão de vapor das substâncias químicas, pois quanto maior a energia das ligações intermoleculares entre as moléculas que compõe uma dada espécie menor será sua capacidade em se volatilizar e, portanto, menor será a sua pressão de vapor.

3.2.5 O termo energia no conteúdo de soluções

As soluções constituem uma mistura homogênea de duas ou mais substâncias em uma única fase. Nesta definição, parece não ser necessário utilizar o termo energia para explicar como se forma uma solução. Mas, a formação de uma solução somente ocorre porque há interação entre duas ou mais espécies diferentes. Essa formação não seria possível se as ligações intermoleculares de uma mesma espécie fossem rompidas, para misturar-se com outras substâncias, dando origem a outras interações intermoleculares entre as diferentes espécies químicas em solução. Nessa formação, a solução resultante pode ter saldo líquido de energia (entalpia) positivo (formação de solução endotérmica) ou saldo líquido de energia negativo (formação de solução exotérmica). Portanto, o termo energia é utilizado para especificar o saldo líquido da interação entre as espécies químicas durante a formação da solução, sendo quantificado pela variável termodinâmica entalpia. Caso não haja saldo líquido de energia a solução formada é chamada de ideal.

Analisando a formação de uma solução, o termo energia é utilizado para designar tanto o caráter espontâneo da solução quanto a entropia na sua formação. Nessa análise, o termo energia está intrínseco ao caráter espontâneo da solução porque especifica que se a formação é espontânea é porque não há nenhuma absorção de energia extra de fora do sistema.

Para a solubilidade de uma solução, o termo energia também é utilizado para especificar que na maioria dos solutos sólidos iônicos o aumento da temperatura evidencia um aumento da solubilidade das espécies. Este aumento ocorre porque a energia fornecida ao sistema como calor é utilizada para romper as interações eletrostáticas (no caso de substâncias iônicas) entre as espécies possibilitando a formação de espécies iônicas e, conseqüentemente, uma melhor interação entre as espécies do solvente. Cada sólido iônico possui interações eletrostáticas específicas entre as espécies que o constituem, ou seja, com diferentes energias de rede, que podem ou não, precisar absorver energia para que se torne mais solúvel. Além disso, no entendimento da solubilidade na formação de uma solução, o termo energia é utilizado para especificar que espécies gasosas têm sua solubilidade diminuída quando a temperatura aumenta. Um aumento da temperatura significa um aumento da energia

cinética das espécies gasosas fazendo assim, com que essas espécies vençam as forças atrativas que as mantêm unidas e, assim possam escapar da solução.

Cada solução representa um sistema onde coexistem espécies que se denominam por solutos e outras denominadas solventes. Os solventes se caracterizam pelas espécies em maior quantidade e os solutos as espécies em menor quantidade. Como existem diferentes interações intermoleculares entre essas espécies, cada sistema solução apresenta diferentes valores em suas propriedades físicas como, por exemplo, ponto de fusão e ponto de ebulição. Essas propriedades são chamadas de propriedades coligativas porque dependem apenas das quantidades (concentração) relativas de soluto e solvente e não do tipo ou identidade dessas partículas. As propriedades coligativas compreendem os seguintes fenômenos físicos:

- o abaixamento da pressão de vapor;
- a diminuição do ponto de congelamento;
- a elevação do ponto de ebulição;
- a osmose.

O termo energia é utilizado para entender porque um soluto abaixa a pressão de vapor de uma solução.

Assim, um solvente qualquer possui certa tendência natural para deixar de interagir com as moléculas na fase líquida e passar a fase gasosa. Pode-se dizer que tal tendência é a energia livre que as espécies químicas possuem para “escapar” do estado em que se encontram. A tendência de escape ou a energia livre diminui, a partir do instante em que outras espécies (solutos) se encontram interagindo com as espécies solventes. Este aumento na pressão de vapor e, conseqüentemente, no ponto de ebulição e no abaixamento do ponto de congelamento advém do fato de que quando um solvente está em contato com outras espécies (solutos) novas interações intermoleculares são formadas o que requer diferentes quantidades de energia na separação das espécies que constituem o sistema.

Já a osmose consiste na passagem de solvente através de uma membrana porosa de uma solução diluída para uma solução de maior concentração. Neste processo o termo energia é utilizado para explicar que a passagem somente é possível porque as

moléculas da solução mais diluída (ou solvente puro) possuem energia livre maior que as moléculas da solução mais concentrada.

3.2.6 O termo energia no conteúdo de gases

O estudo das propriedades dos gases é de grande relevância no estudo da química por se tratar de um dos estados físicos da matéria que tem suas propriedades semelhantes, independente do tipo de gás, e também por ser uma forma física da matéria muito utilizada no estudo das transformações químicas. Para esse estado pôde-se elaborar leis e teorias que determinam - com boa concordância com dados experimentais - valores de temperatura, pressão ou volume de diferentes espécies gasosas através de uma única equação.

O termo energia é utilizado na discussão da teoria cinético-molecular que é o modelo utilizado para descrever o comportamento das espécies nesse estado físico da matéria. Esse modelo afirma que os gases consistem em um grande número de moléculas que estão em movimento contínuo e aleatório, onde o volume de todas as moléculas do gás, comparado ao recipiente que os contém, é desprezível.

Na teoria cinético-molecular, o termo energia é utilizado para especificar que todos os gases, como estão em movimento, possuem determinada quantidade de energia cinética advinda desse movimento. Essa energia pode ser transferida entre as moléculas durante as colisões, mas a energia cinética média das moléculas não varia com o passar do tempo, desde que a temperatura se mantenha constante.

A evidência de que nem todos os gases, contidos num mesmo volume, possuem a mesma energia cinética advém do fato de que nem todas as espécies descrevem o mesmo movimento ou a mesma velocidade nesse volume. Essa descrição da energia cinética pode ser ilustrada através da figura que representa a fração de espécies gasosas que possuem diferentes energias cinéticas em diferentes valores de temperatura, utilizamos o gás oxigênio (O_2) para ilustrar este fenômeno na Figura 2.

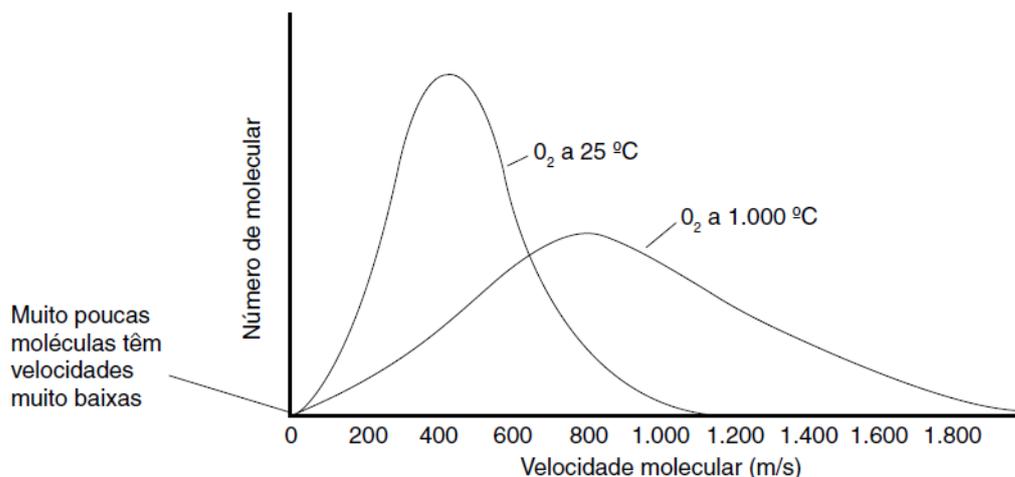


Figura 2 - Distribuição das velocidades moleculares.
Fonte: Silva Júnior e Pimentel, 2009

Ainda na descrição dessa teoria o termo energia é utilizado para especificar a energia cinética média das espécies que é proporcional à temperatura e pode ser obtido pela equação abaixo:

$$\bar{e}_c = \frac{3R}{2N_A}(T) \quad \text{eq. 8}$$

Onde **R** é a constante universal dos gases, **T** a temperatura e **N_A** o número de Avogadro.

3.2.7 O termo energia no conteúdo de cinética química

A ocorrência das reações químicas leva diferentes intervalos de tempo, que podem depender de fatores como a afinidade entre as espécies reagentes, pressão ou temperatura em que se encontram essas espécies.

O conteúdo químico que busca entender com que rapidez as reações ocorrem é denominado de cinética química. Neste, o termo energia é utilizado implicitamente para justificar o aumento da velocidade da reação quando a temperatura aumenta. Quer dizer que o aumento de velocidade se dá pelo fato de que um aumento de temperatura sobre

um sistema reacional é um fornecimento de energia em forma de calor, que faz, dependendo do estado em que as espécies encontram-se, romper com as interações intermoleculares, possibilitando uma maior interação entre duas ou mais espécies diferentes que participam da reação, aumentando os choques efetivos entre os reagentes para formação dos produtos.

O termo energia de ativação é usado no estudo da reatividade química e se caracteriza como a energia mínima que as espécies reagentes necessitam para que possam formar os produtos. Se refere ao quão ligadas quimicamente se encontram as espécies em cada reagente, e a possibilidade de vencer as forças atrativas que mantêm essas espécies unidas, seja na quebra de ligações intermoleculares ou intramoleculares. O fato da energia se atrelar a temperatura é que, como explicado anteriormente, quanto maior a temperatura maior a energia fornecida para que as espécies vençam a essa barreira energética e assim possam reagir.

O termo energia na cinética química ainda é utilizado para explicar que o catalisador promove um caminho alternativo (na formação do produto) que possui menor energia de ativação.

3.2.8 O termo energia no conteúdo de equilíbrio químico

Toda reação atinge um estado em que as quantidades dos reagentes não mais variam. Este estado é chamado de equilíbrio químico. No estudo deste conteúdo, o termo energia é utilizado para especificar a grandeza parcial molar (ou energia livre de Gibbs parcial molar, G_i) de uma substância i . Essa grandeza representa a energia de uma parte específica das espécies na mistura reacional. Assim, a energia de Gibbs total da mistura reacional, para cada uma das espécies, pode ser obtida pela equação 9:

$$G_T = n_A G_A + n_B G_B \quad \text{eq. 9}$$

Essa grandeza, a energia de Gibbs parcial molar, é extremamente importante em química e tem um nome próprio, o ‘potencial químico’. Representa a energia livre

molar de Gibbs ou em sentido amplo é considerado como a ‘força motriz’ responsável pela ‘difusão’ de espécies como átomos, moléculas, íons, radicais, entre outras, fenômeno imprescindível a ocorrência de reações químicas.

4 A energia sendo aplicada no estudo de reações químicas

Os textos apresentados neste capítulo se encontram no formato independente, ou seja, divididos em duas partes (artigo 1 e artigo 2) , não apenas para facilitar a retirada deste para sua utilização em outras situações dos próximos capítulos desta tese, como também para fins de publicação em periódicos na seção de educação ou ensino de Química, como também, explicam, os aspectos energéticos dos dois experimentos utilizados no ciclo de estudos desta tese, o qual será apresentado no capítulo cinco, com alunos de Graduação em Química.

4.1 ARTIGO 1 - UTILIZANDO CONCEITOS TERMODINÂMICOS NA EXPLICAÇÃO DE UMA REAÇÃO QUÍMICA

Resumo: O conceito de energia é à base do entendimento da termodinâmica química que por sua vez é a base de entendimento do caráter espontâneo ou não espontâneo de uma reação química. Este trabalho apresenta como proposta de ensino o uso de uma reação química para abordar os conceitos básicos do conteúdo de termodinâmica química em um curso de Química Geral. As variáveis termodinâmicas – entropia e entalpia – foram calculadas para a reação química do alumínio com o ácido clorídrico. O conceito de energia foi usado para explicar os fenômenos físicos e químicos que ocorrem nessa reação, desde sua etapa inicial até a formação dos produtos. Foi realizada uma discussão sobre espontaneidade dessa reação a partir dos resultados obtidos de entropia total.

Palavras Chave: Energia, Reação Química, Entalpia, Entropia e Energia de Gibbs.

Introdução

O desenvolvimento da termodinâmica teve contribuições de diferentes pesquisadores. Personagens como Anders Celsius (1701-1744), Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1836), Benoit Paul Émile Clapeyron (1799-1864), James Prescott Joule (1818-1889), Julius Robert von Mayer (1814-1878), William Thomson (1824-1907) dentre outros, trouxeram de alguma forma as primeiras idéias da evolução de conceitos intrínsecos a uma grande parte dos fenômenos térmicos.

Apesar da contribuição de todos esses pesquisadores, o enunciado da 1ª e 2ª lei da termodinâmica, como é conhecido atualmente, foi dado por R. Clausius (1822-1888), o qual introduziu a função energia interna e entropia, respectivamente para cada lei.

O desenvolvimento posterior da termodinâmica se deve ao norte-americano W. Gibbs (1839-1903) que implantou a condição de equilíbrio aos sistemas termodinâmicos, introduzindo a chamada função de Gibbs ou energia livre (GIL, 2003).

Até a revolução industrial, a atividade humana foi demarcada pelas limitações da energia. Porém, a modificação foi ampla quando o homem descobriu como explorar a energia e transformar o calor em trabalho mecânico. Nasceu, assim um dos capítulos mais envolventes da física - a Termodinâmica - primordialmente voltada para o estudo das máquinas térmicas e, no decorrer do seu desenvolvimento, para o estudo dos sistemas em equilíbrio.

Com o primeiro princípio da termodinâmica, o termo energia passou a ser bastante utilizado no vocabulário científico (OLIVEIRA e SANTOS, 1998). Esse conceito tem sua formalização básica na física, no entanto a química, a biologia e até a psicologia fazem uso do termo para explicar situações características de cada uma dessas ciências (FERREIRA NETO e JAFELICE, 2007).

Pesquisadores na área de ensino de ciências (BEM-ZVI, 1999; SICHAU, 2000) consideram a física térmica, especialmente no que se refere ao conceito de energia e leis da termodinâmica, como sendo um tópico “impopular” entre os alunos e difícil de trabalhar pelos professores. Isto ocorre porque, na maioria das vezes, os fenômenos em estudo são descritos em termos de ferramentas matemáticas para exprimir essas leis. (COVOLAN e SILVA, 2005).

Atribuir significado àquele que estuda química não é tarefa fácil e requer do professor um esforço significativo no processo de ensino-aprendizagem dessa ciência.

O conceito de energia é a base do entendimento da termodinâmica química que por sua vez é a base de entendimento do caráter espontâneo ou não espontâneo de uma reação química.

Um dos problemas sobre as idéias dos alunos no estudo das reações químicas refere-se às descrições macroscópicas do fenômeno fundamentado em uma concepção contínua da matéria sem atribuir significado conceitual a reação em estudo (JUSTI e RUAS, 1997).

Do ponto de vista conceitual, o difícil entendimento dado aos conceitos abordados na termodinâmica química por alunos de qualquer nível de ensino, se dá pelo fato do ensino fragmentado que esse conteúdo recebe (JACQUES e MILARÉ, 2007; AMARAL e MORTIMER, 2004; SILVA et. al, 2007).

Diversos pesquisadores e professores das ciências naturais afirmam que as atividades experimentais permeiam as relações de ensino-aprendizagem, estimulando o interesse dos alunos em sala de aula e o engajamento em atividades subsequentes (LABURÚ, 2006; GIORDAN, 1999). Assim, há a importância de planejar experimentos de modo a estreitar o elo entre motivação e aprendizagem, esperando dos alunos um envolvimento mais vívido e, provavelmente, a evolução de termos conceituais (FRANCISCO JUNIOR, FERREIRA e HARTWIG, 2008). A termodinâmica química, conteúdo de difícil entendimento tanto no curso de Química Geral como Físico-Química, tem, na maioria das vezes, seus conceitos dissociados de situações experimentais simples realizadas até mesmo no laboratório de química geral.

A termodinâmica da reação química: o alumínio na solução de ácido clorídrico

Este item da tese, apresenta-se como proposta de ensino o uso de uma reação química para abordar os conceitos básicos do conteúdo de termodinâmica química em um curso de Química Geral. Trata-se da reação entre um anel da lata de refrigerante

(peça constituída de alumínio) com uma solução de ácido clorídrico com concentração 6 mol.L^{-1} em um tubo de ensaio (COSTA, et. al.; 2006).

Para realizar esta reação deve-se colocar o anel de Alumínio no tubo de ensaio e, em seguida, adicionar uma quantidade de ácido suficiente para emergir a peça metálica.

O alumínio é um metal que pertence ao grupo 13 da tabela periódica, obtido a partir da bauxita, que pode ser AlO.OH , $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Al}(\text{OH}_3).(\text{Al}_2\text{O}_3).3\text{H}_2\text{O}$. Este metal se caracteriza por ser anfótero, pois reage com ácidos e bases. Os maiores produtores desse metal são os Estados Unidos, Rússia, Canadá, Austrália, Brasil e China. Dentre suas aplicações, seja em forma pura ou como ligas, podemos citar o uso como metais estruturais em aviões, navios, automóveis, trocadores de calor e na construção civil (portas, janelas, divisórias e etc). Além disso, também podem ser utilizados em recipientes diversos, tais como embalagens para bebidas, tubos para creme dentais, papel alumínio, na fabricação de cabos elétricos. Neste caso, ao tomar por base o peso, eles conduzem duas vezes mais que o cobre (LEE, 2000).

Ao analisar os aspectos energéticos, um sistema químico pode ser quantificado por quatro funções termodinâmicas macroscópicas, são elas:

- a energia interna (U) que representa a soma de todas as energias que o sistema possui;
- a entalpia (H) que quantifica a energia absorvida ou desprendida, em forma de calor, por uma reação química;
- a entropia (S) que mede o grau de aleatoriedade ou desordem das espécies químicas que constituem o sistema;
- a energia livre de Gibbs (G) que representa o trabalho útil máximo que se pode obter em uma transformação química efetuada a temperatura e pressão constante.

Todas essas funções termodinâmicas são chamadas de funções de estado, que representa uma propriedade do sistema em estudo, cujo valor depende somente do estado atual do sistema e independe da maneira como esse estado foi atingido (CRUZ e SILVA JÚNIOR, 2010).

Todo recipiente contendo uma ou mais espécies químicas, interagindo entre si ou não, pode ser considerado um sistema em estudo, todas as partes ao redor do sistema em estudo, literalmente, podem ser consideradas como a vizinhança (BROWN, et. al., 2005 e BRADY, RUSSEL e HOLUM 2002). A interação entre uma determinada

quantidade de alumínio metálico e uma solução de ácido clorídrico pode ser considerada como um sistema químico em estudo.

Para estudarmos os conceitos da termodinâmica química nesse sistema podemos caracterizá-lo como um sistema aberto. Um sistema aberto se diferencia de um sistema isolado ou fechado por poder trocar energia e matéria com as vizinhanças.

Cada sistema químico, como o da reação entre o alumínio e o ácido clorídrico, armazena energia advinda do movimento de rotação, translação e vibração das espécies que o constituem (ATKINS e JONES, 2001). Essa energia se caracteriza por ser o somatório de energia cinética e potencial de todas as espécies e é designada pela termodinâmica química como energia interna, equação 9.

$$U = E_C + E_P \quad \text{eq. 9}$$

Como a energia individual de cada uma das espécies que compõem o sistema não pode ser determinada a nível macroscópico, podemos apenas encontrar a sua variação (ΔU). Como a energia que compõe o sistema da reação química entre o alumínio e a solução de ácido clorídrico pode ser transferida para a vizinhança e também da vizinhança de volta ao sistema nas formas de trabalho e calor, pode-se designar que a variação total de energia do sistema em estudo é dada pela relação (ANACLETO e ANACLETO, 2007):

$$\Delta U = Q + W \quad \text{eq. 10}$$

Essa relação matemática, que caracteriza a transferência de energia dessa reação para a vizinhança e também que a energia pode ser convertida de uma forma para outra, valida o enunciado da primeira lei da termodinâmica, apresentado a seguir:

A energia pode se converter de uma forma em outra, mas a quantidade total de energia permanece constante (EBBING, 1998)

Na reação em estudo, o calor pode ser identificado pela evidência macroscópica do aumento de temperatura no recipiente em que as espécies se encontram. Deve-se

ficar claro que o conceito de calor caracteriza apenas a energia em trânsito no sistema, sendo definido como uma transferência de energia devida à diferença de temperatura entre o sistema e as vizinhanças (ATKINS, 2003). Essa diferença de temperatura na reação entre o alumínio e o ácido clorídrico, utilizando um tubo de ensaio de vidro, somente é perceptível porque as paredes do recipiente são diatérmicas, ou seja, permite a passagem de energia, o que as diferencia das paredes adiabáticas que não permitem a passagem de energia, mesmo que haja uma diferença de temperatura.

O saldo líquido de energia identificado pelo aquecimento do recipiente em que se processa o experimento, caracterizando a reação como exotérmica (reação que libera energia para a vizinhança), é proveniente da quebra das ligações químicas (entre os átomos de hidrogênio e cloro nas moléculas de HCl existentes e das ligações metálicas do alumínio no anel da lata de bebida utilizado), resultando em saldo líquido de energia, não necessário a reação, que é transferido para a vizinhança do sistema em estudo.

Durante a reação, evidencia-se macroscopicamente o borbulhamento da solução, caracterizando a liberação de gás hidrogênio, segundo a foto apresentada na Figura 3.

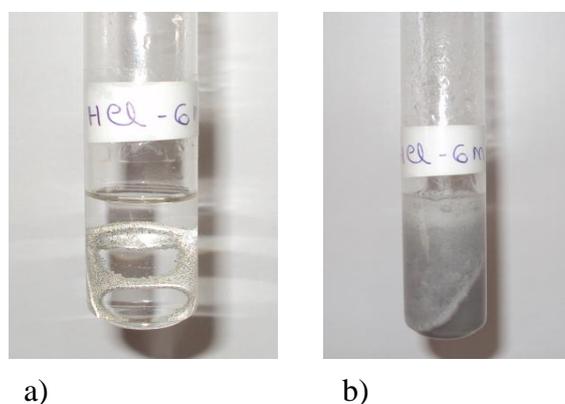


Figura 3 - Foto da reação química do alumínio com o ácido clorídrico (6 mol/L) (a) início da reação (b) fim da reação.

De uma forma geral, essa reação pode ocorrer em condições normais ambiente de temperatura e pressão que se referem à temperatura de 25°C (mais precisamente 298,15 K) e à pressão de 1 bar. A produção do gás hidrogênio na reação possibilita a realização de trabalho de expansão do sistema para a vizinhança, pois o gás em expansão na reação realiza trabalho do tipo $p \cdot \Delta V$ (pressão x variação do volume) na

atmosfera. Como o sistema em estudo transfere energia em forma de calor e trabalho para a vizinhança, a energia interna do mesmo diminui.

Como na reação em estudo ou em outras que estudamos no laboratório de Química Geral ocorrem à pressão constante, o calor trocado durante a reação pode ser quantificado pela entalpia (SILVA, 2005), ou seja:

$$\Delta H = q \quad \text{eq. 11}$$

Isto ocorre porque o sistema em estudo está em um recipiente aberto, onde necessariamente a pressão do sistema é igual à pressão externa, ou seja, a pressão atmosférica.

A grandeza termodinâmica entalpia foi definida por Gibbs (HAASE 1971 apud SILVA, 2005) pela expressão:

$$H = U + pV \quad \text{eq. 12}$$

A energia interna desse sistema pode ser obtida pela diferença entre a energia que deixa o sistema na forma de calor (entalpia, ΔH) e a energia que deixa o sistema como trabalho de expansão ($p \cdot \Delta V$):

$$\Delta_r U = \Delta_r H - p\Delta V \quad \text{eq. 13}$$

O que caracteriza mais uma vez a primeira lei da termodinâmica, pois toda energia liberada pelo sistema foi em forma de calor e de trabalho (expansão do gás), para a vizinhança.

O valor da energia liberada durante a reação química em estudo pode ser obtido aplicando a lei de Hess e consultando valores tabelados de entalpia padrão de formação para cada uma das espécies presente, tanto na etapa inicial (reagentes) quanto na etapa final (produtos).

Na Tabela 9 são apresentados os valores de entalpia padrão para as substâncias em estudo obtidos da referência (ATKINS e JONES, 2001).

Tabela 9 - Valores de entalpia padrão de formação a 298,15 K.

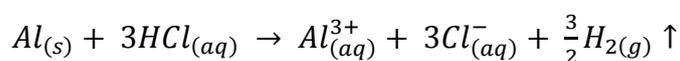
Substância	Fórmula Representacional	Variação de entalpia padrão de formação (kJ.mol⁻¹)
Alumínio (sólido)	Al	0
Ácido Clorídrico (aquoso)	HCl	-167,16
Íon Alumínio (aquoso)	Al ³⁺	-524,7
Íon Cloreto	Cl ⁻	-167,16
Gás Hidrogênio	H ₂	0

Alumínio e hidrogênio são elementos no estado padrão cuja, variação de entalpia padrão de formação, por definição, é zero. Para encontrar o valor da entalpia padrão de reação basta combinar os valores das entalpias padrão de formação, segundo a equação abaixo:

$$\Delta_r H^\circ = \sum n \Delta_f H^\circ(\text{produtos}) - \sum n \Delta_f H^\circ(\text{reagentes}) \quad \text{eq. 14}$$

Nesta expressão, n representa o coeficiente estequiométrico de cada reagente e produto na reação química e o símbolo somatório (Σ) representa a soma da entalpia padrão de formação em cada um dos lados da reação. A partir daqui, propõe-se um cálculo para essa reação baseado na análise de que todos os cloretos são solúveis, que foi de fato o identificado no experimento realizado.

No caso da reação em estudo, a representação química é expressa como:



A partir desta representação (com esses coeficientes estequiométricos) e dos dados termodinâmicos da tabela 9, a variação de entalpia para a reação é a mesma que a quantidade de energia liberada apenas pela formação do íon alumínio, ou seja:

$$\Delta_{\text{sist}}H^{\circ} = \left[\Delta_f H^{\circ}(\text{Al}_{(aq)}^{3+}) + 3\Delta_f H^{\circ}(\text{Cl}_{(aq)}^{-}) + \frac{3}{2}\Delta_f H^{\circ}(\text{H}_{2(g)}) \right] - \left[\Delta_f H^{\circ}(\text{Al}_{(s)}) + \Delta_f H^{\circ}(\text{HCl}_{(g)}) \right] \quad \text{eq.15}$$

Assim, ao substituir os valores da Tabela 9 na equação anterior, o valor obtido na variação de entalpia é o mesmo que o da variação de entalpia padrão de formação do íon alumínio. Então a variação de entalpia para o sistema será:

$$\Delta_{\text{sist}}H^{\circ} = -524,7 \text{ kJ. mol}^{-1}$$

O valor negativo da variação de entalpia do sistema indica que energia está sendo liberada do sistema para a vizinhança e não que a energia é negativa.

Utilizando os valores de entropia absoluta da Tabela 10 podemos encontrar a variação de Entropia da reação (sistema):

Tabela 10 - Valores de entropia absoluta a 298,15 K

Substância	Fórmula Representacional	Entropia a 298,15 K (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)
Alumínio (sólido)	Al	28,33
Ácido Clorídrico (aquoso)	HCl	56,5
Íon Alumínio (aquoso)	Al ³⁺	-321,7
Íon Cloreto	Cl ⁻	56,5

Nesta linha de raciocínio, a partir do cálculo da variação de entalpia, a variação de entropia do sistema, usando os dados da Tabela 10, será:

$$\Delta_{\text{sist}}S^{\circ} = \left\{ \left[S^{\circ}(\text{Al}_{(aq)}^{3+}) + 3S^{\circ}(\text{Cl}_{(aq)}^{-}) + \frac{3}{2}S^{\circ}(\text{H}_{2(g)}) \right] - \left[S^{\circ}(\text{Al}_{(s)}) + S^{\circ}(\text{HCl}_{(g)}) \right] \right\} \quad \text{eq. 16}$$

$$\Delta_{\text{sist}}S^{\circ} = \left\{ \left[(-321,7) + 3 \times (56,5) + \frac{3}{2} (130,68) \right] - [(28,33) + (56,5)] \right\}$$

$$\Delta_{\text{sist}}S^{\circ} = \{ [43,82] - [84,83] \} = -41,01 \text{ J. K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta_{\text{sist}}S^{\circ} = -0,04101 \text{ kJ. K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Determinando-se a variação de entropia total, a partir dos dados de entropia e variação de entalpia calculados acima, tem-se

$$\Delta_{Total}S = \Delta_{sist}S - \frac{\Delta_{sist}H}{T} \quad \text{eq. 17}$$

$$\Delta_{Total}S = -0,04101 - \frac{(-524,7)}{298,15} = 1,72 \text{ kJ. K}^{-1}. \text{ mol}^{-1}$$

O aumento da entropia total caracteriza a reação como espontânea.

O caráter espontâneo da reação

A variação de entalpia padrão da reação por si só não é suficiente para podermos avaliar se uma dada reação irá ocorrer espontaneamente, isto só será possível se a variação da entalpia, a pressão e entropia constantes, menor que zero, ou seja, $(dH)_{p,s} < 0$ (ATKINS e PAULA, 2006). O fato de existir várias reações químicas exotérmicas com elevada constante de equilíbrio, experimentalmente, também evidenciarmos outras reações químicas endotérmicas, espontâneas, que ocorrem até que praticamente todos os reagentes sejam consumidos.

A análise do critério de espontaneidade está, muitas vezes, atrelada aos conceitos de irreversibilidade. Uma possibilidade para o não entendimento deste conceito pelos alunos de Química pode ser o fato de que, alguns livros de Química Geral utilizam como exemplos para explicar a reversibilidade e a irreversibilidade somente processos físicos ao invés de transformações químicas (BRADY RUSSEL E HOLUM, 2002, KOTZ e TREICHEL, 2005, BROWN, et. al. 2005 e MAHAN MYERS, 1995).

Retornando a reação entre o alumínio metálico e o ácido clorídrico, os conceitos de espontaneidade e irreversibilidade podem ser facilmente trabalhados pela análise macroscópica do fenômeno em estudo.

O caráter espontâneo fica facilmente evidenciado pelo desenvolvimento rápido da reação quando as primeiras gotículas do ácido entram em contato com o alumínio metálico. Isto ocorre pelo fato da forte atração eletrostática que os átomos de cloro, presente nas moléculas do ácido, exercem pelos átomos do metal (QUÍLEZ, 2009).

O entendimento da irreversibilidade do processo em estudo se caracteriza do ponto de vista atômico-molecular, pelo fato dos produtos formados não possuírem afinidade química entre si para que o sistema se reverta ao estado inicial. Isto ocorre porque as espécies formadas (gás hidrogênio, cuja ligação é covalente, e cloreto de alumínio, que é um composto iônico) são altamente estáveis e possuem altos valores de energia de ligação para que, quando em contato no decorrer da reação, o sistema não seja revertido.

A energia livre de Gibbs é útil porque requer a constância de variáveis facilmente controladas (T e p). Essa variável termodinâmica ($\Delta_r G^\circ$) pode ser utilizada para quantificar e analisar o critério de espontaneidade. Entretanto, para esta análise podemos utilizar os valores de entalpia dos dados tabelados (Tabelas 9 e 10) para encontrar o valor da energia livre da reação.

Considerações Finais

A partir da abordagem proposta para esta reação, a qual pode ser realizada experimentalmente numa disciplina de química geral, procurou-se evidenciar a relação dos conceitos da termodinâmica química em meio a um fenômeno químico. Dessa forma, espera-se que seja possível dar significado ao estudo da termodinâmica química para o curso de química geral, uma vez que este estudo tem, atualmente, um ensino fragmentado dos conceitos termodinâmicos nas transformações químicas, impossibilitando alunos do nível superior de ensino de compreender a importância das formas de energia em meio a essas transformações. Desta forma, este artigo também pode ser utilizado como exemplo para caracterizar, a partir de valores termodinâmicos tabelados em livros de química geral, outras reações químicas constantemente utilizadas em aulas de química experimental. Acreditamos nesta proposta pelo fato de que

atualmente não só no nível superior de ensino, mas também no nível médio, o conteúdo de termodinâmica química é ensinado sem abordar (ou sem aplicar) seus conceitos a simples transformações químicas como uma reação química.

Referências

- AMARAL, E. M. R. E MORTIMER, E. F., Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química. **Educación Química**. n. 15, v. 3 p. 60 – 75, 2004.
- ANACLETO, J. e ANACLETO, A.; Sobre a primeira lei da termodinâmica. As diferenciais do calor e do trabalho. **Química Nova**. v. 30, n. 2, p. 488 – 490, 2007.
- ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de Química - questionando a vida moderna e o meio ambiente. Trad. Ignez Caracelli et al. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- ATKINS, P.; Físico-Química: fundamentos. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- ATKINS, P., PAULA, J. **Atkins' Physical Chemistry**. 8ed. Nova York: Oxford Press. 2006
- BARROS, H. L. C., Processos Endotérmicos e Exotérmicos: Uma Visão Atômico-Molecular. **Química Nova na Escola**. v. 31, n. 04, p. 241 – 245, 2009.
- BEN-ZVI, R. Non-science oriented students and the second law of thermodynamics. **International Journal of Science Education**, London, v. 21, n.12, p. 1251-1267, 1999.
- BRADY, J. E.; RUSSEL, J. W.; HOLUM, J. R. **Química: a matéria e suas transformações**. Trad. J. A. Souza. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. v 1.
- _____. **Química: a matéria e suas transformações**. Trad. J. A. Souza. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2002. v. 2.
- BROWN, T. L. et. al. **Química: a ciência central**. Trad. R. M. Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.
- COSTA, T. S. et. al. Experimentos com alumínio. **Química Nova na Escola**. n. 23, p. 38 – 40, 2006.
- COVOLAN, S. C. T. e SILVA, D. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.
- CRUZ, F. N. e SILVA JUNIOR, C. N.; Termoquímica e equilíbrio. 1º ed. Natal: EDUFRRN, 2010. v. 10. 340 p.

EBBING, D. D. **Química geral**. Trad. Macedo H. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. v. 1

FERREIRA NETO, J. e JAFELICE, L. C. **Energia**, 1° ed. Natal: EDUFRN, 2007.

FRANCISCO Jr, W. E.; FERREIRA, L. H.; e HARTWIG, D. R.; Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química Nova na Escola**. n. 30, p. 34 – 41, 2008.

GIL, E. M. Temas de historia de la física. Havana: editorial Pueblo y Educación:.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**. n.10, p. 43-49, 1999.

HAASE, R. Survey of fundamental laws. Em: JOST, W. (Ed.). Physical chemistry: An advanced treatise. Nova Iorque: Academic Press, 1971. v. 1.

JACQUES, V. E MILARÉ, T. O conceito de energia em um livro didático de oitava série do ensino fundamental. IN: VI Encontro Nacional de Pesquisadores em educação em Ciências, 9, 2007, Florianópolis. Disponível em <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/CR2/p443.pdf>

JUSTI, R. S. e RUAS, R. M. Aprendizagem de química reprodução de pedaços isolados de conhecimento? **Química Nova na Escola**. n. 5, p. 24-27, 1997.

KOTZ, J. C. e TREICHEL Jr., P. M. **Química Geral 2 e reações químicas**. Trad. F. M. Vichi. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005, v. 2.

LABURÚ, C.E. Fundamentos para um experimento cativante. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 382-404, 2006.

LEE, J. D., **Química inorgânica não tão concisa**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 2000.

MAHAN, B. M. e MYERS, R. J., **Química um curso universitário**. Trad. Araki, K. 4. ed. São Paulo: editora Edgard Blücher Ltda., 1995.

OLIVEIRA, R. J. e SANTOS, J. M. A energia e a química. **Química Nova na Escola**. n. 8, p. 19-22, 1998.

QUÍLEZ, JUAN., Análisis de los errores que presentan los libros de texto universistarios de química general al tratar La energia libre de Gibbs. **Enseñanza de las ciencias**. v. 27, n. 3, p. 317 – 330. 2009.

SICHAU, C. Practising helps: thermodynamics, history, and experiment. **Science Education**, New York, v. 9, p. 389-398, 2000.

SILVA, J. L. P. B., Por que não estudar entalpia no ensino médio. **Química Nova na Escola**. n. 22, p. 22 – 25, 2005.

SILVA, S. M. et. al.; Concepções alternativas de calouros de química para os conceitos de termodinâmica e equilíbrio químico. IN: VI Encontro Nacional de Pesquisadores em educação em Ciências, 6, 2007, Florianópolis. Disponível em <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/CR2/p549.pdf> acesso em 12 de maio de 2010

4.2 ARTIGO 2 - USO DO CONCEITO DE ENERGIA NA EXPLICAÇÃO DE UMA REAÇÃO DE DIFUSÃO DE GASES.

Resumo: O presente trabalho foi desenvolvido para auxiliar o ensino-aprendizagem da termodinâmica química, usando o conceito de energia, em meio às explicações de sistemas atômico-moleculares, para possibilitar a formação da abstração necessária ao entendimento de fenômenos químicos. Para isto foi feito o uso desse conceito em meio a outros conteúdos de química geral e discutidos as formas de energia utilizadas na termodinâmica química para caracterizar o sistema em estudo. A reação discutida, realizada em aulas experimentais de Química Geral, é a reação de difusão entre o ácido clorídrico e a amônia em um tubo de vidro fechado. A partir dos resultados obtidos de entalpia, entropia e energia livre, foi realizada uma discussão sobre espontaneidade e variação no grau de liberdade do sistema.

Palavras-Chave: Difusão, reação, entropia, entalpia, espontânea, energia livre de Gibbs

Introdução

Na perspectiva da construção do conhecimento químico, a organização curricular centraliza seus estudos na natureza das transformações químicas, nas propriedades dos materiais e das substâncias e nos modelos explicativos (BRASIL, 2006). Nesses estudos, a transformação dos materiais e das substâncias são organizados em 3 pontos a saber: a caracterização, os aspectos energéticos e os dinâmicos. No que se refere aos dois últimos, o processo de ensino e aprendizagem foca o interesse na relação macroscópica e microscópica das transformações, na linguagem e outros procedimentos (ALEIXANDRE, 2009). Muitas vezes o eixo das transformações dos materiais e substâncias pode ser abordado por meio de atividades experimentais.

Segundo Giordan e Meleiro (1999) muitos professores de ciências reconhecem que a atividade experimental desperta forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização atribuindo a esta, às vezes, um caráter lúdico essencialmente vinculado

aos sentidos. Porém, a realização de atividades experimentais desarticuladas das fundamentações conceituais não se torna relevante à formação do indivíduo ou tampouco ao desenvolvimento cognitivo deste. Quer dizer, o enfoque experimental é permeado por conceitos químicos, o qual envolve o manuseio e transformação de substâncias nos laboratórios e nas indústrias, quando então dizemos que o trabalho ocorre em nível macroscópico e a busca por explicações da matéria, em nível microscópico (BUENO et. al., 2010).

De certa forma estamos rodeados por diversas reações químicas que se configuram como cotidianas quando, por exemplo, analisamos a queima de um combustível em um motor de um automóvel ou a reação de fotossíntese ou aquelas que evidenciam as transformações, tais como precipitação, mudança de coloração ou difusão. Dentre essas, uma reação de difusão conhecida é a reação do ácido clorídrico (HCl) com a amônia (NH₃), proveniente do hidróxido de amônio (NH₄OH). Essa reação, comumente ilustrada em aulas experimentais de química em diversas instituições de ensino superior brasileira (UFRN, 2009; UFPB, 2008; UFSC, 2006 FACULDADE PIO DÉCIMO, 2005; UNIFACS, 1999;), em livros didáticos do nível superior de ensino (ATKINS, 2002 e PETRUCCI, 2002), já foi objeto de questionamento tanto em provas do vestibular (COMPERVE/UFRN, 2004 e UENP/VESTIBULAR DE VERÃO, 2009) quanto em pesquisas para ilustrar as concepções alternativas de estudantes sobre uma reação química (POZO et. al., 1991).

Uma reação química se caracteriza por ser uma transformação da matéria, na qual ocorrem mudanças qualitativas na composição química de uma ou mais espécies reagentes, resultando em um ou mais produtos. Segundo Rosa e Schnetzler (1998), o estudo das transformações químicas contribui para a compreensão da ocorrência e dos mecanismos que as regem, além de permitir o entendimento de muitos processos que ocorrem em nossas vidas como, por exemplo, o metabolismo, a ação de medicamentos, o cozimento de alimentos, entre outros. Atrelado a esta compreensão, é importante uma descrição adequada das reações químicas que fazem uso de um raciocínio de identidade/transformação, com o reconhecimento do que muda e do que permanece constante na transformação tanto no nível fenomenológico como no atômico-molecular (MORTIMER e MIRANDA, 1995). Assim, como sinaliza (LOPES, 1995), é importante que se compreenda a multiplicidade de fenômenos com que se trabalha em uma reação

sabendo reconhecê-los, descrevê-los e explicá-los com base em modelos científicos ao invés de se prender a classificações mecânicas.

Nesse sentido, pretendemos neste sub-tópico da tese realizar uma descrição dos conceitos envolvidos, à luz do conceito de energia, na tentativa de explicar de forma inter-relacionada os diversos conteúdos químicos necessário ao entendimento de uma reação química de difusão muito utilizada no laboratório de química geral.

Descrevendo o experimento

Para descrevermos os conceitos envolvidos neste experimento vamos fazer as seguintes considerações:

1° - Foram adicionadas dez gotas de cada reagente (HCl (37%) e NH_4OH (98%)) em diferentes chumaços de algodão e, em seguida, colocados na extremidade de um tubo de vidro e imediatamente fechados com rolhas, conforme ilustração a seguir.

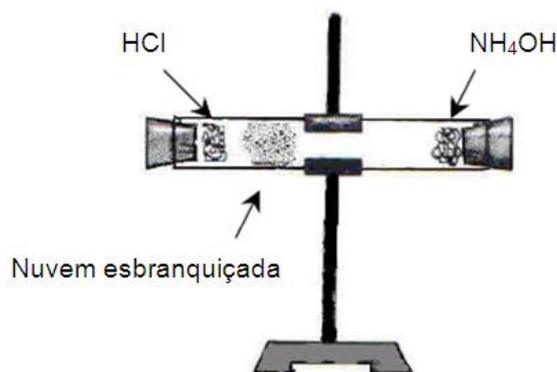


Figura 4 - Ilustração do experimento de difusão.

Considerando os conceitos da termodinâmica química, podemos considerar este sistema reacional como um sistema fechado, no qual somente pode trocar energia com as vizinhanças.

2° - A vizinhança do sistema constitui o entorno no qual se encontra o tubo de vidro.

O experimento do nível fenomenológico ao atômico-molecular

A difusão é um processo que ocorre espontaneamente, porque ocorre um aumento de entropia. Pouco a pouco, cada uma das espécies que constituem líquidos voláteis possui energia suficiente para vencer as forças atrativas que as mantêm unidas com outras espécies do líquido e, conseqüentemente, volatilizar-se.

No processo de difusão, do experimento em estudo, cada molécula de ácido clorídrico consegue vencer as forças de atração porque, a energia que permeia as vizinhanças do sistema é suficiente para que haja trocas de energia entre a vizinhança e as espécies do sistema (princípio da conservação da energia ou primeira lei da termodinâmica), para que cada uma dessas moléculas atinja uma energia cinética suficiente que as leve a se difundir em meio ao tubo.

Uma conseqüência dessa volatilização é o rompimento de ligações intermoleculares em cada uma das espécies, sendo que a energia necessária para romper as ligações intermoleculares será uma quantidade específica que depende do tipo de interação existente entre cada átomo que compõe a molécula. Assim, tanto o ácido clorídrico como a amônia (presente no NH_4OH) se volatilizam como gás. O reagente hidróxido de amônio advém de um equilíbrio entre amônia (NH_3) e água, sendo que a amônia se difunde mais no meio devido a uma menor pressão de vapor.

O processo de volatilização de cada espécie envolve absorção de uma quantidade mínima de energia necessária ao rompimento de ligações intermoleculares da fase em que se encontram. Essa energia é naturalmente menor do que aquela necessária para a quebra de ligações intramoleculares, no momento em que as espécies se encontram e começam a reagir.

A difusão é uma característica importante de uma espécie gasosa. Esse fenômeno tem relação estrita com a massa molar da espécie que se difunde e sua respectiva energia cinética. De forma que quanto maior a massa molar de um gás menor será sua energia cinética. Como a solução de hidróxido de amônio consiste no equilíbrio entre gás amônia e água, a espécie que se volatiliza é a amônia, devido a possuir a maior pressão de vapor. Devido à massa molar do ácido clorídrico ser maior que a da amônia, a velocidade de difusão da amônia é maior que a do ácido clorídrico e a reação se processa muito mais próxima da extremidade do tubo onde se encontra o ácido do que onde se encontra a amônia. Vale ressaltar que durante a formação da nuvem

esbranquiçada de cloreto de amônio (NH_4Cl), ocorre diminuição da pressão dentro do tubo, pois algumas das espécies que antes se encontravam na fase gasosa já não se encontram mais.

Para explicar o que acontece durante a difusão, pode-se utilizar a teoria cinética molecular que afirma que os gases consistem em um grande número de moléculas que estão em movimento contínuo e aleatório, onde se podem desprezar as forças atrativas e repulsivas existentes. Durante esse movimento, as espécies podem colidir elasticamente e transferir energia de uma para outra, mantendo conservada a energia cinética média das moléculas desde que essa temperatura também seja constante. Como a energia cinética média das espécies é proporcional à temperatura, um aumento de temperatura significa um ganho de energia em forma de calor, levando ao aumento da energia cinética média das moléculas do sistema em estudo.

Quando ambas as espécies que constituem o sistema se difundem e se encontram próximas a extremidade com o chumaço embebido em ácido clorídrico, a colisão agora pode acontecer não só entre uma mesma espécie, mas também entre uma espécie proveniente do ácido clorídrico e uma espécie proveniente da amônia. Essas colisões podem ser efetivas, quando colidem favoravelmente à formação do produto da reação, ou não efetivas, quando não colidem favoravelmente à formação da reação. Durante as colisões efetivas a atração somente ocorre porque existe energia suficiente entre uma das espécies para atrair o próton (H^+) da outra ou energia suficiente para captar os elétrons da outra espécie. Para entender porque pode acontecer doação de prótons ou de pares de elétrons nesta reação, nos ateremos às teorias ácido-base de Bronsted-Lowry ou de Lewis.

A reação ácido-base somente acontece porque existe afinidade química entre as espécies reagentes, o que leva a acontecer espontaneamente, pois cada uma das espécies que constitui o sistema possui energia livre suficiente para fazer com que vençam a barreira energética da reação, ou seja, a energia de ativação. Como o sistema é fechado, a reação atinge o equilíbrio químico espontaneamente e se caracteriza como irreversível.

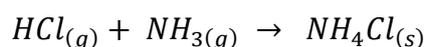
O experimento a partir do cálculo de variáveis macroscópicas termodinâmicas

Três são os aspectos importantes da análise de uma reação química, a saber: a cinética, o equilíbrio e a termodinâmica química. Cada um desses conteúdos químicos tenta descrever, respectivamente, o fenômeno em estudo de forma a caracterizar a velocidade e o mecanismo pelo qual a reação acontece; como as espécies que constituem o sistema atingem seu estado de energia mínimo na qual sua concentração não mais variará; e o último analisa os aspectos energéticos envolvidos em meio aos sistemas em estudo.

Nestes conteúdos, muitas vezes, o aspecto representacional ocorre em detrimento aos aspectos teóricos e fenomenológicos (MORTIMER et. al., 2000 apud MIRALDO, 2008).

Por mais que cada sistema químico possa ser quantificado por variáveis termodinâmicas macroscópicas – variação de entalpia da reação ($\Delta_r H$ ou variação de entalpia do sistema $\Delta_{\text{sist}} H$); variação de entropia da reação ($\Delta_r S$ ou variação de entropia do sistema $\Delta_{\text{sist}} S$) e variação de energia Livre (ΔG) – todas apresentam uma gama de espécies que experimentam diversas energias em seu sistema durante a reação. Entretanto, questiona-se, a partir dessas variáveis, quais os possíveis fatores energéticos estão por trás das espécies no nível atômico-molecular?

Como a reação ocorre à pressão constante, pode-se estimar a quantidade de energia liberada (Q), pela doação de prótons (H^+) ou dos pares de elétrons, na reação através da variação de entalpia da reação, que caracteriza a variação de entalpia do sistema. Para isto utilizaremos valores tabelados de entalpia padrão de formação para as espécies que constituem o sistema em estudo, segundo sua representação química abaixo:



A entalpia padrão de formação para cada uma das espécies (ATKINS, 2002) está apresentada na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 - Valores de entalpia padrão de formação.

Espécie Química	$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)
HCl _(g)	-92,31
NH _{3(g)}	-46,11
NH ₄ Cl _(s)	-314,43

A variação de entalpia padrão da reação pode então ser encontrada pela combinação das entalpias padrões de formação segundo a equação 14:

$$\Delta_r H^\circ = \sum n \Delta_f H^\circ(\text{produtos}) - \sum n \Delta_f H^\circ(\text{reagentes})$$

Onde o “n” representa os coeficientes estequiométricos na equação química e o símbolo (\sum) representa a soma da entalpia padrão de formação para os produtos e depois para os reagentes (ATKINS, 2002). Assim, o cálculo estimado é:

$$\Delta_{\text{sist}} H^\circ = [\Delta_f H^\circ(\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)})] - [\Delta_f H^\circ(\text{HCl}_{(g)}) + \Delta_f H^\circ(\text{NH}_{3(g)})] \quad \text{eq. 18}$$

$$\Delta_{\text{sist}} H^\circ = [(-314,43)] - (92,31) + (-46,11)$$

$$\Delta_{\text{sist}} H^\circ = -176,01 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Toda energia liberada do sistema em forma de calor flui para a vizinhança, o que implica em:

$$\text{Energia liberada pelo sistema} = - \text{Energia absorvida pela vizinhança}$$

O sinal negativo no segundo coeficiente é apenas para especificar que se uma das partes do universo em estudo ganha energia a outra recebe a mesma quantidade de energia e não necessariamente que existe uma quantidade de energia negativa.

A análise macroscópica da reação química nos permite observar que a reação seguiu de um estado de maior desordem, pois acontece entre espécies gasosas, para um

estado de menor desordem, pois é formado um sólido iônico. Porém, essa análise qualitativa não é suficiente para saber se a reação é espontânea ou não, uma vez que deve-se analisar a entropia total (sistema + vizinhança).

A variação de entropia do sistema pode ser obtida utilizando dados constantes na Tabela 12 a seguir (ATKINS, 2002).

Tabela 12 - Valores de entropia a 298,15.

Espécie Química	S (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)
HCl _(g)	186,91
NH _{3(g)}	192,45
NH ₄ Cl _(s)	94,6

A partir dos dados da Tabela 12, tem-se:

$$\Delta_{sist}S^{\circ} = [S^{\circ}(NH_4Cl_{(s)})] - [S^{\circ}(HCl_{(g)}) + S^{\circ}(NH_{3(g)})] \quad \text{eq. 19}$$

$$\Delta_{sist}S^{\circ} = [94,6] - [186,91 + 192,45] =$$

$$\Delta_{sist}S^{\circ} = -284,76 \text{ J. K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = -0,285 \text{ kJ. K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

O que implica de fato diminuição de entropia do sistema, pois as espécies presentes no estado sólido experimentam menos níveis de energia que as espécies reagentes no estado gasoso, por isso um valor tão pequeno de entropia para o sistema.

Porém, para analisarmos o critério de espontaneidade devemos considerar a variação de entropia total, que engloba a variação de energia do sistema e da reação, dada por:

$$\Delta S_{Total} = \Delta S_{sist} - \frac{\Delta H_{sist}}{T} = -0,285 \text{ kJ. K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} - \frac{(-176,01)}{298,15} =$$

$$\Delta S_{Total} = 0,31 \text{ kJ. K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

O valor positivo da entropia total caracteriza o sistema como espontâneo, mas não especifica a real quantidade de energia disponibilizada pelas espécies químicas do sistema para reagir. Para tanto, podemos calcular essa quantidade de energia a partir da

variável macroscópica termodinâmica energia livre de Gibbs, que também resume em um único valor a espontaneidade do processo, assim:

$$\Delta G = \Delta H_{sist} - T\Delta S_{sist} = -176,01 - [(298,15) \times (-0,285)]$$

$$\Delta G \cong -91,13 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

É importante observar que um alto valor (em módulo) de energia livre para realizar trabalho útil em um sistema químico, além de caracterizar o sistema como espontâneo, caracteriza uma grande quantidade de energia disponível entre as espécies que participam do sistema reacional a interagir quimicamente entre si.

Considerações Finais

Acreditamos que o uso do conceito de energia, em meio às explicações de sistemas atômico-moleculares, possibilita a formação da abstração necessária ao entendimento de fenômenos químicos.

Com base nas discussões desenvolvidas neste tópico e reconhecendo que não é tarefa fácil a construção do conhecimento químico, defende-se neste artigo a necessidade de interação entre sujeito e objeto de estudo. Essa interação auxilia a compreensão dos conceitos químicos. Nesta perspectiva, a proposta apresentada no experimento em estudo procurou mostrar que reações químicas realizadas em aulas experimentais de Química Geral podem ser descritas no nível atômico-molecular, quando se utiliza o conceito de energia para explicar os fenômenos físicos e químicos que ocorrem, desde as etapas iniciais da reação em estudo até a formação dos produtos desejados na reação.

Referências

ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de Química - questionando a vida moderna e o meio ambiente. Trad. Ignez Caracelli et al. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APOSTILA de Práticas de Química Geral II da Faculdade Pio Décimo. Disponível em: www.linux.alfamaweb.com.br/sgw/.../38_013529_PraticasQuimicaGera110_05.doc
Acesso em 02/maio/2010.

AULAS Práticas de Química Geral I. Disponível em: http://www.quimica.ufpb.br/monitoria/Disciplinas/outros_cursos/geral1_todas_as_praticas.pdf Acesso em 02/maio/2010.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura **OCEM +: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, Códigos e suas Tecnologias: Química.** Brasília: MEC; SEMTEC, 2006.

BUENO et. al. **O ensino de química por meio de atividades experimentais: a realidade do ensino nas escolas.** Disponível em <<http://www.unesp.br/prograd/ENNEP/Trabalhos%20em%20pdf%20-%20Encontro%20de%20Ensino/T4.pdf>>. Acesso em: 02/maio/2010.

COMPERVE/UFRN. Prova com questões de múltiplas escolhas de química 2004. Disponível em <http://comperve.ufrn.br/conteudo/provas/provas2004.htm>. Acesso em 12 de março de 2010.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola.** n.10, p. 43-49, 1999.

LOPES, A. R. C.; Reações Químicas – Fenômenos, transformação e representação. **Química Nova na Escola**, n. 2, p. 7-9, 1995.

MORTIMER, E. F. e MIRANDA, L. C; Transformações concepções dos estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**, , n. 2, p. 23-26, 1995.

MORTIMER, E. F; Machado, A. O. e Romanelli, L. I. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, 2000.

MIRALDO, J. R. Experimentação em química: Alternativas para a termoquímica no ensino médio. 2008, 118f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

PORTNOI et. al. EM: UNIFACS – Gases – Relatório de experimentos Disponível em <http://www.reocities.com/ResearchTriangle/4480/academic/academic-files/gases-report.html> - acesso em 02 de maio de 2010.

PETRUCCI, R. H.; Química general. Trad. Pumarino, C. P. G.; 8. ed. Madrid: Pearson Educación S.A., 2002.

POZO, J. I., **Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia**: las ideas de los adolescentes sobre la química. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de educación y ciencia (CIDE), 1991.

ROSA, M. I. P. S. e SCHNETZLER, R. P.; Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, , n. 8, p. 31-35, 1998.

ROTEIRO para o estudo de Química Geral. Disponível em:
http://www.qmc.ufsc.br/~marcos/downloads/roteiro_para_o_estudo_de_quimica_geral.pdf Acesso em 02/maio/2010.

VESTIBULAR de verão 2009 da Universidade Estadual do Norte do Paraná.
Disponível em http://www.uenp.edu.br/attachments/075_Provas-02-2009.pdf Acesso em 12 de março de 2010.

5 RESULTADOS DA ANÁLISE

Neste capítulo apresentaremos os resultados da pesquisa da abordagem nos livros de Química Geral no ensino superior sobre o uso do termo energia em diferentes conceitos químicos (1º objetivo específico) e as concepções analisadas a partir das respostas do questionário por alunos do curso de química da UFRN para interpretar fenômenos químicos (2º objetivo específico).

5.1 CONCEITOS QUÍMICOS FUNDAMENTAIS A PARTIR DOS LIVROS DE QUÍMICA GERAL

A construção deste capítulo não teve o intuito de explicar conteúdos conceituais dos livros e tampouco analisar a presença de erros conceituais, e sim sinalizar a relevância do conceito de energia nas explicações de fenômenos químicos em diversos capítulos do livro de química geral.

Como sinalizado anteriormente, para identificação do termo energia foram analisados oito livros textos de química geral do nível superior de ensino (Tabela 1). Considerou-se como critério a existência de exemplares em quantidade suficiente na Biblioteca Central Zila Mamede da UFRN para consulta dos alunos que cursam disciplinas de química fundamental I e II no curso de química desta mesma instituição.

Cada livro teve seu prefácio analisado no intuito de identificar se o autor menciona que o termo energia é um conceito importante para fundamentar o conhecimento químico e, também se o próprio livro remete aos conteúdos que necessitam desse conceito durante as explicações dos diversos fenômenos em estudo.

5.1.1 Categoria 1: Prefácio dos livros

No prefácio dos livros L1 e L2 é feita uma abordagem ampla dos diversos objetivos que se pretende atingir em um curso de química geral seja por alunos de

química, biologia ou até mesmo medicina. Neste prefácio fica evidente a preocupação dos autores em fazer uma abordagem da linguagem do texto na intenção de tornar o conhecimento químico, para alunos de um curso de química geral, mais clara no que se refere às explicações dos conceitos mais difíceis. Este prefácio se subdivide em diversos sub-tópicos que retratam detalhadamente cada um dos capítulos e das ferramentas que podem auxiliar a compreensão dos fenômenos químicos em estudo, mostrando ao estudante que o livro possui diversas opções de interação com o conteúdo químico. Nesta abordagem é importante citar que como ferramentas de aprendizagem o livro traz ilustrações macro-micro no intuito de fazer a conexão entre o mundo macroscópico e os eventos que ocorrem no nível molecular.

Com relação à organização dos conceitos também fica claro que os autores expressam que existem conceitos básicos e de fundamental importância para o conhecimento químico. E que alguns conceitos foram reordenados, em relação às edições anteriores, para facilitar essa compreensão. Essa preocupação com a ordenação dos conceitos fica clara quando analisamos o seguinte trecho do prefácio deste livro.

Os Capítulos de 1 a 6 desenvolvem os fundamentos da química das reações, da estequiometria e da termoquímica, acompanhados de uma introdução básica à estrutura da matéria e à tabela periódica.

Para permitir que os estudantes obtenham, desde o início, uma compreensão dos conceitos ligados à energia, particularmente da diferença de calor e temperatura, introduzimos algumas noções básicas da teoria cinética no Cap. 1, onde discutimos pela primeira vez o conceito de energia. Estas noções serão depois expandidas no Cap. 6 Energia e Termoquímica (BRADY, RUSSEL e HOLUM, p. v. v. 1, 2002). [grifo nosso]

Na abordagem deste prefácio fica evidente que existe uma grande preocupação, por parte dos autores, no uso do conceito de energia para explicações de diversos conteúdos.

Com relação ao prefácio dos livros L3 e L4 é feita uma subdivisão de comentários em três partes. A primeira traz comentários aos leitores que irão utilizá-lo, a segunda traz uma discussão ao instrutor (se refere ao professor que ministrará a disciplina) e a terceira parte são orientações de como cada capítulo está organizado, ao qual o autor chama de aspectos adicionais.

Na parte que se refere ao aluno é feita apenas uma apresentação de como se dá a organização geral do livro e de cada capítulo. Nesta parte do prefácio não se percebe claramente quais os conceitos que são importantes ao estudo do conteúdo químico. O

autor até cita que existe um sub-tópico em cada capítulo que traz comentários adicionais se referindo a pontos principais da discussão do capítulo que abordam um esclarecimento adicional e indispensável para a compreensão de um conceito. Ainda nesta parte do prefácio fica claro que o autor reconhece a necessidade de conhecimentos prévios para estabelecer relação entre conceitos, mas não menciona aos leitores nenhum exemplo desse conhecimento. Observe este trecho na análise do subtópico estudando e aprendendo química do prefácio deste livro, ao afirmar que “a química não se move tão rápido, porém seus conceitos tendem a estabelecer conceitos prévios, e, caso fique muito para trás, você se perderá [grifo nosso]”.

No prefácio direcionado ao professor, o autor explica a organização de cada capítulo no livro. Enfatiza como foco principal os conceitos básicos e fundamentais acreditando ser através destes que o aluno pode crescer e obter êxito não só na química, mas também no desempenho de outras atividades da vida. Fica implícito que o conceito de energia é um dos conceitos fundamentais, porém pode não ficar claro para os alunos, como podemos observar no trecho abaixo:

O tópico de estequiometria é introduzido antecipadamente neste texto (Capítulo 2) e inclui uma introdução à solução estequiométrica. Isto permite a incorporação de experimentos estequiométricos e currículos de laboratórios. (o instrutor pode decidir desprezar o assunto de solução estequiométrica. A seção 12.6 mostrará uma discussão mais rigorosa deste tópico). O capítulo de estequiometria precede um pequeno capítulo de termoquímica. Isto permite a introdução antecipada da terminologia de ΔH , o que intensifica a discussão de muitos tópicos subsequentes, tais como energia de ionização, afinidade eletrônica, energia de ligação, energia reticular, cálculo de Born-Haber, e assim por diante. (RUSSEL, 2006, p.37). [grifo nosso]

Com relação aos livros L5 e L6, o prefácio apresenta em sua versão traduzida para língua portuguesa⁴, dois números derivados de uma única versão em língua inglesa. Seu prefácio é dividido em vários tópicos, dos quais merece destaque o tópico que se refere à “*filosofia e abordagem do livro*”, “*as ferramentas básicas da química*” e o tópico que se refere ao “*controle de reações químicas*”. Na parte que trata sobre a filosofia e abordagem do livro é relevante destacar que os próprios autores reconhecem que atualmente existe um ordenamento comum utilizado pelos educadores no tratamento da química geral e que este ordenamento foi seguido, quase integralmente no livro. Porém os próprios autores enfatizam que essa ordem não pode ser usada de

⁴ Os demais livros analisados também apresentam no prefácio uma tradução do inglês para a língua portuguesa, mas destes os livros L5 e L6 chamaram a atenção pelo enfoque dado.

diversas formas. Assim como na discussão do prefácio dos livros anteriores no prefácio deste livro sinaliza que

A ordem dos tópicos no texto foi também planejada de modo a introduzir, tão cedo quanto possível, os conhecimentos necessários às experiências de laboratório feitas em cursos de química geral. Por esse motivo, os capítulos sobre propriedades químicas e físicas, os tipos comuns de reação e a estequiometria encontram-se no início do volume 1. Além disso, em razão da importância de se compreender a energia no estudo da química, a termoquímica é introduzida no capítulo 6 (KOTZ e TREICHEL, 2005, p. 17) [grifo nosso].

A análise deste trecho possibilitou uma interpretação, mais uma vez, do conceito de energia, pelos autores de um livro texto como fundamental para entendimento de outros conteúdos na química.

No livro L7 foram identificados dois prefácios. O primeiro é sucinto com apenas três parágrafos feito pelos tradutores da versão para o português. Neste prefácio os tradutores apenas falam que o livro tem sido adotado nos melhores cursos universitários ao longo de duas ou mais décadas e que assim o é por se fazer parte de uma bibliografia onde os fundamentos da química são apresentados em estado da arte, com muita profundidade e riqueza de detalhes (TOMA et al., 2000). Apesar desta justificativa, não deixam claro quais os detalhes que são fundamentais à aprendizagem do conhecimento químico. Acreditam na química como uma ciência central e vêem este livro como detentor de conceitos incomparável com outros de química geral quando explicitam que “essa qualidade está se tornando escassa na maioria dos textos recentes, que exploram excessivamente a imagem, como uso das cores e ilustrações para tornar a leitura mais leve, em detrimento do conteúdo, em si” (TOMA et al., 2000).

No segundo prefácio de L7 os autores afirmam que a construção do texto foi feita para um grupo selecionado de estudantes do primeiro ano da Universidade de Berkeley, que tivessem uma fundamentação em conhecimentos matemáticos. Segue abaixo o trecho do prefácio que deixa explícita essa idéia:

Bruce Mahan escreveu a primeira edição do seu livro Química, um Curso Universitário com o intuito de utilizá-lo num curso a ser ministrado para um grupo selecionado dentre os estudantes do primeiro ano de Berkeley, que estivessem bem preparados em matemática. A quarta edição continua mantendo a tradição das edições anteriores (MYERS, 2000, p. 7).

Em seguida descrevem a subdivisão dos conteúdos no livro e como são abordados os problemas matemáticos. Não fica explícita a idéia de que existem conceitos fundamentais ao estudo da química. Por outro lado, observa-se a introdução de conceitos da termodinâmica como entalpia e entropia no conteúdo de soluções (capítulo 3) antes de abordar o conteúdo de termodinâmica química (capítulo 8), como ilustra o trecho abaixo:

Também, foram incluídas as discussões sobre eletrólitos e regras de solubilidade dos sais em solução aquosa. O Capítulo 3 introduz aos estudantes os conceitos termodinâmicos de entalpia e de entropia, como anteriormente, e agora, também, faz considerações sobre a atividade e estados padrão para solutos, utilizando a lei de Henry. (MYERS, 2000, p. 7) [grifos nossos]

Nesse trecho está expressa a relevância de conceitos de energia necessários ao entendimento de conteúdos químicos. No item grifado “como anteriormente” os autores se referem que esta é uma perspectiva da construção dos livros desde as versões anteriores.

O Livro L8 apresenta o prefácio subdividido em seis tópicos, sendo cada um com sub-tópicos que apresentam como é feita a abordagem conceitual, representacional, gráfica e as ferramentas adicionais que o livro possui para desenvolver o conteúdo químico. O segundo sub-tópico do prefácio que tem como título “De estudantes a cientistas” enfatiza que a intenção do livro é construir atitudes mentais científicas, possibilitando ao estudante saber mais do que apenas aceitar conclusões e, para isto o livro aborda três temas principais. Sendo eles: átomos; termodinâmica e equilíbrio; cinética.

Apesar de sinalizarem certa preocupação com a organização de conteúdos prévios, não explicitam a utilização do conceito de energia como fundamental para aprendizagem do conteúdo químico. Essa observação é reforçada no sub-título que se refere a seqüência de conteúdo do livro intitulado “Uma organização que considera átomos em primeiro lugar”. O que leva a entender que os conceitos das teorias atômicas podem ser formulados sem necessariamente usar o conceito de energia. Outro parágrafo que não deixa claro a utilização dos conceitos termodinâmicos como norteadores do conhecimento químico é quando os autores discutem a abordagem da termodinâmica e equilíbrio:

Apresentamos o equilíbrio químico do ponto de vista da termodinâmica. Acreditamos que a formulação quantitativa do equilíbrio deveria se basear na compreensão da energia livre e da

entropia. Para este fim, introduzimos as leis da termodinâmica antes de equilíbrio, e formulamos os conceitos de equilíbrio em termos das energias livres padrão. Esta abordagem permite-nos apresentar um tratamento unificado para um grande número de processos químicos. (ATKINS e JONES, 2002, p. 24)

É importante ressaltar que mesmo que o conceito de energia não tenha sido citado explicitamente pelos autores, os mesmos sinalizam que os conceitos termodinâmicos são necessários ao entendimento do conteúdo químico.

Ainda neste sub-tópico os autores apresentam um breve resumo dos fundamentos da química que traz como primeiro resumo os conceitos de energia potencial e cinética, pois consideram que alguns alunos egressos do nível médio podem não ter tido contato com este conteúdo, daí a necessidade de fazer a revisão.

5.1.2 Categoria 2: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de estrutura atômica da matéria

Na Tabela 13 apresentamos a análise da categoria apresentada nos livros textos referente a relação do termo energia com o estudo da estrutura atômica da matéria. Dessa forma os aspectos considerados nesta análise foram explicações para: a evidência da quantização da energia; o efeito fotoelétrico; o entendimento dos níveis energéticos do átomo de hidrogênio; a excitação de elétrons em um átomo; dos níveis energéticos que cada orbital atômico adquire.

Tabela 13- Relação de aspectos energéticos no conteúdo de estrutura atômica da matéria.

Sub-Categoria	L1	L3	L5	L7	L8
Quantização da energia	A radiação eletromagnética é emitida e absorvida somente em quantidades fixas, pequeníssimos pacotes ou quanta de energia, posteriormente denominados fótons. (p. 201)	Todas as radiações eletromagnéticas comportavam-se como se fossem compostas de minúsculos pacotes de energia chamados fótons. (p. 232)	Planck introduziu uma equação importante, agora chamada de equação de Planck, que afirma que a energia de um sistema que vibra é proporcional à frequência da vibração. (p. 230)	Planck teve de supor que um sistema mecânico não poderia ter uma energia arbitrária, e que somente certos valores definidos de energia seriam permitidos. (p. 272)	Ele propôs que a troca de energia entre a matéria e a radiação ocorre em quanta, ou pacotes de energia. (grifos do autor). (p. 138)
Efeito fotoelétrico	<i>Não utiliza o termo energia para explicar o fenômeno.</i>	<i>Não explica o efeito fotoelétrico.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar o fenômeno.</i>	A existência deste efeito fotoelétrico não foi visto com surpresa, pois podia-se inferir, a partir da teoria eletromagnética clássica, que a energia transportada pela luz poderia ser utilizada para remover um elétron do metal.	Um elétron pode ser expelido do metal se ele recebe certa quantidade mínima de energia do fóton durante a colisão. Então, a frequência da radiação deve ter um valor mínimo para que os elétrons sejam ejetados. (p. 139)
Nível energético em que o elétron se encontra.	Em um átomo, qualquer elétron pode ter somente certos valores de energia, e não outros. (p. 205)	Um elétron em um átomo pode ter somente um valor de energia. (p. 233)	Bohr introduziu a condição de que um elétron orbitando o núcleo poderia ocupar somente determinadas órbitas ou níveis de energia, nos quais ele é estável. (p. 235)	No átomo, somente é permitido ao elétron estar em certos estados estacionários, sendo que cada um deles possui uma energia fixa e definida. (p. 274)	A observação de linhas espectrais discretas sugere que um elétron em um átomo pode ter somente certas energias. (p. 147)
Transição eletrônica de um átomo.	Quanto mais alto (menos negativo) o valor da energia, menos estável é a órbita, e assim o elétron logo retorna à órbita de energia mais baixa. Quando isto acontece, é emitida energia na forma de um quantum (fóton) de	Quando um átomo absorve energia de uma chama ou descarga elétrica, alguns de seus elétrons ganham energia e são elevados a um nível de energia maior. Quando isto acontece, a energia é liberada do	A energia é absorvida ou liberada se o elétron mudar de um nível de energia para outro, e é essa idéia que permitiu que Bohr explicasse os espectros de gases excitados. (p. 237)	Quando um átomo estiver em um destes estados, ele não pode emitir luz. No entanto, quando o átomo passar de um estado de alta energia para um estado de menor energia há emissão de um quantum de	Quando um elétron faz uma transição, uma mudança de estado, ele muda de um nível de energia para outro, e a diferença de energia, $\Delta E = E_{\text{superior}} - E_{\text{inferior}}$, é emitida como um fóton. (p. 147)

	radiação.	átomo em uma quantidade igual a $(E_2)_{\text{elétron}} - (E_1)_{\text{elétron}}$, isto é, a diferença entre duas energias do elétron. De acordo com Bohr, a energia é liberada na forma de fóton de radiação eletromagnética. (p. 233)		radiação, cuja energia $h\nu$ é igual a diferença de energia entre os dois estados. (p. 274)	
Descrição do orbital atômico	<i>Não utiliza o termo energia para descrever o orbital</i>	<i>Não utiliza o termo energia para descrever o orbital</i>	Uma característica importante dos orbitais s (1s, 2s, 3s e assim por diante) é que todos têm formato esférico. Porém, existem algumas diferenças importantes entre orbitais s com n diferente; o tamanho do orbital s e sua energia aumentam à medida que n aumenta. (p. 248)	<i>Não utiliza o termo energia para descrever o orbital</i>	<i>Não utiliza o termo energia para descrever o orbital</i>

O tópico estrutura atômica apresenta significativa relevância para o ensino de química por se caracterizar como parte fundamental do entendimento microscópico das transformações químicas. Neste, o uso do termo energia é imprescindível para explicar os conceitos que o integram. Apesar disso, tal tópico é considerado por alguns autores como um tema de dificuldade para alunos de química pelo fato de exigir um alto nível de abstração (PESTILLO e FERNANDEZ, 2004).

Assim, ao analisar o uso do termo energia na Tabela 13, quanto a fenômenos como a quantização da energia e a transição eletrônica em um átomo bem como quanto ao aspecto dos diferentes níveis energéticos que pode assumir, observa-se que os livros de Química Geral analisados (L1 a L8) utilizam esse termo em suas explicações.

O mesmo não acontece para a explicação do efeito fotoelétrico e descrição em termos energéticos das diferentes energias que cada orbital atômico possui. Pode-se observar que na explicação do efeito fotoelétrico somente os livros L7 e L8 utilizam esse termo na explicação do fenômeno, sendo que L7 não deixa explícito que para a ejeção do elétron deve-se incidir uma quantidade de energia mínima sobre o mesmo, para que este vença as forças atrativas que o prendem ao metal. Tanto em L7 como em L8 não é detalhado que a energia em excesso, após a remoção dos elétrons, pode ser transformada em energia cinética de movimento dos mesmos. Entendemos que a ênfase a existência de um excesso de energia poderá possibilitar um melhor entendimento da primeira lei da termodinâmica, ou seja, de que a energia não pode ser criada nem destruída, mas somente transformada de uma forma em outra.

Quanto à explicação que se refere à descrição de um orbital atômico dos cinco livros analisados somente L5, utiliza o termo energia para fazer essa descrição, apesar de fazê-lo sinteticamente.

Segundo Andreu (1996), o estudo da estrutura da matéria, sua composição e propriedade constitui tema de significativa complexidade e com diversas implicações didáticas. Neste sentido, assumimos nesta tese que o uso do termo energia nas

explicações que regem este conteúdo poderia ser abordado como forma de proporcionar um melhor entendimento microscópico dos efeitos e/ou fenômenos explicados.

Em uma perspectiva mais conclusiva reconhecemos que a utilização do termo energia, como proposta de formular o entendimento abstrato da matéria, em todos os livros de Química Geral analisados, não é bem estabelecida nos aspectos abordados. Um exemplo disto pode ser visto nos itens grifados nesta tabela de trechos retirados dos livros L3 e L7 os quais ao invés de associar o efeito energético ao elétron acaba estabelecendo este efeito ao átomo. De forma geral, logicamente que quem recebe o feixe de energia é o átomo, no entanto, é o elétron que recebe essa energia para transitar entre os níveis eletrônicos. Nesse sentido é prioritário associar o efeito energético ao elétron, pois assim fica perceptível o entendimento do fenômeno no nível microscópico como acontece em L1, L5 e L8.

5.1.3 Categoria 3: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo da tabela periódica

A Tabela 14 apresenta trechos retirados dos livros de Química Geral ao analisar o capítulo referente ao conteúdo de tabela periódica. Neste conteúdo são abordadas as propriedades periódicas das espécies químicas e sua respectiva natureza para reagir com outras espécies. Particularmente, o recorte nesta tese dirigiu-se às propriedades que utilizam o conceito de energia para sua explicação, a saber: os conceitos de energia de ionização e afinidade eletrônica.

Tabela 14 - Relação de aspectos energéticos no conteúdo de tabela periódica.

Sub-Categoria	L1	L3	L5	L7	L8
Energia de Ionização	É a energia necessária para remover um elétron de um átomo ou íon isolado em seu estado fundamental. (p. 223)	A energia de ionização é a mínima energia necessária para remover um elétron de um átomo isolado, no seu estado fundamental. (p. 312) [grifo do autor]	É a energia necessária para remover um elétron de um átomo na fase gasosa. (p. 277)	Se uma quantidade crescente de energia for fornecida para um átomo, este será ionizado quando o elétron mais fracamente ligado for afastado a uma distância relativamente grande do núcleo. (p. 297)	É a energia necessária para retirar um elétron na fase gasosa. (p. 165)
Afinidade Eletrônica	É a variação de energia potencial associada com a adição de um elétron a um átomo ou a um íon de um gás em seu estado fundamental. (p. 226)	A afinidade eletrônica de um átomo é definida como a quantidade de energia, ΔH , envolvida no processo em que um átomo isolado gasoso, no seu estado fundamental, recebe um elétron, formando um íon negativo. (p. 316) [Grifo do autor].	A afinidade eletrônica (<i>electron affinity – EA</i>) de um átomo é definida como a energia de um processo em que um elétron é adquirido pelo átomo na fase gasosa. (p. 279)	A afinidade eletrônica , AE é a quantidade mínima de energia necessária para remover um elétron de um ânion, para gerar o átomo neutro. (p. 300) [grifos do autor]	A afinidade eletrônica , E_{ea} , de um elemento é a energia liberada quando um elétron é adicionado a um átomo na fase gasosa. (p.168) [Grifos do autor]

A partir da Tabela 14 pode-se observar que os livros de Química Geral utilizam o termo energia para explicar a quantidade de energia necessária para remover/adicionar um elétron.

Analisando o conceito de energia de ionização nos livros é possível perceber que é comum atribuir o efeito energético como critério de remoção do elétron de um átomo. No entanto, somente o livro L7 associa esse critério às forças atrativas que prendem o

elétron ao seu núcleo atômico. Tal explicação pode promover um entendimento microscópico do fenômeno em estudo.

Na análise do conceito de afinidade eletrônica, existe uma coerência entre os livros L1, L3, e L5 ao caracterizar como um processo que envolve energia, não especificando se é de perda ou ganho desta, na adição de um elétron a um átomo. Porém, o sentido de especificar se o processo consiste em perda ou ganho de energia é de fundamental importância, pois permite interligar o conceito em estudo neste conteúdo com o conteúdo de termodinâmica, e ainda criar um entendimento microscópico da adição de elétrons em um átomo. Entretanto, como os valores de afinidade eletrônica para cada átomo são encontrados em tabelas de livros de química geral ou em handbooks, não se pode especificar que o processo de afinidade eletrônica é apenas de liberação de energia, como especificado em L8, o que gera a idéia de que todos os átomos liberam energia quando recebem elétrons, o que não pode acontecer pois algumas espécies absorvem energia ao receber elétrons.

Cabe destacar que apesar do objeto de estudo desta tese não ser a discussão de erros conceituais é importante observar que o conceito de afinidade eletrônica, no livro L7, não está em acordo com os demais.

5.1.4 Categoria 4: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo das ligações químicas.

Esta categoria envolve o uso de modelos explicativos para a interação de uma ou mais espécies atômicas na formação de uma molécula ou unidade iônica. Cada um desses modelos é descrito através de ligações químicas que podem ter suas explicações a partir de várias teorias de ligação dependendo da(s) espécie(s) que está interagindo. A Tabela 15 ilustra o uso do termo energia em meio aos conceitos relacionados ao conteúdo de ligações químicas.

Tabela 15 - Relação dos aspectos energéticos no conteúdo de ligações químicas.

Sub-Categoria	L1	L3	L5	L7	L8
Ciclo de Born-Haber	Como podemos ver na Fig. 8.1, a energia de rede é o fator energético que mais contribui na formação do NaCl. Ela é maior até mesmo que o acréscimo total da energia potencial associado à formação dos íons isolados e faz com que a formação do composto seja exotérmica, que é uma condição para que o composto seja estável. (p. 237)	Em outras palavras, a força motriz responsável pela formação de NaCl sólido a partir de seus elementos é a alta energia reticular do cloreto de sódio. (p. 354)	O cálculo é uma aplicação da lei de Hess, porque as energias envolvidas em um caminho dos reagentes aos produtos (ΔH_f°) correspondem à soma das energias envolvidas em outro caminho (etapas 1-3). (p. 297)	Já houve tempo em que as afinidades eletrônicas dos halogênios não eram bem conhecidas, e as energias reticulares calculadas eram usadas no ciclo visando a determinação dessas afinidades. (p. 373)	A entalpia de rede pode ser identificada com o calor necessário para vaporizar o sólido à pressão constante; e quanto maior a entalpia de rede, mais calor é exigido. Uma quantidade de calor, igual à entalpia de rede, é liberada quando o sólido se forma a partir dos íons gasosos. (p. 379)
Formação de uma ligação covalente	Cada ligação covalente é caracterizada por duas quantidades: a distância média entre os núcleos mantidos juntos pela ligação e a quantidade de energia necessária para separar os dois átomos e torná-los neutros novamente. ... como uma ligação covalente mantém os dois átomos juntos, precisamos realizar trabalho (gastar energia) para separá-los. Quando esta ligação é formada, é liberada uma quantidade de energia enquanto a energia potencial dos	À medida que dois átomos se aproximam, a força atrativa líquida provoca um decréscimo na energia potencial do par até atingir um valor mínimo na distância de ligação. Uma subsequente aproximação causa um aumento da energia potencial acima do valor mínimo, uma vez que neste ponto existe uma força repulsiva líquida. (p. 357)	Devido as forças atrativas, as nuvens eletrônicas nos átomos distorcem-se à medida que o elétron de um átomo é atraído para o núcleo do segundo átomo, e a energia potencial do sistema diminui. (p. 348)	A medida que os átomos se aproximam até a distância de ligação, eles passam a exercer fortes atrações mútuas. Isso faz com que a energia seja menor quando os átomos estão ligados do que quando estão livres. (p. 158)	Não explica a formação da ligação covalente a partir da diminuição líquida da energia ⁵ .

⁵ A explicação que se buscava para averiguar este ponto analisado nesta categoria foi encontrada apenas no capítulo de termodinâmica posterior ao estudo das ligações químicas nesse livro.

	átomos é reduzida. (p. 241)				
Quebra de uma ligação química.	Essa quantidade de energia (ou a quantidade de energia necessária para quebrar a ligação) é chamada de energia de ligação . (p. 242) (Grifos do autor)	A energia necessária para romper uma ligação específica numa molécula é denominada energia de ligação . Esta energia é geralmente positiva e é expressa como ΔH para a dissociação de um mol de ligações. (p. 376)	A energia de dissociação de ligação , simbolizada por D , é a variação da entalpia para romper uma ligação em uma molécula com os reagentes e os produtos em fase gasosa sob condições padrão. (p. 323) (Grifos do autor)	Nesses casos, fica difícil atribuir a energia necessária para quebrar totalmente uma ligação. o radical pode não ter a mesma energia, como radical livre, que tinha quando fazia parte da molécula. (p. 159)	Uma entalpia de ligação média é a média da variação de entalpia que acompanha a dissociação de um dado tipo de ligação. (p. 381)
Carga Formal	<i>Não utiliza explicitamente o termo energia para explicar o conceito de carga formal.</i>	<i>Não descreve o conceito de carga formal utilizando o termo energia.</i>	<i>Não descreve o conceito de carga formal utilizando o termo energia.</i>	<i>Não descreve o conceito de carga formal utilizando o termo energia.</i>	A carga formal dá uma indicação da extensão da perda ou ganho de elétrons por um átomo no processo de formação da ligação covalente; estruturas com as menores cargas formais são as mais prováveis de terem as menores energias. (p. 196)
Forma da molécula (geometria molecular)	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a geometria de uma molécula.</i>	Os pares eletrônicos da camada de valência do átomo central numa molécula ou num íon poliatômico tendem a se orientar de forma que sua energia total seja mínima. (p. 385)	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a geometria de uma molécula.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a geometria de uma molécula.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a geometria de uma molécula.</i>
	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a formação de orbitais</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a formação de</i>	Pauling justificou a hibridização	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a formação de</i>

Formação dos orbitais híbridos	<i>híbridos.</i>	<i>formação de orbitais híbridos.</i>	<i>orbitais híbridos.</i>	argumentando que a energia das quatro ligações C- H seria maior do que a diferença de energia entre os orbitais 2s e 2p do carbono. (p. 322)	<i>orbitais híbridos.</i>
Promoção de Elétrons	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a promoção de elétrons.</i>	Suponha que um dos elétrons 2s do carbono seja promovido (energia maior) para o orbital 2p vazio. (p. 933)	<i>Não discute a promoção de elétrons em átomos.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a promoção de elétrons.</i>	Embora a promoção de um elétron envolva um orbital de maior energia, ele experimenta menor energia de repulsão com relação aos outros elétrons. Como resultado, somente uma pequena quantidade de energia é necessária para promover o elétron. esta energia é mais do que a recuperada pela capacidade dos átomos formarem quatro ligações. (p. 233 -234)
Formação dos orbitais moleculares	A teoria dos orbitais moleculares utiliza a idéia de que uma molécula é semelhante a um átomo em um importante aspecto. Ambos têm níveis de energia que correspondem a vários orbitais que podem ser preenchidos por elétrons. (p. 292) (Grifos do autor)	Quando dois orbitais atômicos se combinam para formar dois orbitais moleculares, a energia do MO ligante é sempre menor do que a dos AOs, enquanto a energia do MO antiligante é maior. (p. 951)	O segundo princípio da teoria do orbital molecular é que o orbital molecular ligante é mais baixo em energia do que os orbitais atômicos originais, e o orbital antiligante é mais elevado em energia (veja a Figura 10.17). (p. 364) (Grifos do autor)	A combinação de dois orbitais atômicos produzirá dois orbitais moleculares, um de energia mais alta e outro de energia mais baixa que os orbitais de partida. (p. 336)	A combinação de orbitais atômicos que resulta em uma diminuição da energia total é chamada orbital ligante . (p. 242) A combinação de orbitais atômicos que resulta em um aumento da energia total é chamado orbital antiligante . (p. 243) grifos do autor.

Formação da ligação química pela TOM	Em situações como esta a configuração resultante é desestabilizadora, pois a energia do OM antiligante aumenta mais do que a energia do OM ligante diminui, ambas em relação aos orbitais dos átomos separados. (p. 292)	<i>Não utiliza o termo energia para descrever a formação da ligação química pela TOM.</i>	Isso significa que a energia de um grupo de átomos é mais baixa do que a energia dos átomos separados quando os elétrons são atribuídos a orbitais moleculares ligantes. Os químicos dizem que o sistema “é estabilizado” pela formação da ligação química. Inversamente, o sistema é “desestabilizado” quando elétrons são atribuídos aos orbitais antiligantes porque a energia do sistema é mais elevada do que a dos próprios átomos. (p. 364)	<i>Não deixa explícito que a energia dos elétrons que ocupam os orbitais antiligantes cancelam a formação da ligação.</i>	O acréscimo de energia que ocorre quando um orbital antiligante é ocupado é aproximadamente igual ou um pouco maior que a diminuição de energia que ocorre quando o orbital ligante correspondente é ocupado. (p. 243)
--------------------------------------	--	---	--	---	--

A partir do desenvolvimento da mecânica quântica e da resolução da equação de Schrödinger, compreendeu-se a relação entre as propriedades químicas dos elementos e a sua estrutura eletrônica. Com evidências experimentais de que os elétrons se comportam como onda e como partícula, além do fato de que a energia é quantizada, tornou-se possível explorar o mundo microscópico em sua intimidade, descobrindo-se a causa das propriedades muitas vezes observadas no nosso mundo macroscópico. Assim, através da estrutura eletrônica de camadas dos átomos explicam-se as propriedades periódicas. A energia e a forma dos orbitais explicam, em última análise, a reação química, a reatividade química e a forma como novas substâncias são formadas (DUARTE, 2001).

Nesse sentido, na Tabela 15 procurou-se identificar a relação do termo energia com esses aspectos no conteúdo de ligações químicas.

Analisando a utilização do termo energia na explicação do ciclo de Born-Haber é possível observar que não há um critério comum do uso desse termo para descrever as etapas que compõe o ciclo, pois como observado em L8 a expressão 'calor' é utilizada para explicar a 'vaporização' ao invés de 'energia'.

Também analisando se existe uma relação entre os conceitos químicos abordados e os aspectos energéticos, somente L5 menciona que a descrição do cálculo no ciclo é uma aplicação da Lei de Hess. Porém o livro L8 já explica o ciclo no conteúdo de termodinâmica, o que pode possibilitar um entendimento da relação entre os conceitos.

O segundo ponto abordado neste conteúdo foi quanto ao princípio que rege a formação de uma ligação covalente. Nesta abordagem não há no texto uma explicação que possibilite o entendimento do processo em nível microscópico entre conceitos químicos. Exceto por L1 que utiliza termos como 'trabalho', para caracterizar a relação conceitual e a 'distância média entre os núcleos mantidos juntos', para caracterizar o aspecto microscópico. Já L3 apesar de não fazer a relação conceitual com o termo energia apresenta um detalhamento do processo de formação da ligação química quando

específica 'nuvens eletrônicas e o átomo é atraído para o núcleo do segundo átomo'. Em todos os livros é exibido o gráfico de diminuição da energia em função da distância de ligação, utilizando como exemplo específico a formação da ligação entre dois átomos de hidrogênio.

Na análise do aspecto que se refere à abordagem da quebra de uma ligação química nenhum dos livros apresenta uma abordagem microscópica deste fenômeno quando se incide certa quantidade de energia. Sendo o que leva uma inter-relação dos conceitos é o fato da quantificação da quebra da ligação pelo uso da variável termodinâmica entalpia (ΔH), observado nos livros L3, L5 e L8.

Um cálculo simples, mas que possibilita um entendimento da estrutura mais provável de uma ligação química é o cálculo da carga formal. Na análise deste aspecto apenas o livro L8 mostra a relação do cálculo com o critério de formação de uma ligação química (diminuição líquida da energia) e também o aspecto microscópico ao deixar explícito que 'a carga formal dá uma indicação da perda ou ganho de elétrons por um átomo'. No mesmo sentido de relacionar a forma da molécula com critério de formação de uma ligação química o livro L3 utiliza o termo energia para especificar que a geometria proposta para uma determinada molécula é a que apresenta menor energia.

Segundo Toma (1997), o modelo de Lewis é bastante útil na descrição qualitativa das ligações químicas. Porém, quando se quer discutir questões energéticas, geometrias ou aspectos de natureza espectroscópica, torna-se necessário lançar mão de teorias quânticas que enfocam a ligação química em termos da combinação de orbitais. Nesse sentido foi analisada a relação do termo energia com a formação dos orbitais híbridos, promoção de elétrons em um átomo, formação dos orbitais moleculares e formação da ligação química pela TOM.

Mesmo sendo de fundamental importância a utilização do termo energia para explicar a formação de orbitais híbridos em uma ligação covalente, observa-se, pela Tabela 15, que apenas o livro L7 utiliza este termo para explicar, numa situação específica, que os orbitais híbridos são menores em energia que os orbitais atômicos.

O termo energia é utilizado para explicar a promoção de um elétron para um orbital de maior energia, de forma detalhada e possibilitando uma visão microscópica da teoria em estudo, no livro L8. Nesse livro, diferente do L4 que traz uma explicação sucinta e dos demais que não trazem nenhuma explicação, se descreve que por mais que a promoção eletrônica necessite de absorção de energia o elétron enfrentará menos situações de repulsões eletrostáticas, ou seja, menor energia que outros elétrons.

Para explicar a formação dos orbitais moleculares todos os livros utilizam o termo energia para descrever que cada orbital possui um nível de energia específico. Apenas o livro L1, não especifica a diferença existente entre os orbitais moleculares ligantes, que se caracterizam por ser de menor energia, e orbitais moleculares antiligantes, que se caracterizam por ser de maior energia. Porém, apesar do livro L1 não colocar que existe uma diferença de energia entre os orbitais quando trata sobre a formação desses orbitais, quando se fala em formação da ligação química aparece mais explícita e complementar afirmar que o orbital antiligante, de maior energia, desestabiliza a ligação quando existem elétrons ocupando esse orbital. Essa idéia também fica exposta nos livros L5 e L8, enquanto os livros L4 e L7 não utilizam o termo energia para descrever a formação de uma ligação quando elétrons ocupam orbital antiligante e não deixa de forma explícita o uso desse termo, respectivamente.

5.1.5 Categoria 5: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares

Nesta categoria será considerado o uso do termo energia relacionados com os seguintes aspectos: transição de fase ou quebra da ligação intermolecular; quantidade de energia na interação de ligações de hidrogênio em relação às outras formas de ligação intermolecular; na explicação do ponto de fusão e/ou ebulição; variável energética de quantificação e conceito de volatilidade.

Na Tabela 16 são apresentadas as abordagens de cada livro para esta categoria.

Tabela 16 - Relação dos aspectos energéticos no conteúdo de forças intermoleculares.

Sub-Categoria	L1	L3	L5	L7	L8
Transição de fase ou quebra da ligação intermolecular	Existe uma pequena fração das moléculas com energias cinéticas muito altas, tendo assim velocidades muito elevadas. Se uma destas moléculas com alta velocidade estiver na superfície e se movimentando na direção correta, pode escapar da atração das outras moléculas e passar para a fase vapor. Quando isto acontece, dizemos que a molécula foi perdida por evaporação (ou, no caso da substância ser sólida, por sublimação). (p. 347)	Num dado instante, uma certa fração de moléculas na superfície adquire a mínima energia cinética necessária para vencer as forças intermoleculares, escapando do líquido. (p. 456)	Quanto maiores as forças de atração entre as moléculas em um líquido, maior será a energia que deve ser fornecida para separá-las. (p. 470)	A absorção de calor na evaporação e a liberação de calor na condensação são demonstrações diretas de que a energia de um líquido é menor do que a energia de um gás na mesma temperatura. Para que um líquido evapore, é preciso realizar trabalho contra as forças de atração entre as moléculas, e isto requer fornecimento de energia do ambiente na forma de calor. (p. 55) (Grifos nossos)	Quanto mais forte as forças intermoleculares em um líquido, maior é a energia necessária para separar as moléculas. Portanto, líquidos com forças intermoleculares fortes têm um alto ponto de ebulição. (p. 300)
Quantidade de energia na interação de ligações de hidrogênio em relação às outras formas de ligação intermolecular	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a quantidade de energia necessária para o rompimento de ligações de hidrogênio em relação aos demais tipos de interação.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a quantidade de energia necessária para o rompimento de ligações de hidrogênio em relação aos demais tipos de interação.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a quantidade de energia necessária para o rompimento de ligações de hidrogênio em relação aos demais tipos de interação.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a quantidade de energia necessária para o rompimento de ligações de hidrogênio em relação aos demais tipos de interação.</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar a quantidade de energia necessária para o rompimento de ligações de hidrogênio em relação aos demais tipos de interação.</i>
Na explicação do ponto de fusão e/ou ebulição	Isto significa que todo calor adicionado deve estar aumentando a energia potencial das moléculas.	Não utiliza o termo energia para explicar o ponto de fusão e o ponto de ebulição.	À medida que se eleva a temperatura de uma substância, suas moléculas adquirem	Não utiliza o termo energia para explicar o ponto de ebulição. O ponto de fusão não é discutido no texto.	Não deixa explícito onde trata o conceito de ponto de ebulição, porém o que está na página 433 no

	Durante a fusão, as moléculas, mantidas mais ou menos em posições rígidas no sólido, iniciam um processo de separação à medida que formam a fase líquida, onde possuem uma liberdade de movimento um pouco maior. (p. 355)		energia cinética. Por fim, quando o ponto de ebulição (p.e.) é atingido, as moléculas têm energia cinética suficiente para escapar às forças de atração das moléculas vizinhas. Quanto maiores essas forças de atração, mais alto será p.e. (p.470)		primeiro ponto abordado desta tabela, para este livro possibilita termos uma explicação completa da relação da energia e o conceito de ponto de ebulição.
Variável energética de quantificação	Utiliza a variação de Entalpia	Utiliza a variação de Entalpia	Utiliza a variação de Entalpia	Utiliza a variação de Entalpia.	Utiliza a variação de Entalpia
conceito de volatilidade	<i>Não relaciona o termo energia a este conceito</i>	<i>Não relaciona o termo energia a este conceito</i>	<i>Não relaciona o termo energia a este conceito</i>	<i>Não relaciona o termo energia a este conceito</i>	<i>Não utiliza o termo energia para explicar o conceito de volatilidade.</i>

Segundo (ROCHA, 2001), na aproximação de moléculas, átomos ou íons dois fenômenos podem ocorrer: (a) essas espécies podem reagir ou (b) interagir.

Uma reação química por definição requer que ligações químicas sejam quebradas e/ou formadas. Usualmente as energias envolvidas neste processo variam entre 209 a 418 kcal.mol⁻¹. Uma interação química significa que as moléculas se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra a quebra ou formação de novas ligações químicas. Estas são freqüentemente chamadas de interações não covalentes ou interações intermoleculares. As energias envolvidas em tais tipos de interações são muito menores que aquelas envolvidas em processos reativos, variando usualmente entre 2,1 a 41,8 kJ.mol⁻¹.

(ROCHA, 2001) relata que em processos como transição de fase, para que sejam quebradas ligações intermoleculares, ocorre a absorção ou liberação de energia entre as espécies que constituem o sistema.

Com relação a este aspecto percebe-se uma grande variedade de explicações nos textos dos livros de Química Geral analisados. Utilizam termos que vão desde uma abordagem microscópica, por exemplo, como L1 ao utilizar a expressão 'fração de energias cinéticas muito altas' como também uma relação entre conceitos por L7 explicando que para ocorrer a “*evaporação é preciso realizar trabalho contra as forças de atração entre as moléculas*” (MAHAN e MYERS, p. 55, 2000).

A abordagem do conteúdo de forças intermoleculares, possibilitando o entendimento da relação entre conceitos com o conteúdo de termodinâmica química é discutida por (Rocha, 2001) ao afirmar que as interações intermoleculares “estão intimamente relacionadas com as propriedades termodinâmicas de líquidos, sólidos e gases. Logo, o entendimento de tais forças intermoleculares é de extrema relevância se quisermos entender o comportamento de sistemas químicos a nível molecular” (ROCHA, 2001).

Neste conteúdo, também foi analisado se os autores deixam explícito que a quantidade de energia necessária para o rompimento de forças intermoleculares de

espécies em ligações de hidrogênio é maior que o rompimento de forças intermoleculares em outros tipos de ligação, como interações íon-dipolo; interações dipolo-dipolo; interações dipolo instantâneo-dipolo induzido. O intuito dessa análise foi observar se o livro deixa claro que existem diferentes tipos de ligações constituídas por diferentes espécies químicas. E ainda mostrar que a atração eletrostática entre essas diferentes espécies é diferente e conseqüentemente serão necessárias diferentes quantidades de energia para o rompimento da ligação. Como se observa na Tabela 16, nenhum dos livros utiliza o termo energia para explicar este aspecto.

De acordo com (JACQUES e MILARÉ, 2007) muitos conceitos são importantes e fundamentais para a compreensão da Ciência (neste caso a Química), sendo que alguns destes se constituem como pilares, sustentando e balizando os demais. Ainda segundo esses autores, existe uma categoria unificadora que favorece relações com outras áreas, em nível interdisciplinar, possibilitando assim, que seja minimizada a fragmentação dos conhecimentos científicos. Na busca por encontrar uma explicação, que utilize o termo energia, em processos físicos, como fusão e ebulição, observou-se que em processos tão importantes como estes o termo energia não é utilizado por todos os livros analisados. Porém, nesta análise foi possível perceber que os livros L1 e L5, trazem em suas explicações a idéia de transferência de energia quando especificam que *calor é adicionado* (L1) ou ocorre *elevação da temperatura* (L5), o que caracteriza uma relação de conceitos no fenômeno em estudo e a primeira lei da termodinâmica e, uma relação microscópica ao abordar que *as moléculas, mantidas mais ou menos em posições rígidas no sólido, iniciam um processo de separação* (L1) e *as moléculas têm energia cinética suficiente para escapar às forças de atração das moléculas vizinhas* (L5).

Ainda na análise desta categoria foi interessante observar que todos os livros utilizam a variação de entalpia como variável termodinâmica de quantificação nos processos de transição de fase e não estabelecem importância à entropia. Mas não utilizam o termo energia para explicar o conceito de volatilidade.

5.1.6 Categoria 6: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de soluções

Esta categoria mantém estreita relação com a anterior, pois a formação de uma solução se dá pela quebra de ligações intermoleculares que contém diferentes espécies ligadas. Na formação de cada solução, o saldo líquido de energia pode ser positivo (formação de solução endotérmica) ou negativo (formação de solução exotérmica). Portanto, neste conteúdo o termo energia é utilizado para especificar o saldo líquido da interação entre as espécies químicas durante a formação da solução e também para quantificar essa variação pela variável termodinâmica entalpia. Caso não haja saldo líquido de energia a solução formada é chamada de ideal.

A Tabela 17 mostra a abordagem dos livros textos para os seguintes aspectos nesse conteúdo: na explicação da formação de uma solução; na análise do processo de dissolução; quantidade de energia envolvida na dissolução; efeitos da solubilidade; propriedades coligativas na explicação da osmose.

Tabela 17 - Relações energéticas no conteúdo de Soluções e Propriedades Coligativas.

Sub-Categoria	L1	L3	L5	L7	L8
Na explicação da formação de uma solução	Como as forças de atração intermoleculares são muito importantes quando estão envolvidos líquidos e sólidos, a formação de uma solução está inevitavelmente associada com a energia ou com as trocas de entalpia. (p. 380)	Não utiliza o termo energia para explicar a formação de uma solução.	Não utiliza o termo energia para explicar a formação de uma solução.	Embora a mistura de gases ideais seja controlado pela entropia, a mistura de moléculas que interagem entre si pode certamente ser controlada pela energia. no processo de mistura, as interações moleculares farão com que a energia ou aumente ou diminua. (p. 62)	Não deixa claro o uso do termo energia para caracterizar a formação de uma solução, porém fala sobre todas as variáveis termodinâmicas macroscópicas envolvidas.
Na análise do processo de dissolução	A energia potencial do sistema diminui, pois as partículas de solvente e soluto se atraem. (p. 380)	É liberada mais energia quando seus íons tornam-se hidratados do que é usada para romper seu retículo cristalino, e o excesso apresenta-se na forma de calor. (p. 520)	Primeiro, vemos que a energia necessária para desmanchar o retículo cristalino é essencialmente recuperada pela energia de atração entre os íons e as moléculas de água. (p. 521)	Não utiliza o termo energia para explicar o processo de dissolução.	Compostos formados de íons pequenos, altamente carregados (como Mg^{2+} e O^{2-}) ligam-se fortemente e que muita energia é necessária para quebrar a rede. (p.446)
Quantidade de energia envolvida na dissolução.	Utiliza o termo energia de dissolução e quantifica através da variável entalpia de solução.	Não utiliza o termo energia para especificar a quantidade de energia envolvida na dissolução.	Não utiliza o termo energia para especificar a quantidade de energia envolvida na dissolução.	Não especifica, no capítulo de soluções, uma grandeza para quantificar a energia envolvida na dissolução.	Não utiliza o termo energia para especificar a quantidade de energia envolvida na dissolução.
Efeitos da solubilidade	Não utiliza relaciona o termo energia a solubilidade de sólidos e gases.	Não relaciona o termo energia a solubilidade de sólidos e gases.	Não relaciona o termo energia a solubilidade de sólidos e gases.	Não utiliza o termo energia para explicar a solubilidade de sólidos e gases.	Não relaciona o termo energia a solubilidade de sólidos e gases.
Propriedades coligativas	Como a fração de moléculas de solvente com energia suficiente para escapar é menor nesta solução, a taxa de evaporação em consequência também é menor. (p. 391)	Não utiliza o termo energia para explicar nenhuma das propriedades desta categoria	Não utiliza o termo energia para explicar nenhuma das propriedades desta categoria	Uma vez que as moléculas de uma tal solução encontram-se numa condição de alta energia, não nos surpreende que tenham uma tendência cada vez maior de escapar da solução, e que a pressão de vapor de cada um dos componentes seja maior	A presença de um soluto na fase líquida do solvente aumenta a entropia do solvente e conseqüentemente abaixa a energia livre. (p. 454)

				que o previsto pela lei de Raoult. (p.75)	
Na explicação da osmose.	Não utiliza o termo energia para explicar a osmose.	Não utiliza o termo energia para explicar a osmose.	Não utiliza o termo energia para explicar a osmose.	Não utiliza o termo energia para explicar a osmose.	À esquerda da membrana semipermeável está o solvente puro com suas entalpia molar, entropia e energia livre características. À direita, está a solução. A energia livre molar do solvente é mais baixa na solução (um efeito de entropia), assim há uma tendência espontânea para o solvente fluir para a solução. (p. 458 - Fig. 8.37)

Fialdov, (1985) apud Echeverria, (1993) afirma que “a formação de uma solução é sempre a interação química da substância dissolvida com o dissolvente, e precisamente esta interação dá a energia necessária para desintegrar as moléculas neutras do eletrólitos em íons” (1993, p. 44). Na abordagem da categoria soluções o primeiro aspecto observado foi a relação entre o uso do termo energia e a explicação da formação de uma solução. Em todos os livros analisados, foi observado que não existe um caráter distinto de explicação da formação de uma solução usando o termo energia. Desta análise, também se pôde observar que os livros que trazem uma explicação em função do uso do termo energia, não utilizam uma explicação uniforme dos estados da matéria para a interação de partículas durante a formação de uma solução, pois o livro L1 explica a formação de solução entre espécies que se encontram no estado sólido e líquido e o livro L7 utiliza a explicação para a formação de uma solução entre partículas gasosas. O fato de não se especificar quais os estados da matéria envolvidos na formação de uma solução pode não evidenciar o entendimento energético envolvido no processo, uma vez que a interação entre espécies químicas nos diferentes estados da matéria necessitam de diferentes quantidades de energia no processo de interação para formação de uma solução.

Em L5, é importante destacar o reconhecimento, do autor, da termodinâmica na explicação da formação de uma solução de octano e tetracloreto de carbono

“Espera-se que o processo de dissolução seja quase energeticamente neutro; então, por que se misturam? A resposta encontra-se mais profundamente na termodinâmica (KOTZ e TREICHEL, v. 1, p. 518).

Porém, como observado na Tabela 17, o autor não utiliza o termo energia para explicar a formação de uma solução.

De acordo com a Tabela 17, percebe-se que, apesar de alguns livros utilizarem termos que conduzem ao entendimento microscópico do fenômeno (L3, L5 e L8), não existe uma explicação comum em relação ao processo de dissolução. Essa constatação pode ser observada se compararmos as explicações dadas entre L8 e a explicação dada por L3 e L5, e ainda entre esses e a explicação do livro L1, que explica o processo de dissolução apenas utilizando aspectos macroscópicos como soluto e solvente.

As solubilizações de diferentes espécies químicas apresentam diferentes valores de energia durante o processo de dissolução. Cada valor é característico do tipo de interação existente entre as espécies ligadas quimicamente. De acordo com a Tabela que aborda a categoria soluções pode-se observar que nenhum dos livros utiliza o termo energia para explicar sobre a quantidade de energia envolvida nesses processos. Assim como na abordagem do aspecto quantidade de energia envolvida na dissolução, o termo energia também não é utilizado, por nenhum dos livros analisados, para explicar um dos efeitos que altera a solubilidade de determinada espécie em solução.

Segundo (SANTOS et. al, 2002) o termo *Coligar* advém do latim *colligare*, e significa unir, ligar, juntar, juntar para um fim comum. As denominadas propriedades coligativas referem-se a quatro propriedades físicas que são características de soluções diluídas – abaixamento crioscópico, pressão osmótica, elevação do ponto de ebulição e abaixamento da pressão de vapor –, cujos comportamentos são correlacionados pelo fato de dependerem do número de partículas de soluto presente (independente de sua natureza química) em dada quantidade de determinado solvente.

Todas têm em comum o fato do potencial químico do solvente no estado líquido ser diminuído na presença de um soluto (solução no estado líquido), de tal forma que o equilíbrio com a fase vapor (para solutos não-voláteis) ou com a fase sólida seja estabelecido em temperaturas diferentes, a uma dada pressão, ou a pressões diferentes a uma dada temperatura.

Analisando as explicações dadas pelos livros textos L3 e L5, percebe-se, de forma geral, que estes não utilizam o termo energia na explicação das propriedades coligativas. Porém, nos livros L1, L7 e L8, observa-se que não existe uma explicação uniforme na utilização do termo energia. Apesar de L1 e L7 possibilitarem um entendimento microscópico da matéria, quando utilizam termos como *fração de moléculas* e *moléculas de tal solução encontram-se numa condição de alta energia*, esses não relacionam as propriedades das soluções a fatores termodinâmicos. Diferentemente do que expõem esses livros, L8 não aborda o aspecto microscópico, mas

mostra em sua explicação uma relação integrada das propriedades coligativas com três fatores termodinâmicos.

Na explicação do processo de osmose somente o livro L8 utiliza fatores termodinâmicos, ou seja, que envolve energia, para explicar o processo. Porém, nenhum mostra a relação microscópica do processo em termo energéticos.

5.1.7 Categoria 7: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de gases

Por se tratar de um conhecimento abstrato da matéria a categoria gases foi analisada no intuito de verificar a relação do uso do termo energia com este conhecimento. Nesta perspectiva, dois aspectos foram abordados: a questão da transferência de energia durante a colisão das espécies químicas gasosas e o aumento da temperatura sobre uma amostra gasosa, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Relação de aspectos energéticos e o conteúdo de gases.

Sub-Categoria	L1	L3	L5	L7	L8
Transferência de energia durante uma colisão.	Não utiliza o termo energia para explicar a transferência de energia durante a colisão das espécies.	Todas as colisões são elásticas, isto é, não há perda (ou ganho) resultante de energia cinética em cada colisão. (embora uma molécula possa perder energia para uma outra durante a colisão, a energia total do par que colide permanece inalterada.) (p.178) [Grifos Nossos]	Não utiliza o termo energia para explicar a transferência de energia durante a colisão das espécies.	Não utiliza o termo energia para explicar a transferência de energia durante a colisão das espécies.	Não utiliza o termo energia para explicar a transferência de energia durante a colisão das espécies.
Aumento da temperatura.	A temperatura de um gás é proporcional a média da energia molecular cinética de suas partículas. (p. 325)	A energia cinética média de todas as moléculas é contudo, proporcional à temperatura absoluta. (p 178)	A energia cinética média das partículas do gás é proporcional à temperatura do gás. Todos os gases, independentemente de sua massa molecular, têm a mesma energia cinética média na mesma temperatura. (p.452)	Energia cinética translacional média por mol de gás igual a $3/2 RT$. (p. 30)	A energia cinética molar de um gás ideal é a energia média de uma molécula (a quantidade que acabamos de calcular) multiplicada pelo número de moléculas por mol (a constante de Avogadro). Portanto, $E_c=(3/2RT)$ vemos que a energia cinética molar aumenta proporcionalmente á temperatura ... (p. 285)

A partir da tabela acima, observa-se que os livros L1, L5, L7 e L8 não utilizam o termo energia para designar a transferência de energia durante a colisão das espécies que constituem um sistema gasoso. Esse aspecto é abordado apenas no livro L3 que possibilita um detalhamento do processo de transferência de energia e da visão microscópica da teoria atômica molecular quando deixa explícito que “*uma molécula pode perder energia para outra durante a colisão, a energia total do par que colide*”

permanece inalterada”(RUSSEL, p. 178, 2006). Por outro lado, todos os livros utilizam o termo energia para explicar o aumento da temperatura em um sistema gasoso. Porém, é importante observar a explicação dada pelo livro L7 que traz sua explicação em pela representação matemática da equação $3/2RT$.

De forma geral essa explicação condiz com o que exposto pelo autor quando ele deixa explícito em seu prefácio que o livro foi elaborado para um grupo de estudantes selecionados de uma determinada universidade e bem preparados em matemática.

5.1.8 Categoria 8: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de cinética química

Nesta categoria o termo energia é utilizado implicitamente para justificar o aumento da velocidade da reação quando a temperatura aumenta. Podendo ser, o fornecimento em forma de calor, que dependendo do estado em que as espécies encontram-se, leva ao rompimento de interações intermoleculares possibilitando uma maior interação entre duas ou mais espécies diferentes que participam da reação.

Entre os pontos abordados, optou-se nesta categoria pela análise do aumento da temperatura na reação; energia de ativação e a presença de catalisador. Na Tabela a seguir são apresentadas as abordagens dos livros para estes pontos.

Tabela 19 - Relação de aspectos energéticos no conteúdo de Cinética Química.

Sub-Categoria	L2	L4	L6	L7	L8
Aumento da Temperatura do sistema em estudo.	Não utiliza o termo energia para explicar a influência da temperatura sobre a velocidade.	Não utiliza o termo energia para explicar a influência da temperatura sobre a velocidade.	Não utiliza o termo energia para explicar a influência da temperatura sobre a velocidade.	Não utiliza o termo energia para explicar a influência da temperatura sobre a velocidade.	Não utiliza o termo energia para explicar a influência da temperatura sobre a velocidade.
Na explicação do conceito de energia de ativação.	Podemos entender a existência da energia de ativação estudando em detalhes o que realmente acontece durante uma colisão. Para ligações antigas se quebrarem e novas ligações se formarem, o núcleo atômico dentro das partículas que colidem deve ficar suficientemente coeso. As moléculas num curso de colisão devem, portanto, estar se movendo com uma energia cinética combinada grande o suficiente para superar as repulsões naturais entre as nuvens de elétrons. Caso contrário, as moléculas simplesmente mudariam de direção ou saltariam separadamente. Somente as moléculas rápidas com grande energia cinética podem colidir com energia de colisão suficiente para permitir que os núcleos e os elétrons superem as repulsões e então alcancem as posições requeridas para a quebra da ligação e formem as ligações que a mudança química exige. (p. 14)	Não utiliza o termo energia como fator determinante da quebra de ligações químicas para iniciar a reação.	Isso, porém, requer energia considerável, pois, para que ocorra uma rotação em torno de uma ligação π dupla, a ligação C=C deve ser rompida (veja a página 361 do capítulo 10, vol. 1) Podemos observar essa reação sob o ponto de vista da energia do sistema (Figura 15.14). para que o cis-2-buteno submeta-se a um movimento de torção, a energia do sistema deve aumentar, atingindo um valor máximo quando a torção é de 90°. Esse máximo no diagrama de energia potencial representa a barreira da energia de ativação. (p. 25; L6)	Não utiliza o termo energia como fator determinante da quebra de ligações químicas para iniciar a reação.	Não utiliza o termo energia como fator determinante da quebra de ligações químicas para iniciar a reação.
Na explicação da função de um catalisador em uma reação química.	Utiliza o termo energia somente para especificar que uma reação catalisada possui menor energia de ativação que uma reação não catalisada.	Utiliza o termo energia somente para especificar que uma reação catalisada possui menor energia de ativação que uma reação não catalisada.	Não deixa explícito o uso do termo energia para explicar a função do catalisador na reação.	Não utiliza o termo energia como fator determinante da quebra de ligações químicas para iniciar a reação.	Utiliza o termo energia somente para especificar que uma reação catalisada possui menor energia de ativação que uma reação não catalisada.

Na Tabela 19, observa-se que os livros analisados não utilizam explicitamente o termo energia na explicação do aumento de temperatura de uma reação química, informando apenas, de forma não explicativa, que o aumento da temperatura aumenta a velocidade da reação. De forma geral esta abordagem não é exclusiva dos livros didáticos do ensino superior, tendo em vista que, Martorano (2007) analisou material didático do nível médio com relação as concepções de ciência no conteúdo de cinética química destacando que a abordagem do aumento da temperatura sobre a velocidade de uma reação não apresentava uma visão microscópica do tema em estudo. De forma geral van't Hoff chamou atenção quando escreve em seu trabalho sobre a influência da temperatura em uma reação química que

[..] a princípio, procurou-se atribuir a influência da temperatura sobre a velocidade das reações ao aumento do número de encontros moleculares que, de acordo com a teoria cinética, toda elevação de temperatura provoca. Contudo, a comparação dos dados da teoria cinética, com os resultados obtidos no estudo da velocidade das reações, mostra-nos que esta explicação é insuficiente. Deve-se antes admitir que a elevação da temperatura aumenta, não somente o número de encontros moleculares, como a própria proporção de encontros moleculares eficientes. Em outras palavras, a elevação da temperatura ativa às moléculas, isto é, aumenta as suas possibilidades de reação. A elevação da temperatura afrouxa, até romper, a união que mantém os átomos na estrutura da molécula, facilitando, conseqüentemente, a formação de novas moléculas. (JUSTI apud MARTORANO, p.107, 2007).

Considerar estes pontos na análise dos livros de Química Geral revela que estes não utilizam o termo energia não apenas para o aumento da temperatura, mas também na explicação da função de um catalisador em uma reação química.

Os livros L2 e L6 utilizam o termo energia na explicação do conceito de energia de ativação como fator determinante da quebra de ligações químicas para iniciar uma reação. Particularmente em L2 a discussão é feita de forma geral, o que possibilita um entendimento global da situação para diversos sistemas em estudo, e em L6 a discussão é feita de forma mais específica por tratar de um caso de quebra de ligação carbono-carbono.

5.1.9 Categoria 9: A energia e os conceitos relacionados ao conteúdo de equilíbrio químico

Nesta categoria foi analisada a relação do termo energia com a disponibilidade de ser esta o fator primordial que possibilita que as espécies, que constituem o sistema, possam reagir para atingir o equilíbrio.

Tabela 20 - Relação de aspectos energéticos no conteúdo de equilíbrio químico.

Sub-Categoria	L2	L4	L6	L7	L8
Na explicação da disponibilidade de energia entre as espécies que constituem o sistema para poder reagir e atingir o equilíbrio.	Não utiliza o conceito de energia livre no capítulo referente ao conteúdo de equilíbrio químico.	Não utiliza o conceito de energia livre no capítulo referente ao conteúdo de equilíbrio químico.	Não utiliza o conceito de energia livre no conteúdo de equilíbrio químico.	Natureza termodinâmica. A quarta generalização diz que o estado de equilíbrio representa um meio-termo entre duas tendências opostas: a propensão das moléculas a assumir o estado de energia mínima e o ímpeto em direção a um estado de entropia máxima. (p. 84)	Para encontrar como ΔG_r muda com a composição, necessitamos conhecer como a energia livre molar de cada substância varia com sua pressão parcial, se for um gás, ou com a concentração, se for um soluto. (p. 477)

Analisando o aspecto abordado nesta categoria, percebe-se que os livros L2, L4 e L6 não utilizam o termo energia para explicar o conteúdo de equilíbrio químico. Já o livro L7, apesar de não fazer um detalhamento explícito da energia na abordagem do conteúdo de equilíbrio, sinaliza que um sistema atinge um estado de energia mínima quando as espécies que o constituem atinge o equilíbrio. Apesar do livro L8, não fornecer uma explicação que possibilite uma visão microscópica, o mesmo trabalha evidentemente o uso da variável macroscópica energia livre e sua relação com a composição do sistema o que caracteriza uma relação entre o conteúdo de equilíbrio com a termodinâmica química.

Nota:

O termo energia também é muito utilizado na explicação de diversos conceitos dos conteúdos de eletroquímica e química nuclear (radioatividade), porém não foi mostrada sua relação com esses conteúdos porque nas atividades da oficina que justifica esta tese

não havia nenhuma reação ocorrendo com os conceitos envolvidos nesses conteúdos. Ficando assim a proposta em aberto para trabalhos futuros de utilização do termo energia nesses conteúdos.

5.2 CONCEPÇÕES PRÉVIAS DOS ALUNOS DE QUÍMICA SOBRE O CONCEITO DE ENERGIA

Segundo Nigro e Campos (1999), os conceitos são representados por palavras que possuem um significado específico e, quando ouvidos, produzem uma imagem mental na estrutura cognitiva do indivíduo que escuta.

Embora a definição de conceitos em um nível microscópico da matéria que permeia o conceito de energia seja básica, no entendimento de diversos fenômenos de interesse da ciência, não é simples defini-lo, uma vez que se refere a capacidade de realizar trabalho e, está relacionado ao uso das primeiras máquinas térmicas, na qual a energia potencial química armazenada na madeira era usada para a produção de vapor fazendo com que tais máquinas funcionassem (MORTIMER e AMARAL, 1998). Esse conceito, que faz parte das idéias centrais da aprendizagem de Ciências no nível básico, tem um maior desenvolvimento quando se opta no nível superior de ensino por cursos da área de ciências exatas como no caso do curso de Química.

Várias pesquisas discutem o entendimento das formas de energia no ensino e aprendizagem dessas áreas, dentre elas podemos citar a química (BARROS, 2009, SILVA, S. M. et. al, 2007, SILVA, 2005), a física (GUARIGLIA, VIGGIANO e MATTOS, 2009; BUCUSSI, 2006; SOLBES e TARIN, 2004) e a biologia (BARROS et. al. 2010).

De acordo com o princípio da conservação da energia ou primeira lei da termodinâmica a energia não pode ser criada nem destruída. Fato pelo qual podemos caracterizar diversas formas de energia como já discutido no capítulo três, item 3.1. O entendimento sobre a caracterização dessas formas de energia geralmente se dá no nível

médio de ensino. Porém, o que se tem observado na literatura atual é que nem sempre isto acontece (GRINGS, CABALLERO e MOREIRA, 2008).

Como já sinalizado, o 2º objetivo desta pesquisa consistia em identificar as concepções de alunos no curso de Química da UFRN sobre as formas de energia e sua relação com conceitos químicos. Assim, é apresentada a seguir uma breve caracterização dos participantes nesta fase da pesquisa, seguidas das questões e as respectivas análises das respostas expressas por eles.

Responderam ao instrumento presente no Apêndice 1, quinze alunos que estavam concluindo a disciplina de química fundamental II, no mês de dezembro de 2009, ou seja, praticamente após estudo das duas disciplinas que discutem conceitos abordados ao nível de química geral (química fundamental I e II). A caracterização dos alunos participantes se encontra no Quadro 2.

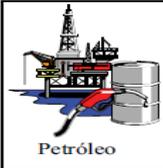
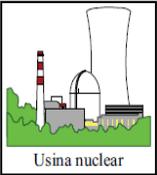
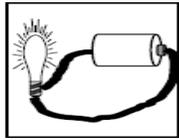
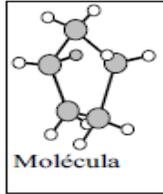
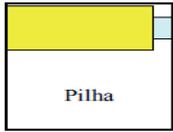
Ano de Conclusão do Ensino Médio		Tipo de escola onde cursou o ensino médio		Ano de entrada no curso de Química da UFRN	
Ano	Nº de aluno(s)	Tipo de escola	Nº de alunos	Ano	Nº de alunos
2008	7	Privada	9	2009.1	11
2007	3				
2006	3	Pública	3	2008.1	4
2003	1				
1977	1	Técnica	3		

Quadro 2 - Caracterização dos alunos participantes da primeira etapa da pesquisa.

Como observado no Quadro 2 a maioria dos alunos participantes da pesquisa ingressaram no curso de química no primeiro semestre de 2009 e pelo fato de estarem cursando a disciplina de química fundamental II no semestre 2009.2, entende-se que

estes já haviam cursado disciplinas do ciclo básico de estudos da química geral, evidenciando que os mesmos devem apresentar conceitos prévios sobre o uso do conceito energia em meio conteúdo químico.

a) **Questão 1:** Você certamente já ouviu falar de energia no seu dia-a-dia. Baseado nos seus conhecimentos, especifique no quadro abaixo, qual forma de energia está presente em cada uma das imagens.

Figura em Análise	Termo mais citado	Nº de citações	Figura em Análise	Termo mais citado	Nº de citações
 Petróleo	Combustão Energia química Energia combustível Energia potencial	7 4 3 1	 Sol - planta	Energia solar Energia térmica Energia química	13 1 1
 Usina nuclear	Energia nuclear	15		Energia elétrica Energia química Energia elétrica (luminosa) Energia potencial	12 1 1 1
 Chama	Energia térmica Combustão Energia luminosa Energia do gás Reação	7 4 2 1 2	 Refeição (alimento)	ATP Energia química Caloria/energia calórica Bioenergia Mássica	4 3 3 2 1
 Molécula	Energia de ligação Energia molecular Ligacional Energia potencial Atômica	7 4 1 1 1	 Pilha	Energia química Energia elétrica Eletroquímica Energia potencial Bateria	5 4 3 2 1

Quadro 3 - Respostas dos Alunos recém egressos no curso de química da UFRN sobre as formas de energia.

No Quadro 3 os alunos relacionam algumas figuras à linguagem cotidiana como, por exemplo, combustão, energia calórica, caloria, luminosa e bateria. Por outro lado, outros alunos utilizam uma linguagem mais específica como, por exemplo, energia potencial, energia química, energia térmica, energia nuclear e energia de ligação.

Pode-se atribuir o uso desses termos, para especificar formas de energia, aos contatos iniciais das primeiras disciplinas do nível superior de ensino, uma vez que, diversas pesquisas demonstram que alunos de outros níveis de ensino não utilizam essa linguagem na caracterização das formas de energia (BARBOSA e BORGES, 2006; CARDENAS e LOZANO, 1996).

Ainda na análise das expressões utilizadas pode-se destacar que alguns alunos ainda atribuem o caráter substancialista da energia, ao utilizar palavras como caloria, energia do gás e mássica, tratando-a como algo real e que tem existência material, uma idéia em desacordo com a conceitualização da física clássica que lembra o calórico do século XIX (JIMENEZ, BLANCO NIETO e MACIAS, 1999).

b) Análise das Questões 2 a 4:

Na questão 2 foi solicitado aos alunos que listassem cinco conteúdos estudados nas disciplinas de química fundamental que envolvem o conceito de energia. As respostas dos catorze alunos(as) recém egressos na licenciatura em química da UFRN que responderam a essa questão se encontram no Quadro 4. Nesse quadro, cada aluno é identificado por uma letra.

Aluno (a)	Expressão Utilizada
A	Forças intermoleculares, energia livre, entalpia, entropia e termodinâmica.
B	Energia são os deslocamentos de elétrons; Energia é a transformação da matéria; é a transformação de um campo elétrico de uma forma de energia em energia elétrica. Movimento de energia: é acúmulo de cargas elétricas.
C	Átomo de Bohr, orbitais atômicos, orbitais moleculares, termodinâmica e equação de Schrödinger.
D	Energia de ligação, energia livre, entalpia, termodinâmica e entropia.
E	Ligação química, termodinâmica e eletroquímica
F	Átomo de Bohr, função de onda, estrutura atômica, físico-química e cinética.
G	Termodinâmica, eletroquímica, cinética química, estrutura atômica, forças intermoleculares.
H	Estrutura atômica, forças intermoleculares, ligações químicas, eq. química e termodinâmica.
I	Forças intermoleculares, termodinâmica química, cinética e equilíbrio químico.
J	Termodinâmica, interações moleculares e cinética
L	Cinética química; termodinâmica, Elementos químicos (tabela periódica e suas propriedades); Equilíbrio químico e reações químicas
M e N	Termodinâmica
O	Interações moleculares; cinética e termodinâmica.
P	Termodinâmica, equilíbrio, energia de ligação, geometria e entalpia.

Quadro 4 - Conteúdos relacionados ao conceito de energia.

Deste quadro determinou-se o percentual de citações a cada conteúdo expresso na Tabela 21:

Tabela 21 - Percentual dos conteúdos químicos pelos alunos.

Nº citações	Conteúdo químico	Porcentagem (%)
13	Termodinâmica	23,63
6	Cinética química	10,90
	Forças intermoleculares	
4	Equilíbrio químico	7,27
3	Entalpia	5,45
	Estrutura atômica	
2	Átomo de Bohr	3,64
	Eletroquímica	
	Energia de ligação	
	Energia livre	
	Entropia	
1	Ligação química	1,82
	Equação de Schrödinger	
	Estrutura atômica	
	Físico- química	
	Função de onda	
	Geometria	
	Orbital atômico	
	Orbitais moleculares	
	Tabela periódica e suas propriedades	
	Reações químicas	

A partir da Tabela 21 observa-se que o conteúdo que os participantes mais relacionaram com o conceito de energia foi a Termodinâmica. Por outro lado, a *questão três*, Apêndice 1, dava como opção de resposta cinco conteúdos estudados em química fundamental e solicitava aos alunos que identificassem qual conteúdo estudado no curso de química se utilizava de formas de energia para quantificar as reações químicas. Um dos fatos mais interessantes nessa resposta é que a maioria das respostas dos alunos, aproximadamente vinte e três por cento, respondem que são conteúdos como forças intermoleculares, eletroquímica e cinética química. Em nossa análise isso nos indica que esses alunos parecem ter certeza de que o conteúdo de termodinâmica química se utiliza de formas de energia para estudar as reações químicas, mas não parecem compreender que esse conteúdo está relacionado com diversos outros conteúdos químicos para quantificar as reações químicas.

Ainda na análise das concepções de graduandos em química sobre formas de energia para quantificar as reações químicas, o item quatro, Apêndice 1, solicitou aos alunos que respondessem qual(is) formas de energia (energia livre, entalpia, entropia e/ou energia livre) poderiam ser utilizadas para quantificar as reações químicas. Das respostas a essa questão observa-se que a maioria dos alunos marcou apenas a entalpia quando poderiam ter assinalado todas as variáveis energéticas. De forma geral, pode-se sinalizar pelas respostas que os alunos reconhecem que o conceito de energia é estudado em termodinâmica, porém não entendem que uma ou mais variáveis macroscópicas podem ser utilizadas para quantificar reações químicas. A Figura 5 mostra a porcentagem das respostas desse item:

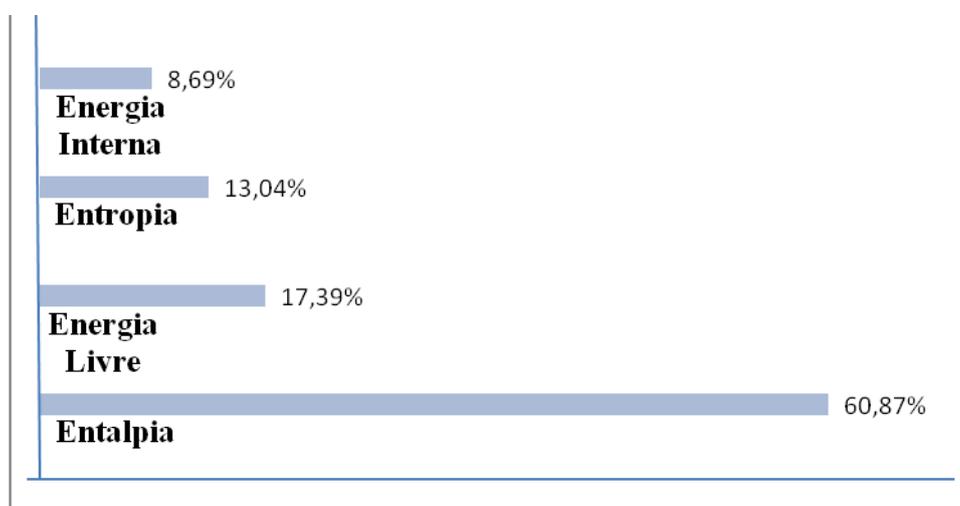


Figura 5 - Respostas a questão 4 do questionário

Acreditamos que esse grande número de marcações na função entalpia pode ser relacionado à ênfase dada apenas ao cálculo da variação de entalpia das reações químicas em detrimento das outras funções termodinâmicas, na disciplina de química geral ou pelas concepções advindas de outros níveis de ensino quando o próprio livro didático não faz uso de outras variáveis termodinâmicas (NÓBREGA, SILVA e SILVA, 2007; USBERCO e SALVADOR, 2006; BIANCHI, ALBRECHT e DALTAMIR, 2005 e SARDELLA, 2005) o que de certa forma leva os alunos que estudam química, em qualquer nível de ensino, a acreditar que a única variável termodinâmica que pode ser calculada para determinar as variações de energia é a entalpia. Ainda segundo Furió, Solbes e Furió, (2005), analisar apenas a variação de entalpia em detrimento das outras funções termodinâmicas pode limitar a aplicação da termodinâmica em sistemas químicos.

6 Processo de ensino-aprendizagem do conceito de energia no ciclo de estudos

Neste capítulo serão apresentadas as atividades desenvolvidas no ciclo de estudos e a análise do processo de ensino e aprendizagem dos participantes (3º objetivo específico). Neste sentido, a verificação ou avaliação deste foi realizada por meio de diferentes instrumentos.

6.1 O CICLO DE ESTUDOS: AS ATIVIDADES

As situações de ensino ou também conhecidas como unidade didática consiste em uma seqüência de atividades de ensino planejadas com a intenção de promover a aprendizagem de determinados conteúdos⁶. Quer dizer, ensina-se e aprende-se por meio de atividades, por isso o planejamento é tão relevante para que possam possibilitar um fluxo de interações entre os alunos e o professor (SILVA e NEVES, 2006). Para Zabala (1998, p.17), a seqüência didática deve considerar, entre outras, as relações entre os alunos, o professor e os conteúdos, assim como os objetivos, para que possam promover uma participação mais ativa dos alunos.

A pesquisa em Educação Química vem propondo nos últimos anos diferentes propostas de ensino (CAMPANARIO e MOYA, 1999), mas todas possuem alguns pontos em comum, a saber: problematização; desenvolvimento das atividades; sistematização dos conteúdos e verificação da aprendizagem (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002):

a) Problematização e/ou atividades de iniciação orientadas são situações de exploração, explicação, planejamento de problemas ou hipóteses iniciais. São atividades que têm como objetivo facilitar, tanto no sentido dos alunos definirem o problema do fenômeno a estudar como no sentido de explicitarem suas representações mentais explicativas (concepções) para o fenômeno.

b) Desenvolvimento das atividades: têm como objetivo criar um ambiente para promover a evolução dos modelos mentais iniciais dos alunos com a introdução de

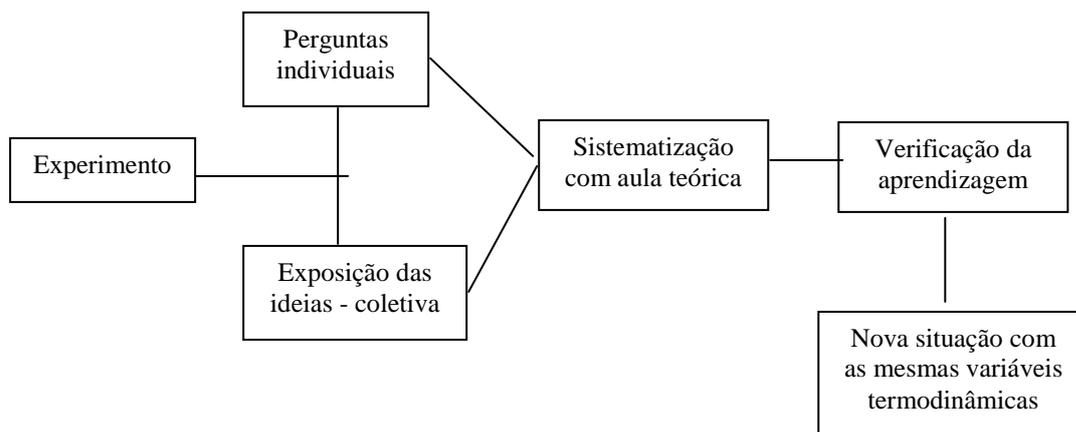
⁶ Entendendo conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais.

novas variáveis, de identificação de outras formas de observar e de explicar ou de reformulação de problemas;

c) Sistematização das atividades: são orientadas pelo professor na elaboração de conclusões levando a estruturação do conhecimento.

d) Verificação da aprendizagem em novos contextos: e/ou de generalização. Essas atividades estão orientadas no sentido de transferir as novas formas de ver e de explicar as outras situações, as quais são mais complexas que as iniciais.

Participaram do ciclo de estudos um novo grupo de alunos(as) constituídos de 10 alunos do turno diurno e 11 do noturno, totalizando 21 alunos da disciplina de instrumentação do ensino da química, do sétimo período da licenciatura em química da UFRN. O esquema a seguir ilustra a organização geral do ciclo de estudos.



Esquema 3: Seqüência de atividades do ciclo de estudos

Uma breve caracterização, no intuito de saber quais disciplinas do curso de química os participantes do ciclo de estudo cursaram foi feita e apresentada no Quadro 5.

Disciplina	Número de alunos	Porcentagem (%)
Química Fundamental I e II	21	100
Alguma disciplina do grupo da Química Inorgânica.	20	95,2
Alguma disciplina do grupo da Química Orgânica.	20	95,2
Alguma disciplina do grupo da Química Analítica.	18	85,7
Alguma disciplina do grupo da Físico-Química.	14	66,7

Quadro 5 - Caracterização dos participantes do sétimo período da licenciatura em química no ciclo de estudos.

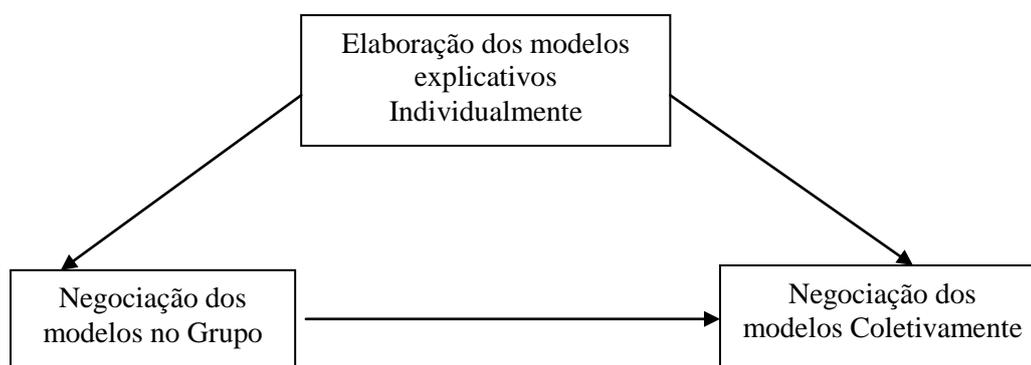
Como observado pelo Quadro 5 mais de 65% dos alunos participantes do ciclo de estudos proposto nesta tese, já tiveram contato com todas as áreas de conhecimento do curso de química. Sendo este um indicativo de que em várias dessas disciplinas o conceito de energia deve ter sido explorado na aprendizagem do conhecimento químico. Vale ressaltar que como objeto de pesquisa desta tese é o conteúdo explorado nas disciplinas de química fundamental I e II que diante do Quadro 5 representa cem por cento dos alunos participantes. Ainda de acordo com esse Quadro 66,7% por cento dos alunos já cursaram a disciplina de físico-química, o que mostra que mais da metade dos participantes do ciclo já tiveram um contato mais aprofundado com o conceito de energia. A seguir apresentamos os principais modelos explicativos, construídos pelos alunos, durante o ciclo de estudos.

6.1.1 Modelos explicativos sobre a reação com alumínio

A luz deste esquema optou-se em iniciar o ciclo por meio de uma atividade de problematização (o experimento). Este possuía como objetivo levantar os modelos explicativos dos participantes sobre o fenômeno por meio de duas habilidades cognitivo-linguísticas: descrever (nível macroscópico) e explicar (nível microscópico). Descrever, neste caso, implica em observar objetos e fenômenos, fazer um registro qualitativo dos dados e das observações (PRO BUENO, 1995 apud NIGRO e CAMPOS, 1999). Já explicar refere-se “as representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta. Este nível se constrói mediante a informação proveniente de nossos sentidos, baseado em propriedades organolépticas, visuais, auditivas e tácteis” (JOHNSTONE, 1991 apud GALAGOVSKY, 2003).

Para tanto a dinâmica das atividades consistiam em uma etapa individual, outra discussão em grupos pequenos com o objetivo de negociar os modelos explicativos individuais e, posteriormente apresentação e discussão no grande grupo. Assume-se que os modelos explicativos constituem em representações mentais dos participantes.

Durante esta etapa realizou-se uma intervenção por meio de entrevista coletiva para esclarecer pontos nas falas dos participantes. Os grupos utilizaram nomes de batismos de modo a descaracterizar a identidade dos participantes. O esquema a seguir ilustra a negociação dos modelos explicativos durante as atividades.



Esquema 4: Representação das negociações dos modelos explicativos do fenômeno

As falas dos participantes foram organizadas em tabelas e categorizadas de acordo com a metodologia de Bardin (2004). Na Tabela 22 é apresentado o número de citações para a descrição realizada pelos participantes para a reação entre alumínio e HCl.

Tabela 22 - Descrição da reação entre alumínio e ácido clorídrico aquoso.

Recorte da fala	Categoria evidência de uma reação	nº de citações
Desprendimento de gás/libera uma fumaça/Formação de bolhas/Houve ebulição nesta reação	liberação de gás	25
Destruição da amostra/O anel se dissolve formando uma solução/Até que o anel da lata derrete	consumo de um dos reagentes	18
Liberação de Calor/ esquentando o tubo de ensaio	aquecimento do tubo de ensaio	17
Reação na qual a cada momento ficava mais agitada	velocidade da reação	12
Incolor/Formação de um sal solúvel de alumínio	distintas fases	12

É importante observar que a ênfase a efeitos visuais como liberação de gás ou consumo por completo da peça de alumínio é mais comentado pelos alunos do que a própria evidência de aquecimento do tubo de ensaio, mesmo que em algumas situações, apareçam expressões do tipo:

A12: (...) Houve desprendimento de gás, o tubo ficou hiper-aquecido e a solução resultante ficou incolor. [Grifo nosso]

A13: “Notamos que, ao aumento da velocidade da reação, ocorre o aumento da temperatura do tubo de ensaio.”

A importância em considerar termos que ressaltem expressões que subentendam o conceito de energia é um fator primordial e prévio, para o entendimento da energia como um dos conceitos chaves na formação de ligações químicas durante uma transformação química (TREJO, DELGADO, e FLORES, 2009). Outra observação importante, na análise da descrição dessa reação, é o fato das expressões utilizadas para designar a liberação de energia (A10 e A21), a liberação de gases (A6 e A14) e o consumo do material reagente (A10 e A20) da reação, está impregnado de expressões que fogem ao uso de palavras técnicas próprias da ciência para descrever uma transformação química e que, em termos conceituais, não condizem com a situação em estudo. As falas a seguir expressam essas situações, cujos grifos são nossos:

A10: *As paredes do tubo ficam suadas.*

A21: *A reação demorou um tempo para começar. Ocorreu liberação de odor, indicando uma reação exotérmica, vale salientar que a liberação de energia foi maior deixando o tubo de ensaio bem mais quente.*

A6: *Ao passar o tempo a reação vai dissolvendo o anel, libera uma fumaça esquentando o frasco.*

A14: *Também houve ebulição nesta reação.*

A10: *Após isso, o processo acelera e o tubo de ensaio aquece até que o anel da lata derrete por completo*

A20: *A reação aconteceu mais rapidamente e a tampa de refrigerante foi dissolvida*

O uso de termos como paredes suadas e ebulição, caracteriza na fala desses alunos, respectivamente, uma linguagem característica do senso comum e fragilidades nos conceitos básicos como pressão e energia para explicar quando uma substância entra em ebulição. O número de citações da evidência da velocidade da reação é um bom indicativo de que apareceram, durante a explicação dessa reação, termos que ressaltam a energia como significativo na explicação da reação em estudo. Porém, veremos mais a frente que isto não ocorre. Na Tabela 23 apresenta-se o número de citações dos alunos sobre a descrição da reação entre alumínio e solução de NaOH (6M).

Tabela 23 - Descrição da reação entre alumínio e hidróxido de sódio aquoso.

Recorte da fala	Categoria evidência de uma reação	n° de citações
Há liberação pequena de gás/Apresentou efervescência/ formação de bolhas	liberação de gás/ formação de bolhas	18
Liberação de calor/Liberação de energia	aquecimento do tubo de ensaio	14
A reação ocorreu lentamente/mais lenta que a reação de HCl	velocidade da reação	9
Coloração Cinza/Formação de precipitado metálico	efeitos físicos	8
Ocorre total consumação da tampinha	Consumo de um dos reagentes	6

De forma geral as evidências macroscópicas esperadas para a reação entre o alumínio e o hidróxido de sódio eram praticamente as mesmas para a reação com o ácido clorídrico, exceto o fato de que na reação com o hidróxido de sódio ocorreu a formação de um precipitado cinza caracterizando o aluminato de sódio insolúvel. Portanto, seria aspecto importante da descrição dessa reação que todos os alunos evidenciassem a formação de precipitado o que somente aconteceu com 38,1% desses.

Na descrição dessa reação o número de citações abordando o aquecimento do tubo de ensaio é maior que o da evidência de liberação de gás. Isso se não considerarmos que o discurso que traz formação de bolhas não vier atrelado ao sentido de formação de gases. Mais uma vez, pôde-se observar o uso de termos da linguagem cotidiana para explicar a liberação de gases e de expressões que parecem se confundir com conceitos científicos. A descrição de A6 ilustra essa situação (cujos grifos são nossos):

A6: *No segundo frasco com anel “B” ao adicionar hidróxido de sódio, a reação ocorre espontaneamente instantaneamente liberando fumaça e esquentando o frasco.*

Essa questão da linguagem utilizada pelos alunos em aulas de química já vem sendo trabalhada por autores como Queiroz, (2001), ao destacar que alunos de um curso em licenciatura em química apresentam dificuldades em escrever textos explicativos sobre conteúdo químico, motivo pelo qual não conseguem discorrer com maestria a gramática e a estruturação de frases necessárias a construção de qualquer texto. Apesar de a descrição feita por A6, apresentar elementos da linguagem cotidiana para evidenciar a formação de gases na reação, é a única resposta que traz o termo técnico espontâneo. Na descrição do experimento esse termo seria fundamental para caracterizar o entendimento da energia disponível entre as espécies na ocorrência de uma reação como as que estudamos nesse ciclo de estudos.

Ao socializarem os modelos explicativos no grande grupo observou-se consenso entre os participantes. O destaque a este fato é que os erros expressos foram mantidos. Esta observação pode ser constatada pela análise do cruzamento das respostas entre as fichas respondidas individualmente e pelo grupo conforme o quadro a seguir:

Identificação - Aluno(a) versus Grupo	[Resposta Individual] versus [Resposta do grupo]
A6 versus Sem nome 1	“Ao passar o tempo a reação vai <u>dissolvendo o anel</u> , libera uma fumaça esquentando o frasco.” versus “ <u>Liberação de fumaça (gases)</u> ”
A10 versus AN?	“As paredes do tubo ficam suadas.” versus “O anel sumiu e a coisa ficou preta!”
A11 versus Transformação	“Ocorreu a <u>efervescência com desprendimento de gás</u> ” versus “ <u>Efervescência (Presença de bolhas)</u> ”

Quadro 6 - Comparação dos modelos negociados.

A partir da discussão no grande grupo e da análise das falas dos participantes, pode-se observar a presença de cinco aspectos que emergiram nos modelos explicativos para as reações como apresentado na Tabela 24:

Tabela 24 - Principais aspectos abordados para a reação entre alumínio e HCl.

Pontos abordados	Nº citações	% de citações
Abordagem no nível macroscópico	37	53,6
Abordagem no nível microscópico	4	5,8
Reconhecimento do conceito de energia em outros conceitos ou na reação.	2	2,9
Utilização de representações	19	27,5
Outros	7	10,1

De acordo com a Tabela 24, a ênfase dada nas respostas foi ao nível macroscópico, onde quase todas se repetem e/ou confundem com aspectos abordados para descrever a reação. No Quadro 7 são apresentadas algumas respostas dos alunos quando tentam descrever e explicar essa reação:

Aluno 7 na descrição	<p>1º O tubo contendo um anel de lata com o ácido clorídrico; 2º O ácido entra em reação com o anel; 3º A reação do ácido com o metal desprende gases; 4º A mesma reação é esotérmica;(erro do aluno) 5º O anel se dissolve formando uma só solução.</p>
Aluno 7 na explicação	<p>No momento que o ácido foi adicionado ao tubo que lá estava o anel metálico ocorreu uma reação muito rápido que existem vários processos como desprendimento de gás, reação dissolução do metal em ácido.</p>
Aluno 11 na descrição	<p>Ao adicionar ácido clorídrico no tubo contendo o anel de lata de refrigerante, ocorreu a efervescência com desprendimento de um gás e consumiu todo anel.</p>
Aluno 11 na explicação	<p>Quando foi adicionado o ácido clorídrico ao anel de metal, ocorreu a reação, onde todo o material foi consumido ocorrendo o desprendimento do gás como produto da reação e esta reação ocorreu mais rapidamente comparando com a do hidróxido de sódio e sendo um processo exotérmico, liberação de calor, evidenciado devido as paredes do tubo aquecerem.</p>

Quadro 7 - Respostas dos alunos quando tentam descrever e explicar a reação do alumínio com HCl.

As respostas do Quadro 7 configuram mais como aspectos descritivos da reação em estudo do que explicativos. Na maioria das respostas se identifica uma única abordagem que faz menção a conceitos comumente utilizados no conteúdo de termodinâmica química de que a reação é exotérmica. No entanto, esse conceito aparece, na maioria das vezes, sem conexão entre a variável macroscópica que o quantifica, ou seja, a entalpia. As respostas abaixo ilustram essa situação:

A6: *Durante a reação houve a entalpia de reação exotérmica.*

A7: *A reação é exotérmica, devido ao desprendimento de calor, também há um desprendimento de gás com maior intensidade, havendo a formação de pouco precipitado, devido a cor observada.*

A13: *Logo depois, o processo reacional é feito de forma mais rápida. Sendo desta maneira uma reação exotérmica, também ocorre liberação de calor e vapores de gases.*

A abordagem mais próxima da explicação, pelos alunos, de variável macroscópica termodinâmica é a classificação da reação em exotérmica, tentando explicar a reação em estudo com base apenas em evidências macroscópicas sem quase nenhuma explicação microscópica. Na análise da explicação das duas reações foi possível perceber que o conceito de energia, em quase todos os casos, não é utilizado na explicação das transformações das reações em estudo, seja no nível macroscópico ou no nível microscópico. Apenas 13% dos alunos procuraram modelos explicativos em termos que remetem ao nível microscópico das espécies que constituem o sistema. Porém, não estabelecem um modelo coerente com os conceitos científicos aceitos. A seguir são apresentados alguns exemplos destas falas:

A2: *A reação é rápida porque o Cl é ávido por elétrons, tornando a reação quase instantânea.*

A4: *A reação é bastante rápida porque Cl possui uma afinidade grande por elétrons o que acelera sua reação com o alumínio, o que torna a reação bastante exotérmica.*

A16: *A reação será a passagem do anel de alumínio da forma metálica para forma iônica, através do HCl que é um ácido forte*

A partir destas falas é possível afirmar a existência de dificuldades dos alunos em interpretar a interação entre as espécies no nível microscópico. No caso da fala de A2 pode-se sinalizar a ausência da relação com os fatores energéticos no nível microscópico, já para um íon cloreto [Cl⁻] receber um elétron, em um nível de mais alta

energia, seria necessário realizar trabalho para forçar este a aproximar-se de um íon negativo (BRADY, RUSSEL E HOLUM, 2002).

O aspecto menos abordado nas explicações (2,9%) refere-se ao reconhecimento do conceito de energia relacionado com outros conceitos ou na reação. Neste aspecto, o que se esperava por parte dos alunos, era o uso do conceito de energia inter-relacionado com outros conceitos químicos como, por exemplo, energia de ligação, energia de ativação e etc. A seguir são apresentadas as duas únicas situações nesta direção:

A17: *A reação do alumínio com o HCl é uma reação em que sua energia de ativação é maior mas quando ela atinge esse energia ocorre rapidamente.*

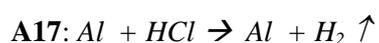
A21: *Nessa reação o tubo de ensaio ficou bem mais quente do que na reação anterior, o que demonstra a grande diferença de energia entre reagentes e produtos.*

Das citações, 27,5% utilizam representações simbólicas (equações químicas) para explicar a reação, apresentadas a seguir:

A4: *Houve uma reação de alumínio com HCl formando cloreto de alumínio com liberação de H₂. A reação que ocorre é: $3\text{HCl}_{(l)} + \text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{AlCl}_3 + 3/2\text{H}_{2(g)}$*

A5: *O HCl (ácido clorídrico) ao reagir com o anel da lata de bebida, que é constituído de alumínio, libera um gás que é o H₂ (hidrogênio) e forma uma solução do sal cloreto de alumínio. $6\text{HCl}_{(L)} + 2\text{Al}_{(s)} \rightarrow 2\text{AlCl}_{3(L)} + 3\text{H}_{2(g)}$*

Um fato interessante a ser discutido é a não citação do estado físico em que as espécies químicas da reação se encontram. Como representado nas respostas de A4 e A5, parece não existir um conhecimento de como o ácido clorídrico se comporta em água. Assim como o cloreto de alumínio, ao indicar que essas espécies se encontram no estado líquido. A dificuldade de especificar os estados de agregação da matéria já foi constatada por Silva et. al (2005) em alunos iniciantes de um curso de química. Essa dificuldade se encontra explícita em outras respostas quando a representação nem sequer apresenta o estado físico das espécies.



Duas outras respostas (a seguir) são relativas a erros conceituais, os quais não constituem o foco de análise desta tese, entretanto, são apresentadas a seguir como sugestão de perspectiva futura de estudo.

A3: *A reação ocorreu em maior velocidade devido a maior eletronegatividade do íon Cl, fator que também influenciou a alta liberação de calor.*

A12: *De acordo com fila de tensão eletrolítica, o alumínio desloca o hidrogênio, formando uma solução de $AlCl_3$, pois o hidrogênio é liberado em forma de gás.*

Como discutido anteriormente, a maioria dos alunos compara a velocidade das duas reações em estudo. Entretanto, na resposta de A3 percebe-se que esta além de ficar no nível macroscópico, não apresenta relação com o conceito de energia de ativação, mas uma possível eletronegatividade de um íon que não se caracteriza como eletronegativo.

As respostas dos participantes com relação a reação entre o alumínio e a solução de hidróxido de sódio são semelhantes com os modelos explicativos para o ácido clorídrico conforme a Tabela 25:

Tabela 25 - Principais aspectos abordados para a reação entre alumínio e NaOH.

Pontos abordados	Nº citações	% de citações
Abordagem no nível macroscópico	43	66,1
Abordagem no nível microscópico	7	10,8
Reconhecimento do conceito de energia em outros conceitos ou na reação.	2	3,1
Utilização de representações	12	18,5
Outros	1	1,5

As respostas que exemplificam estas abordagens são apresentadas no Quadro 8:

Aluno 17 na descrição	<i>Em um tubo de ensaio foi colocado um pedaço de alumínio e NaOH. foi observado que a reação liberava gás, com o passar do tempo a coloração mudava, a reação era exotérmica (liberava calor).</i>
Aluno 17 na explicação	<i>A reação do alumínio com o hidróxido de sódio é uma reação exotérmica, pois houve liberação de calor, com o passar do tempo a coloração mudou, pois o alumínio oxidou-se.</i>
Aluno 19 na descrição	<i>- Assim que foi adicionado o NaOH a tampinha, a reação ocorreu com a liberação de energia (exotérmico) e gás. A coloração ao término da reação, a solução ficou cinza e houve a formação de precipitado após a total consumação da tampinha.</i>
Aluno 19 na explicação	<ul style="list-style-type: none"> - Tampinha contém em maior parte alumínio <li style="text-align: center;">$2Al_{(s)} + 3OH_{(aq)} \rightarrow Al_2O_{3(s)} + 3/2H_{2(g)} + calor$ - Liberação de energia em forma de calor, processo exotérmico. - Formação de ppt

Quadro 8 - Respostas dos alunos quando tentam descrever e explicar a reação do alumínio com NaOH.

O principal aspecto macroscópico utilizado pelos alunos para explicar a reação entre o alumínio e o hidróxido de sódio é a comparação entre a velocidade dessa reação com a do ácido clorídrico. Algumas respostas fornecidas atribuem o tipo de produto formado ou o caráter básico das espécies reagentes como determinante da velocidade da reação. As respostas a seguir reportam essa análise:

A2: *A reação provável é do alumínio com NaOH, produzindo Al_2O_3 , e ocorrendo liberação de oxigênio gasoso. A reação é lenta devido a formação do NaH.*

A4: *A reação é exotérmica e ocorreu em baixa velocidade devido a formação do NaH.*

A16: *reação do anel de alumínio surgira a precipitação na forma de $Al(OH)_3$, a reação se deu de forma mais lenta por o NaOH apresenta caráter básico.*

Tais posicionamentos podem estar relacionados a não associação da velocidade da reação tanto com a quantidade de energia livre disponível em ambos os sistemas para realizar trabalho quanto à questão da barreira energética existente em ambas as reações para que essas se iniciem, ou seja, a energia de ativação. A dificuldade de entender que o sistema reacional dispõe certa quantidade de energia livre para que as espécies reajam

também foi identificado por Valdivia (2004) em graduandos de engenharia química. Uma resposta interessante que surge relacionando o conceito de energia com outros conteúdos químicos é apresentada pelo aluno A8:

A8: *O gás liberado é o gás hidrogênio, o processo de corrosão do anel acontece com a velocidade inferior a do ácido o que nos diz que a energia de ativação deste processo é maior. Ocorre uma menor liberação de calor pois nesta reação o NaOH é mais estável que o HCl, visto que com outro reagente o anel de alumínio é o mesmo nos dois experimentos, como ele é mais estável a diferença de energia produtos-reagentes vai ser menor em módulo por isso temos a menor liberação de energia na forma de calor.[Grifos nossos]*

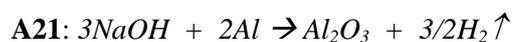
A resposta de A8 sinaliza o entendimento dos fatores energéticos envolvidos no nível microscópico da reação, quando discute o papel da barreira energética, a questão da estabilidade e da diferença de energia existente entre as espécies reagentes e os produtos. Entretanto, não se observa o uso das variáveis termodinâmicas macroscópicas na explicação desse aluno.

Uma resposta que pode exemplificar o terceiro aspecto abordado é dada pelo aluno 21, quando menciona que:

A21: *Ocorreu liberação de calor indicando reação exotérmica, a energia dos reagentes é maior que a energia dos produtos.*

Apesar desta resposta apresentar um aspecto positivo, que é o fato da atribuição do termo energia as espécies químicas reagentes da reação, a mesma não atribui essa energia as espécies químicas como átomos, moléculas e/ou íons participantes do sistema reacional caracterizando as variáveis termodinâmicas macroscópicas.

Não é finalidade desta tese que os alunos indicassem qual o correto produto formado da reação. Portanto, a análise feita para a representação da reação em cada resposta se deve apenas a interpretação dada ao estado físico das principais espécies do sistema reacional. As respostas apresentam várias divergências sendo as mais comuns as explícitas abaixo:



Assim como ocorreu na descrição do experimento do item anterior a maioria das respostas dos alunos expressas no grupo não apresentaram uma divergência significativa das respostas expressas individualmente.

Como sinalizado anteriormente, os participantes discutiram em grupo os modelos explicativos e, posteriormente apresentaram ao grande grupo os dados em uma cartolina. A Tabela 26 expressa essas respostas para ambas as reações:

Tabela 26 - Descrição das respostas dos grupos participantes do ciclo de estudos.

Grupo	Explicação da reação entre o Al _(s) e HCl _(aq)	Explicação da reação entre o Al _(s) e NaOH _(aq)
Transformação	Modelo proposto para a reação: $Al^0 + HCl \rightarrow AlCl_3 + H_2$ - efervescência: O hidrogênio é deslocado pelo alumínio e é produzido o H ₂ .	Modelo proposto para a reação: $12 NaOH + 2Al^0 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 6 Na_2O + 3H_2$ - Efervescência: Efervescência: Ocorre a efervescência devido a liberação de gás (H ₂). - Elevação da temperatura: A temperatura é elevada devido a reação ser exotérmica. - Mudança de cor e consumação do objeto: Evidência da reação: (Ocorrência da reação) - Presença do sólido: mistura do hidróxido de alumínio + o óxido de sódio
1, 2, 3, ...	$3H_{(aq)}^+ + Al_{(s)} \xrightarrow{exo} Al_{(aq)}^{3+} \downarrow + 3/2H_2 \uparrow$ 1. Ocorreu um aumento de temperatura o que demonstra liberação de energia, então a reação é exotérmica; 2. O gás liberado é o hidrogênio, um dos produtos da reação; 3. Não ocorreu formação de precipitado devido o alumínio ter se oxidado e ao final da reação se apresentou na forma de íon na solução.	$3OH_{(aq)}^- + 2Al_{(s)} \xrightarrow{exo} Al_2O_3 \downarrow + 3/2H_2 \uparrow$ 1. Ocorreu um aumento de temperatura o que demonstra liberação de energia, então a reação é exotérmica; 2. O gás liberado é o hidrogênio, um dos produtos da reação; 3. O precipitado formado é o óxido de alumínio;
Almofariz	<ul style="list-style-type: none"> - Liberação de H_{2(g)} - Processo exotérmico - Energia cinética da moléculas - Reação rápida devido a acidez 	<ul style="list-style-type: none"> - Liberação de vapor. - Processo exotérmico - Reação lenta - Formação de precipitado escuro devido a diferença de eletronegatividade
Precipitadas	<ul style="list-style-type: none"> - Liberação de gás (H₂) de acordo com a fila de tensão eletrolítica; - solução solúvel. 	<ul style="list-style-type: none"> - evidências da reação: liberação de calor (Reação exotérmica). - Ocorreu liberação de bolhas (Al⁰ → Al³⁺) - os cátions em solução (Al³⁺) reagem com os íons OH- formando precipitado de coloração cinza.
Eletrosfera	$2 Al_{(s)} (anel) + 6HCl_{(l)} \rightarrow 2AlCl_{3(aq)} + 3H_{2(g)} \uparrow$ A efervescência foi devido a liberação do H _{2(g)} ↑ e o aumento da temperatura do tubo por se tratar de uma reação exotérmica, liberação de calor.	$2 Al_{(s)} (anel) + 6NaOH_{(l)} \rightarrow 2Al(OH)_{3(s)} \downarrow + 6Na^+_{(aq)} (?)$ A mudança na coloração branca evidência a reação e após coloração cinza devido a formação do ppt de Al(OH) ₃ .

Sem nome 1	No experimento com HCl houve uma reação de oxi redução entre um metal desconhecido com um acido de concentração forte Não houve formação de precipitação	No experimento com NaOH houve uma reação de oxi redução entre um metal desconhecido com uma base de concentração forte Houve formação de precipitação
AN?	Consumo do anel de alumínio; (rápido) Reação exotérmica; Liberação do gás hidrogênio; Formação do cloreto de alumínio. Pouquíssimo precipitado	Consumo do anel de alumínio; (lento) Reação exotérmica; Liberação do gás hidrogênio; Formação do óxido de alumínio. Muito precipitado
A&A	A reação que ocorre foi $3\text{HCl}_{(l)} + \text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{AlCl}_{3(l)} + 3/2\text{H}_{2(g)}\uparrow$ A reação tem uma alta velocidade devido a eletronegatividade do Cl ⁻ o que faz com que a reação consuma totalmente o Al Formando o cloreto de alumínio. A reação é exotérmica devido a alta energia cinética existente entre as moléculas em virtude a alta velocidade da reação.	Ocorreu uma oxidação do alumínio com liberação de oxigênio gasoso. A reação se processou de forma lenta, ocorrendo pequena liberação de calor devido a baixa energia cinética entre as moléculas
Prótons	O gás liberado é o hidrogenio “H ₂ ” Reação exotérmica O anel é completamente consumido na reação formando cloreto de alumínio AlCl ₃ Reação $2\text{Al}_{(s)} + 6\text{HCl}_{(l)} \rightarrow 2\text{AlCl}_{3(aq)} + 3\text{H}_{2(g)}$	O gás liberado é o hidrogenio “H ₂ ” Reação exotérmica Obs: Bem menos que a outra A reação possui energia de ativação maior que a anterior; O precipitado cinza provavelmente é o “aluminato”

A partir das respostas na Tabela 26 percebe-se que o “grupo transformação” ao atribuir a elevação da temperatura ao fato da reação ser exotérmica não analisa a formação de novas ligações e, conseqüentemente, um excesso de energia que está sendo liberado do sistema reacional para a vizinhança. Essa dificuldade é destacada na literatura sobre pesquisas relativas às concepções alternativas em alunos do nível médio de ensino (POSADA, 1999; VALDIVIA, 2004, RIBOLDI, PLIEGO e ODETTI, 2004; FRANCO e RUIZ, 2006).

O “grupo A&A” apresenta uma resposta para explicar a reação do alumínio com o hidróxido de sódio, não identificada, em nenhuma das respostas individuais. Trata-se da atribuição da liberação de energia em forma de calor devido à baixa energia cinética entre as moléculas. Tal resposta mostra que esse grupo chegou a uma discussão mais profunda do conceito de energia ao tentar relacionar que as espécies constituintes do sistema têm sua energia cinética diminuída pela liberação de energia em forma de calor. Porém, apesar do reconhecimento do modelo cinético molecular, o grupo de alunos ainda não consegue estabelecer esses conceitos ao nível microscópico, uma vez que atribui à expressão *energia cinética entre as moléculas* a formação de espécies iônicas em solução. Essa expressão também foi encontrada na resposta do “grupo almofariz” para explicar a reação entre alumínio e ácido clorídrico.

É importante observar na atividade em grupo – no caso o “grupo eletrosfera” – que são expressos modelos explicativos para o fenômeno a partir do caráter ácido ou básico das espécies reagentes como sendo o fator determinante da velocidade da reação, bem como, a idéia simplista (DANTAS, 2006) de que a mudança de coloração é um indicativo da evidência da transformação química e não os aspectos energéticos envolvidos na reação ou a quebra e a formação de novas ligações.

O Quadro 9 apresenta a comparação entre os modelos consensuais dos participantes.

Identificação - Aluno(a) versus Grupo	[Resposta Individual] versus [Resposta do grupo]
A12 versus Precipitadas	<p><i>“Inicialmente parte deste metal sofre variação no seu estado de oxidação (de 0 para +3) e, quando está em sua forma catiônica reage com os íons OH- em solução formando o precipitado.”</i></p> <p style="text-align: center;"><i>versus</i></p> <p><i>“Ocorreu liberação de bolhas ($Al^0 \rightarrow Al^{3+}$)”</i></p>
A16 versus Almofariz	<p><i>“a reação se deu de forma mais lenta por o NaOH apresenta caráter básico.”</i></p> <p style="text-align: center;"><i>versus</i></p> <p><i>“Reação rápida devido a acidez”</i></p>
A17 versus Transformação	<p><i>“Foi observado que a reação liberava gás, com o passar do tempo a coloração mudava, a reação era exotérmica (liberava calor).”</i></p> <p style="text-align: center;"><i>versus</i></p> <p><i>“- Elevação da temperatura: A temperatura é elevada devido a reação ser exotérmica.</i></p> <p><i>- Mudança de cor e consumação do objeto: Evidência da reação: (Ocorrência da reação)”</i></p>

Quadro 9 - Comparação entre os modelos consensuais.

Uma explicação importante para as duas reações em estudo é a atribuição de um estado de energia mais desordenado que estas adquirem ao liberar gases. Tal explicação deveria ter sido comentada pelos alunos, uma vez que em diversos livros de química geral essa observação é feita (BRADY, RUSSEL E HOLLUM, 2002, BROWN et. al. 2005; RUSSEL, 2006; WHITTEN, 1999).

De certa forma, a não atribuição de explicações termodinâmicas nas reações estudadas pode ser um indicativo da necessidade de se pensar em como o conceito de energia vem sendo discutido no nível universitário. Essa inferência pode ser constatada pela análise de artigos publicados em um dos principais periódicos de circulação internacional para a abordagem do conceito de energia em diversas pesquisas do ponto de vista conceitual da física (SOLBES e TARÍN, 1998; PACCA e HENRIQUE 2004) muito mais do que da química.

6.1.2 Esclarecendo os modelos explicativos: a entrevista

Para tentar compreender melhor os modelos explicativos dos participantes propôs-se uma entrevista durante a atividade de discussão. Assim, foram feitas algumas intervenções na tentativa de encontrar aspectos conceituais importantes, não evidenciados na análise das respostas tanto individuais como em grupo. Na entrevista foram considerados pontos como a “relação da energia nas interações microscópicas de uma transformação química” e “os conteúdos necessários a compreensão do processo de transformação química”.

Com relação ao primeiro aspecto, o questionamento focava os fatores necessários para que a reação química ocorra. No Quadro 10 são apresentados os recortes das falas dos participantes⁷:

P: *Como vocês atribuem o fato das reações serem exotérmica?*

Ao mesmo tempo todos os alunos do grupo tentam responder a pergunta do pesquisador

Aluno X – Grupo 1,2,3...

- Exotérmico pelo contato, porque o tubo de ensaio aqueceu.

Aluno Y – Grupo 1,2,3...

- Porque o tubo de ensaio aqueceu e liberou calor.

Aluno Z – Grupo 1,2,3...

- Liberou calor.

O pesquisador novamente pergunta:

P: *Que mais vocês podem atribuir para chegar a conclusão de que a reação é exotérmica*

Aluno X – Grupo 1,2,3...

Por ele ser um processo exotérmico? Porque a gente tá formando aqui o gás. Então pra poder ter essa liberação o processo quando ele ocorre precisa [...] no caso ocorre esse aquecimento que é um aumento dessa energia da ligação [...] no caso que tinha o NaOH que é uma base muito forte. Ai no caso, a gente tem o alumínio, a gente vai ter essa oxidação, então para poder ele oxidar ele tá liberando hidrogênio precisa ter essa liberação de energia, até mesmo pela quebra da ligação. [Grifos Nossos]

Quadro 10 - Recorte das falas dos participantes durante a entrevista coletiva. Grupo 1,2,3,...

Como já discutido, a percepção macroscópica é tão importante para a explicação de uma transformação química quanto os conceitos que realmente a explicam. Essa inferência é constatada na maioria das respostas dos grupos, mesmo quando os alunos são questionados pelo por que da reação exotérmica. Entretanto, na fala do aluno X (grupo 1, 2, 3,...) parece haver uma confusão na tentativa de explicar a liberação de

⁷ Não foi possível identificar os alunos pelos instrumentos respondidos, individualmente, cada aluno na apresentação de um grupo receberá aqui um código, ao qual chamo de aluno X, Y ou Z, uma vez que cada grupo se constitui de dois ou três participantes e um nome de grupo específico.

energia, utilizando o aspecto macroscópico como justificativa da liberação de energia. Ainda nessa resposta o aluno fala em quebra de ligação, mas não deixa claro a atribuição da expressão “quebra de ligação” ao “conceito de energia”. Ou seja, não interpreta se para a quebra de ligação é necessária a absorção ou a liberação de energia.

Outra situação semelhante que apresenta confusão nos modelos explicativos é evidenciada pelo “grupo almofariz” nos trechos do Quadro 11:

Aluno X – Grupo Almofariz

O ácido clorídrico reagiu num processo que foi exotérmico, que liberou o gás hidrogênio. Para provar que foi exotérmica a gente percebeu que o tubo de ensaio se aqueceu bastante né? Isso ocorreu já no final da reação, que isso aconteceu. No começo, como ela falou há pouco tempo agora, foi um processo quase, a gente nem percebeu, imperceptível, foi lento, mas quando avançou mais ainda consumiu rapidamente a peça de alumínio. Dessa forma a gente provou que foi um processo exotérmico, houve quebra de ligações químicas, né? Dai foi liberado o gás hidrogênio, outra prova que ocorreu o processo reacional, liberação de gás e mudança de cor, e [não conclui o raciocínio] esse processo ficou mais rápido no final devido a maior agitação das moléculas, né? Houve um aquecimento maior ai forçou a quebra de ligações de forma mais rápida. Ai foi o que ocorreu na reação do ácido clorídrico, um processo mais rápido devido ao ácido, já que o ácido tem um papel importante para essas reações ocorrer de forma mais rápida. [Grifos nossos]

P: *Você consegue identificar alguma transformação física na reação?*

Aluno X – Grupo Almofariz

Fenômeno físico...

Aluno Y – Grupo Almofariz

Acho assim, que o que seria importante, seria destacar as diferenças e semelhanças entre os dois processos, né? A semelhança, que seria liberação de gás, o hidrogênio, e a diferença seria que apesar do início ter um estado sólido e as duas soluções estarem na mesma concentração o hidróxido de sódio e a do ácido clorídrico, no final do processo uma teve a evidência do precipitado e a outra ficou a solução normal, só a solução. E no caso, que a de hidróxido de sódio seria a formação do precipitado e a outra seria a formação do íon com a utilização do sólido formando uma substância iônica, uma solução iônica. E assim, o destaque de ser um ácido e uma base, a utilização de um ácido e de uma base para os dois processos. E diferenciar a maneira que foi usada a solução, apesar de as duas se manter na mesma concentração.

Quadro 11 - Recorte das falas dos participantes durante a entrevista coletiva - Grupo almofariz.

Ao comparar estas falas com o que fora apresentado nas atividades individual e coletiva, observa-se que não há mudanças. Entretanto, foi possível esclarecer algumas das relações atribuídas, pelos componentes desse grupo, ao fato da liberação de energia do fenômeno em estudo. Por exemplo, na fala do aluno X, a atribuição para a reação como exotérmica é feita somente através de aspectos macroscópicos citando para tanto, a consumação do anel de alumínio. Entendemos que a quebra de ligações do alumínio, consiste no maior contribuinte para a energia liberada durante o processo reacional,

porém, a atribuição de consumo do anel, como explicitado pelo aluno X, não nos dá esse entendimento.

Outro aspecto importante abordado por esse aluno é a atribuição da importância que dá ao ácido como propulsor da reação bem depois de evidenciar o uso do termo *aquecimento* atrelado a quebra de ligação. Essa abordagem pode revelar dificuldades em relacionar a energia como fator de análise nas transformações químicas e físicas. Neste caso, o aluno Y esclarece “que o importante é destacar as diferenças e semelhanças que acontecem em ambas as reações” como, por exemplo, uma forma precipitado e a outra reação não, e o fato de ambas as reações liberarem gás hidrogênio. Mais uma vez, os aspectos macroscópicos da reação são abordados em detrimento dos aspectos microscópicos e energéticos. É importante destacar que este grupo utilizou o caráter ácido ou básico como fator determinante da ocorrência da reação diferente da explicação dos grupos prótons e A&A.

No Quadro 12, um aluno do “grupo prótons” tenta explicar a diferença da reação exotérmica em meio básico e ácido através de termos que induzem a um entendimento do conceito de energia:

Aluno Y – Grupo Prótons

Porque que a gente falou que essa reação é menos exotérmica que a outra? Provavelmente o reagente hidróxido de sódio, ele é mais estável do que o reagente HCl. Então ele vai liberar menos energia para chegar até um produto estável, mais estável do que ele era antes. E a reação tem uma energia de ativação maior que a anterior, então ela demora mais a acontecer. Então a barreira energética vai ser maior e essa reação vai acontecer de uma forma mais lenta.

P: *Vocês explicaram ai que a reação era exotérmica pela questão da estabilidade do hidróxido de sódio em relação ao ácido clorídrico. Como vocês chegaram a essa conclusão?*

Aluno Y – Grupo Prótons

Porque normalmente numa reação química, a tendência é sempre procurar a estabilidade. Então, se para achar a estabilidade nos dois processos [uma liberou menos energia] quer dizer que aquele reagente ele era menos instável, tinha uma maior estabilidade. Praticamente o raciocínio foi esse.

Quadro 12 - Recorte da falas dos participantes durante a entrevista coletiva - Grupo Prótons.

Observa-se nestas falas a atribuição do termo estabilidade como dependente da expressão liberação de energia em uma transformação química, o que nos leva a inferir um entendimento do conteúdo da termodinâmica química, quando atrela o uso desse termo a expressões do tipo “liberou menos energia”. Porém, o raciocínio utilizado por esse aluno deve ser entendido como análise única para reações exotérmicas, pois uma

reação pode ter ganho de energia, reação endotérmica, e apresentar estabilidade para as espécies formadas. Essa concepção, quando discutida indevidamente pode apresentar as mesmas concepções alternativas já abordadas por Furió e Furió (2000) e Silva et. al. (2007) podendo essas persistir mesmo após o processo de ensino-aprendizagem.

Tanto o grupo “A&A” como “prótons” utilizaram a questão da energia de ativação como um dos fatores a ser considerado na velocidade das reações em estudo. Entretanto, ao serem solicitados que esclareçam o fato da reação ser *exotérmica* associado a expressão *alta energia cinética existente entre as moléculas*, parece não entender, que as espécies que constituem o sistema, com exceção das moléculas de água, não se constituem de moléculas mas sim de cátions e ânions. E ainda a atribuição de caráter eletronegativo a espécies que são ânions, como na fala apresentada no Quadro 13:

Aluno X – Grupo A&A

A reação ocorreu em alta velocidade e acreditamos que isso seja devido a eletronegatividade do íon Cl⁻, que seja uma reação que consome totalmente o alumínio, formando o cloreto de alumínio. E a reação é exotérmica devido a alta energia cinética existente entre as moléculas.

Quadro 13 - Recorte da fala dos participantes durante a entrevista coletiva - Grupo A&A

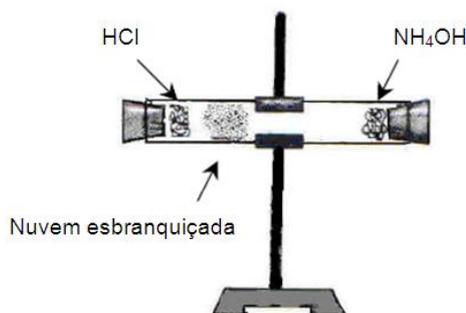
Entendemos que um melhor detalhamento do uso do conceito de energia, poderia ser atribuído a essas duas respostas. A liberação de energia na reação, provavelmente, dentro desse sistema aumentaria o movimento de vibração das espécies que o constituem e ajudaria a vencer as forças atrativas que as mantêm unidas, se caracterizando pela etapa inicial da reação, ou seja, a energia de ativação. Assim como, poderia levar ao entendimento de que para a espécie eletronegativa receber mais um elétron, seria necessário a absorção de uma grande quantidade de energia, o que não levaria esse íon a uma estabilidade.

6.2 A VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM: A PROVA PEDAGÓGICA E OS MAPAS CONCEITUAIS

Um dos últimos passos realizados nesta pesquisa foi a aplicação da prova pedagógica, responsável por verificar a aprendizagem dos conceitos estudados pelos alunos participantes do ciclo de estudos. Essa prova, como já discutida anteriormente, foi aplicada aos alunos do ciclo após uma aula teórica que apontou os principais conceitos químicos, dentre esses conceitos o de energia e da termodinâmica química, envolvidos na explicação da transformação química em estudo.

De acordo com o detalhamento metodológico desta pesquisa, abordamos uma situação experimental envolvendo difusão de espécies gasosas, como a proposta no Quadro 14:

Um experimento simples, porém muito utilizado para ilustrar a difusão dos gases ocorre quando chumaços de algodão são embebidos de soluções concentradas de hidróxido de amônio e ácido clorídrico (figura abaixo). Cada chumaço de algodão é embebido nas soluções citadas e colocado em cada extremidade do tubo de vidro. Veda-se as extremidades para evitar a difusão dos gases para fora do tubo. Após alguns segundos o tubo se torna mais quente formando uma nuvem esbranquiçada próxima a extremidade onde estava o chumaço de algodão com o ácido clorídrico.



A partir da situação acima, responda:

- O que há de descritivo e de explicativo no texto acima? Justifique sua resposta.
- Apresente uma explicação em termos de conceitos químicos para o experimento.
- Elabore um mapa conceitual para a relação dos conceitos utilizados em sua explicação.

Quadro 14 - Prova pedagógica sobre difusão de gases.

A partir da situação exposta no quadro acima foi possível analisar, nas respostas dos alunos, os seguintes aspectos:

- a diferenciação entre o que é descritivo e o explicativo a partir do enunciado do experimento;
- a utilização de termos relacionados com o conceito de energia e/ou da termodinâmica química para tentar explicar a reação;
- a abordagem de outros conteúdos químicos e/ou conceitos que não seja a termodinâmica química.

Os resultados foram organizados em termos de percentuais na Tabela 27:

Tabela 27 - Aspectos abordados nas respostas da prova pedagógica.

Aspecto Abordado	Nº Citações	Porcentagem (%)
Abordagem de outros conteúdos químicos e/ou conceitos que não a seja a termodinâmica química.	36	52,9
Utilização de termos relacionados com o conceito de energia e/ou da termodinâmica química	21	30,9
Diferenciar Descrição de Explicação	11	16,2

A primeira abordagem interessante que merece destaque em relação aos valores percentuais obtidos na tabela acima refere-se ao fato das diferentes respostas dadas pelos alunos sobre o que é descritivo e explicativo na reação em estudo.

Dos 21 alunos que responderam a prova pedagógica, 11 atribuíram ao fato de um fenômeno ser explicativo quando se atribui a análise microscópica da matéria. Respostas como essas são expostas abaixo:

Aluno Z – Grupo 1,2,3,...

O texto é descritivo, pois apresenta apenas ilustrações macroscópicas do experimento e se restringe apenas a esta “visão”, não entrando no amago da matéria. [Grifo nosso]

Aluno Y – Grupo 1,2,3,...

No texto não há nada de explicativo apenas descritivo. O texto descreve o experimento e alguns trechos descritivos podem ser destacados, tais como:

- “o tubo se torna mais quente”

- “formando uma nuvem esbranquiçada”

Cheguei a conclusão que o texto só é descritivo, visto que, o texto está a nível macroscópico e não microscópico que identificaria uma explicação.[Grifos nossos]

Aluna X – Grupo Precipitadas

Não há caráter explicativo no texto. Pois, não temos uma visão microscópica do experimento, a figura vem como complemento da descrição.

Aluno Z – Grupo Almofariz

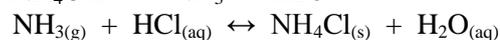
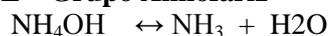
Não há conceito explicativo no texto, pois só existe conceito macro.

Interessante nestas respostas é o fato de que parecem compreender que a explicação deve ser dada no nível microscópico, mas mesmo assim, algumas respostas persistem em explicações no nível macro, como se observa no Quadro 15:

Aluno Z – Grupo 1,2,3,...

- A reação é exotérmica, devido a variação na temperatura e aumento da mesma, o que demonstra que houve liberação de calor para o meio.

- Ocorre uma reação de neutralização onde há a reação entre um ácido HCl e uma base NH₃, ocorrendo a formação de um sal NH₄Cl.

Aluno Z – Grupo Almofariz

O hidróxido de amônio se dissocia formando o gás amônia e água. O gás reage com o ácido clorídrico formando o sal, como o gás amônia é mais volátil, ele percorre uma distância maior, reagindo próximo ao chumaço de ácido clorídrico, formando a nuvem esbranquiçada.

[Grifos nossos]

Quadro 15 - Modelos explicativos na resposta de diferentes alunos na prova pedagógica.

Pode-se observar um aumento do número de explicações usando termos advindos do conceito de energia ou da termodinâmica química. Algumas respostas persistem em explicar a reação apenas pelo indicativo da liberação de energia do sistema, evidenciando que a reação é exotérmica. Enquanto outras respostas abordam o caráter espontâneo da reação de forma limitada (Furió, Solbes e Furió, 2005), quando analisam os sistemas químicos. No Quadro 16 são apresentadas algumas respostas dos alunos que relacionam a energia ou conceitos da termodinâmica química na explicação da reação de difusão.

Aluno Z – Grupo 1,2,3,...

- A reação é exotérmica, devido a variação na temperatura e aumento da mesma, o que demonstra que houve liberação de calor para o meio.

Aluno Y – Grupo 1,2,3,...

Foi descrito que o tubo fica quente, logo pode-se concluir que a reação que se processa é exotérmica, liberando calor.

Aluno X – Grupo Almojariz

Essa reação ácido-base ocorre forma espontânea em um sistema químico fechado.

Aluna X – Grupo A&A

A difusão é a propriedade de duas ou mais substâncias gasosas se misturarem espontaneamente, dando soluções (misturas homogêneas), quando colocadas em presença umas das outras.

Aluna Y – Grupo Precipitadas

Desta forma que a reação é termodinamicamente favorável devido a liberação de calor, para a formação do sal. [Grifo nosso]

Quadro 16 - Utilização de conceitos de energia ou da termodinâmica química na prova pedagógica.

Nas respostas acima é interessante observar que na fala da aluna X (grupo A&A) que mesmo diante um sistema químico em estudo, a importância em explicar a reação é muito mais do ponto de vista físico do que do ponto de vista químico, quando aborda a propriedade de difusão de um gás como uma mistura espontânea das espécies gasosas. Outras respostas que tentam explicar o fenômeno em estudo utilizando o conceito de energia sendo, porém uma explicação com fragilidades como se pode observar nas falas a seguir:

Aluno X – Grupo Transformação

O experimento ocorre em sistema fechado, o HCl se difunde e a amônia também, sendo que a amônia é mais volátil por isso a reação ocorre mais próximo da extremidade do HCl; o processo é exotérmico pois é liberado calor. Ocorre uma reação de ácido-base (neutralização), mas para que a reação ocorra é preciso uma energia de ativação, nesse caso o ΔS (variação de entropia) aumentou, o ΔH (variação de entalpia) será negativa pois há liberação de calor. [Grifos nossos]

Aluno Y – Grupo AN?

A reação ocorre devido a afinidade eletrônica entre as espécies. A energia das vizinhas favorece a formação dos gases e a ativação do sistema. [Grifos nossos]

Aluno X – Grupo Eletrosfera

Considerando a eletronegatividade do cloro, no ácido clorídrico este tende a liberar energia o que é observado devido a elevação de temperatura no tubo, para receber os elétrons do íon, processando a reação, a nuvem esbranquiçada próximo ao HCl devido a mobilidade dos íons de hidróxido de amônia. [Grifos nossos]

Quadro 17 - Tentativas de explicar a reação de difusão na prova pedagógica.

A partir das falas acima percebe-se a intenção de utilizar o conceito de energia inter-relacionados com outros conceitos químicos na explicação, porém não estabelecem um significado lógico nas respostas o que pode ser denotado nos grifos de cada uma delas. Por exemplo, na primeira e terceira resposta não é possível estabelecer uma interpretação para o que os alunos tentam explicar. Entretanto, na segunda resposta, aluno Y (grupo AN?), atribui a energia da vizinhança como fator propulsor para que a reação aconteça, ou seja, parece ser essa energia que permeia o entorno ao sistema onde ocorre a reação. Para este aluno a energia capaz de quebrar as ligações intermoleculares de cada uma das moléculas dos reagentes líquidos e formar as moléculas das espécies reagentes no estado gasoso, o que mostraria uma visão micro de sua explicação atrelado ao conceito de energia.

Ainda na análise dessas respostas que tentam explicar o experimento da reação de difusão gasosa é importante evidenciar um pequeno avanço no número de conceitos abordados em relação às reações do alumínio com o ácido clorídrico ou do alumínio com o hidróxido de amônio, como observado na Tabela 27. Entretanto, o fato de um maior número de respostas na abordagem de outros conteúdos químicos não implica dizer que houve uma evolução explicativa correta da reação em estudo. Várias confusões conceituais foram encontradas nessas respostas, como se observa no Quadro 18:

Aluno X – Grupo AN?

A reação ocorre devido às afinidades eletrônicas que as espécies apresentam. O sistema se ativa quando a energia da vizinhança contribui para a formação de gases.[Grifos nossos]

Aluno Z – Grupo Almofariz

Há uma grande diferença na eletronegatividade e volatilidade entre os dois reagentes, sendo o HCl mais eletronegativo e o NH₄OH mais volátil, por esse motivo há um deslocamento maior da nuvem branca para o lado do ácido. Também há formação da água, porém fica toda no chumaço de algodão. O processo é exotérmico por causa da grande diferença de eletronegatividade. .[Grifos nossos]

Aluno X – Grupo Eletrosfera

Considerando a eletronegatividade do cloro, no ácido clorídrico este tende a liberar energia o que é observado devido a elevação de temperatura no tubo, para receber os elétrons do íon, processando a reação, a nuvem esbranquiçada próximo ao HCl devido a mobilidade dos íons de hidróxido de amônia. [Grifos do autor]

Quadro 18 - Relações conceituais conflituosas na utilização do termo energia.

Observa-se que a expressão “energia da vizinhança” para o aluno X, não tem nenhum sentido de relação com a quantidade de energia dispersa do sistema em estudo para a vizinhança, o que caracterizaria não entendimento da liberação dessa energia para

a vizinhança, ou seja, aumento de entropia da vizinhança. Já a resposta do aluno Z (grupo almofariz), é também confusa, pois atribui caráter eletronegativo a molécula de HCl, o que caracteriza o não entendimento que o ganho de elétrons por uma molécula pode levar a um ganho de energia e, conseqüentemente, uma maior instabilidade. O mesmo aluno ressalta que o fato da reação ser exotérmica não é devido ao saldo líquido de energia disposto na formação de uma nova espécie química de maior estabilidade, mas da atribuição de uma grande diferença de eletronegatividade. Enquanto, a resposta do aluno X (grupo eletrosfera) atribui a energia liberada na reação, identificada pelo aumento da temperatura no tubo, ao fato da alta eletronegatividade do átomo de cloro. Nessas respostas pode-se considerar de fato que as dificuldades de entendimento do conceito de energia e de outros relacionados ao entendimento da termodinâmica química é uma realidade em alunos concluintes de um curso de química.

Mesmo que na resposta do grupo A&A seja observado uma explicação que fizesse uso do termo energia, ao tentarem explicar a reação entre o alumínio e o ácido clorídrico, os alunos expressam sobre a velocidade de difusão gasosa das espécies que constituem o sistema em estudo. Quer dizer, não utilizam o termo energia cinética para realizar essa explicação, mas somente explicam pelo fato da maior ou menor massa molecular das espécies que constituem o sistema conforme se observa no Quadro 19:

Aluna X – Grupo A&A

A velocidade de difusão de um gás depende de sua massa molar, neste caso as moléculas de NH_3 por possuírem massa molar igual a 17 g/mol, menor que a do HCl (36,5 g/mol), percorrem um maior espaço no tubo, e devido a isto a reação vai ocorrer mais próxima ao chumaço de HCl, ocorrendo então a formação do NH_4Cl que caracteriza a fumaça esbranquiçada.

Aluna Y – Grupo A&A

Essa propriedade é explicada pelo fato de as moléculas do gás estarem em movimento cinético contínuo, colidindo uma nas outras e reagindo, formando novas moléculas, como descrito no texto, que foi gerado uma “nuvem esbranquiçada”, como resultado da reação do gás HCl com o gás NH_4OH .

Aluna Z – Grupo A&A

O NH_4Cl é que é observado como uma nuvem esbranquiçada e é próximo do chumaço com HCl porque a difusão dos gases depende da sua massa molar e como a massa do NH_3 (17 g/mol) é menor que a do HCl (36,5 g/mol) as moléculas de NH_3 percorrem um espaço menor (devido a sua menor MM) e encontra o gás HCl próximo do chumaço que o contém, ocorrendo assim a reação que resulta no NH_4Cl .

Quadro 19 - Componentes do grupo A&A na tentativa de explicar a velocidade de difusão dos gases.

Nas respostas desse grupo observa-se a falta de uso do termo “energia cinética das moléculas” na explicação da difusão da reação. Essas respostas nos mostram a dificuldade de entendimento que o uso do termo energia possui em meio às explicações microscópicas dos sistemas químicos (LEBOWITZ, 2006; DOMÉNECH et. al., 2003). Apenas uma resposta faz uma discussão em termos de colisões entre as moléculas no sistema gasoso, apresentada no Quadro 20:

Aluno Y – Grupo Prótons

A liberação de energia em forma de calor indica que o processo é exotérmico e a nuvem esbranquiçada é devido a colisão das moléculas gasosas dos reagentes, que irão romper as ligações antigas, formando novas ligações que dão origem as espécies que compõem as produtos, pelo processo ocorrer espontaneamente também podemos deduzir que, os reagentes possuem afinidade química, e o processo possui energia favorável.

Quadro 20 - Descrição microscópica na resposta do aluno Y, grupo prótons.

Por esta resposta, o aluno Y parece entender o favorecimento do processo como espontâneo, porém acreditamos que outros termos explicativos poderiam ser usados não somente nessa explicação como em qualquer uma das explicações expostas pelos demais alunos nessa prova. Explicações que estão ao nível de uma disciplina de química geral como, por exemplo, atribuir menor entropia aos produtos formados, ou a liberação de energia que poderia quantificar a reação, utilizando os valores padrão de entalpia molar de formação das espécies reagentes, podem ser encontrados no capítulo dois desta tese, onde trazemos dois artigos que procuram abordar a energia em meio às explicações de uma transformação química.

A falta dessas explicações nos parece configurar em uma aprendizagem, da transformação química, dissociada dos efeitos térmicos necessários ao entendimento da transformação.

6.3 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS

Constantemente, a educação brasileira passa por um crescente processo evolutivo na busca de soluções para os problemas enfrentados pelos estudantes. Desde que se conseguiu observá-los, ao se instituírem as primeiras escolas de ensino regular,

os educadores tiveram a preocupação de procurar meios inovadores de ensinar que pudessem proporcionar ao educando uma aprendizagem eficaz.

Utilizar estratégias de ensino que possibilite, ao educando, compreender a complexa relação de significado que existe entre conceitos químicos é uma tarefa difícil e exige um desdobramento do professor para explicar o conteúdo e mostrar como esses conceitos estão relacionados.

Nesse contexto, segundo Novak (2003), uma estratégia propicia a aprendizagem, é a utilização de mapas conceituais que se constitui de uma ferramenta para organizar e representar o conhecimento através de esquemas gráficos. Esse recurso para a aprendizagem pode ser utilizado em qualquer área do conhecimento e tem seus pressupostos teóricos na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel que postulou que o significado lógico do material (disciplina estudada) se transforma em significado psicológico, na estrutura cognitiva, quando o aluno aprende significativamente algum conceito.

Moreira (2003) relata que, de modo geral, mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou palavras que se usa para representar conceitos. São utilizados para ordenar e seqüenciar de maneira hierárquica os conteúdos sendo utilizado como um instrumento que se aplica às diversas áreas do ensino e da aprendizagem escolar, como: planejamentos e análise de currículo, sistemas e pesquisas em educação, recurso de aprendizagem e meio de avaliação.

Os mapas conceituais servem tanto ao aluno quanto ao professor. Para o aluno, eles são uma ferramenta de aprendizagem, à medida que servem para planejar estudos, preparar-se para avaliações e resolver problemas. Já para o professor, ele auxilia em sua preparação de aula, tornando perceptível aos alunos a relação entre conceitos, pois estes são arranjados em uma ordem sistemática na avaliação do processo de ensino-aprendizagem (RIBEIRO e NUÑEZ, In NUÑEZ e RAMALHO, 2004).

Nesta perspectiva a fim de validarmos o 3º objetivo específico desta tese foi proposta aos alunos a elaboração de um mapa conceitual para a reação em estudo proposta na prova pedagógica. Duas tentativas de elaboração de um mapa conceitual foram realizadas pelos participantes do ciclo de estudos. Na elaboração do primeiro mapa percebemos a fragilidade e a dificuldade que os participantes do ciclo, encontraram para produção do mapa conceitual, apresentando grandes dificuldades de

inter-relacionar os conceitos químicos envolvidos na reação em estudo da prova pedagógica. As Figuras de 6 a 9 ilustram exemplos dos primeiros mapas elaborados pelos alunos:

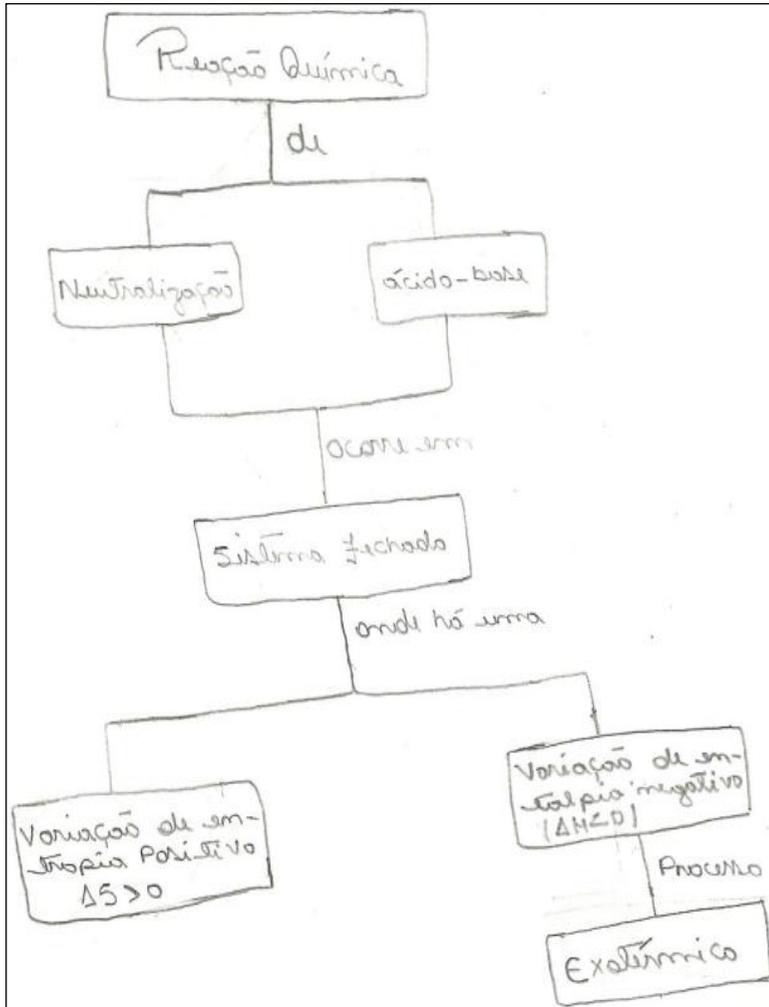


Figura 7 - Primeiro mapa do Aluno X - Grupo Transformação.

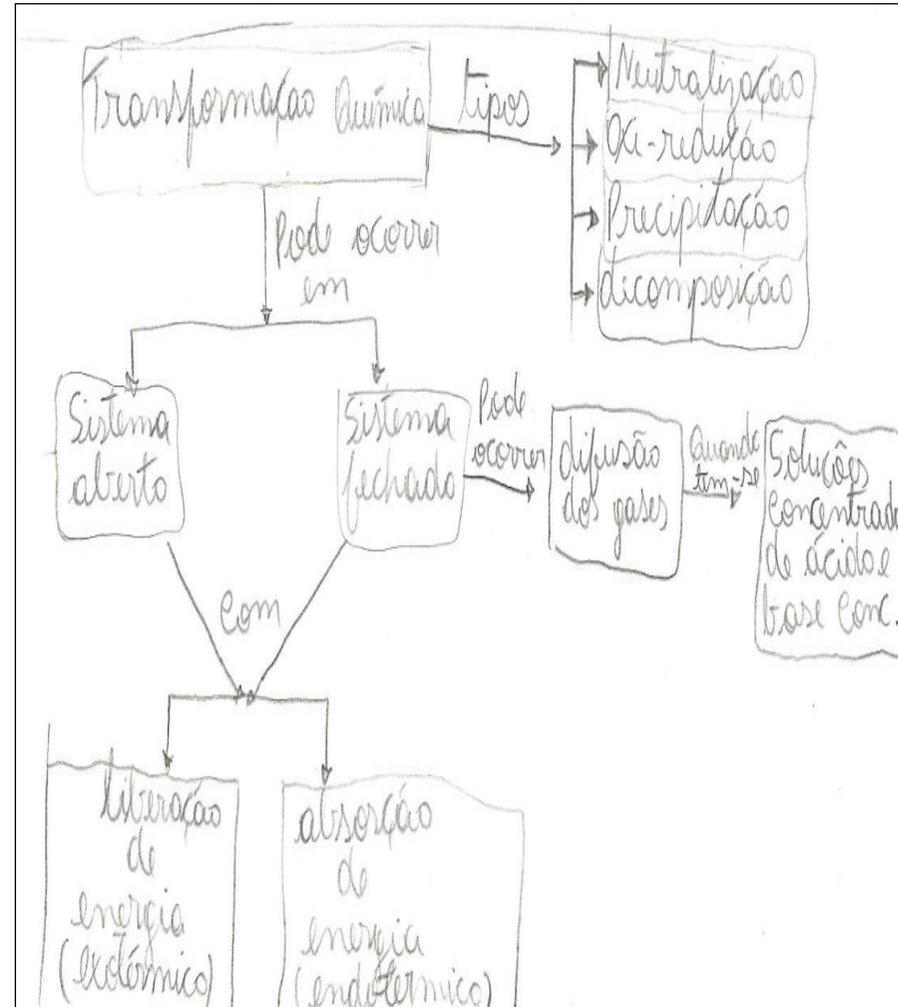


Figura 6 - Primeiro mapa do Aluno X - Grupo 1,2,3,...



Figura 8 - Primeiro mapa da Aluna Z - Grupo Precipitadas.

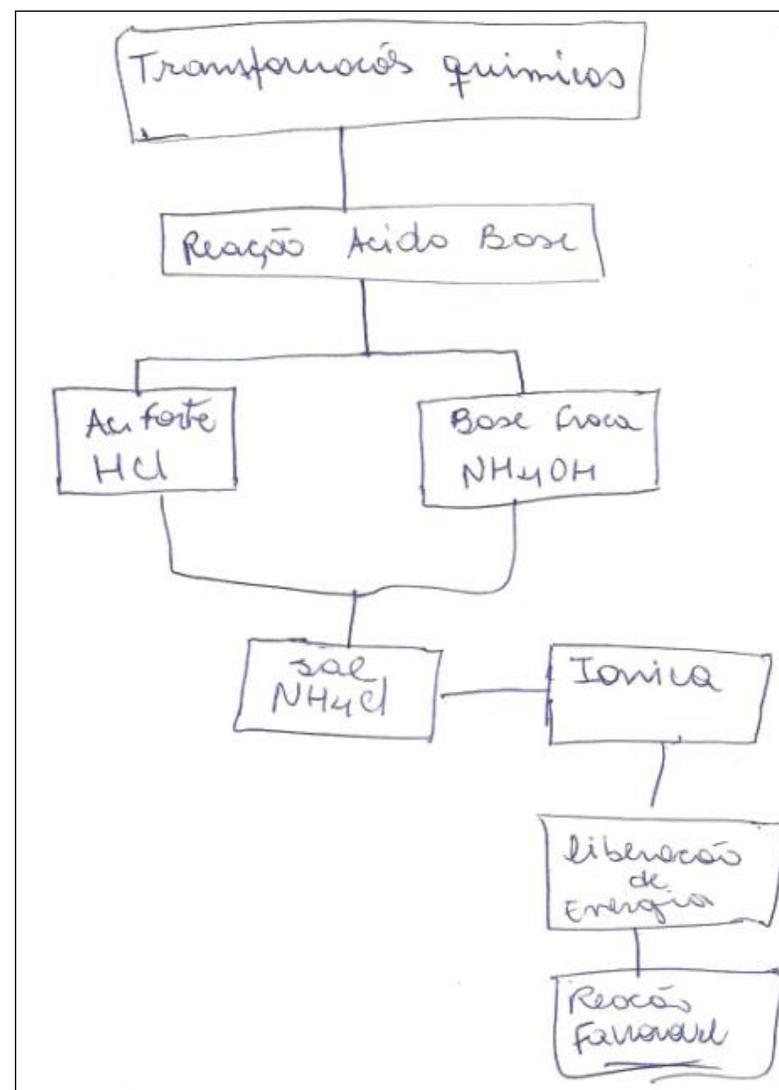


Figura 9 - Primeiro mapa do Aluno Y - Grupo Almofariz.

A partir da análise dos mapas apresentados nas Figuras de 6 a 9 podemos perceber que tanto os fatores energéticos quanto a inter-relação conceitual necessária a explicação da transformação química em estudo são pouco citadas pelos alunos participantes do ciclo. As concepções limitadas na utilização da explicação da reação continuam trazendo o uso de termos como *exotérmico* e *liberação de energia*, em todos os quatros mapas analisados, Figura 6 a 9. Concepção esta, também utilizada pelos alunos quando tentaram explicar a reação na prova pedagógica. Por mais que os mapas presentes nas Figuras 8 e 9 apresentem o uso do termo *favorável* como sinônimo de *espontâneo* da reação, o entendimento deste termo não vem atrelado ao uso da função de estado designada energia livre.

Segundo Castro Lima in Zannon e Maldaner (2007), a aprendizagem de conceitos é muito mais complexa do que se acredita fazer por meio do simples estabelecimento de definições consagradas nos textos didáticos. Os conceitos são os nossos instrumentos de assimilação e de relação com o mundo, pois, é através deles que interpretamos e interagimos com as realidades que nos cercam. Acreditamos que se a percepção de que o conceito de energia, importante para a fundamentação do conhecimento das transformações químicas, tivesse sido abordado de forma integrada desde os primeiros contatos, tanto pelo uso de materiais bibliográficos quanto por outras fontes de ensino, este conceito não seria utilizado de forma tão fragmentada, pelos concluintes da licenciatura em química, como a observada nas Figuras de 6 a 9.

Uma nova situação experimental, também utilizada em aulas de química geral (Apêndice 4), foi apresentada aos alunos e solicitando que elaborassem um mapa conceitual. Para esta nova situação consideramos que houve um avanço significativo, tanto da relação entre conceitos na transformação química em estudo quanto do reconhecimento da energia como essencial para caracterizar e explicar a reação química. As Figuras 10 a 13 apresentam os mapas conceituais expressos, respectivamente, pelos mesmos alunos que apresentaram os mapas presentes nas Figuras de 6 a 9.

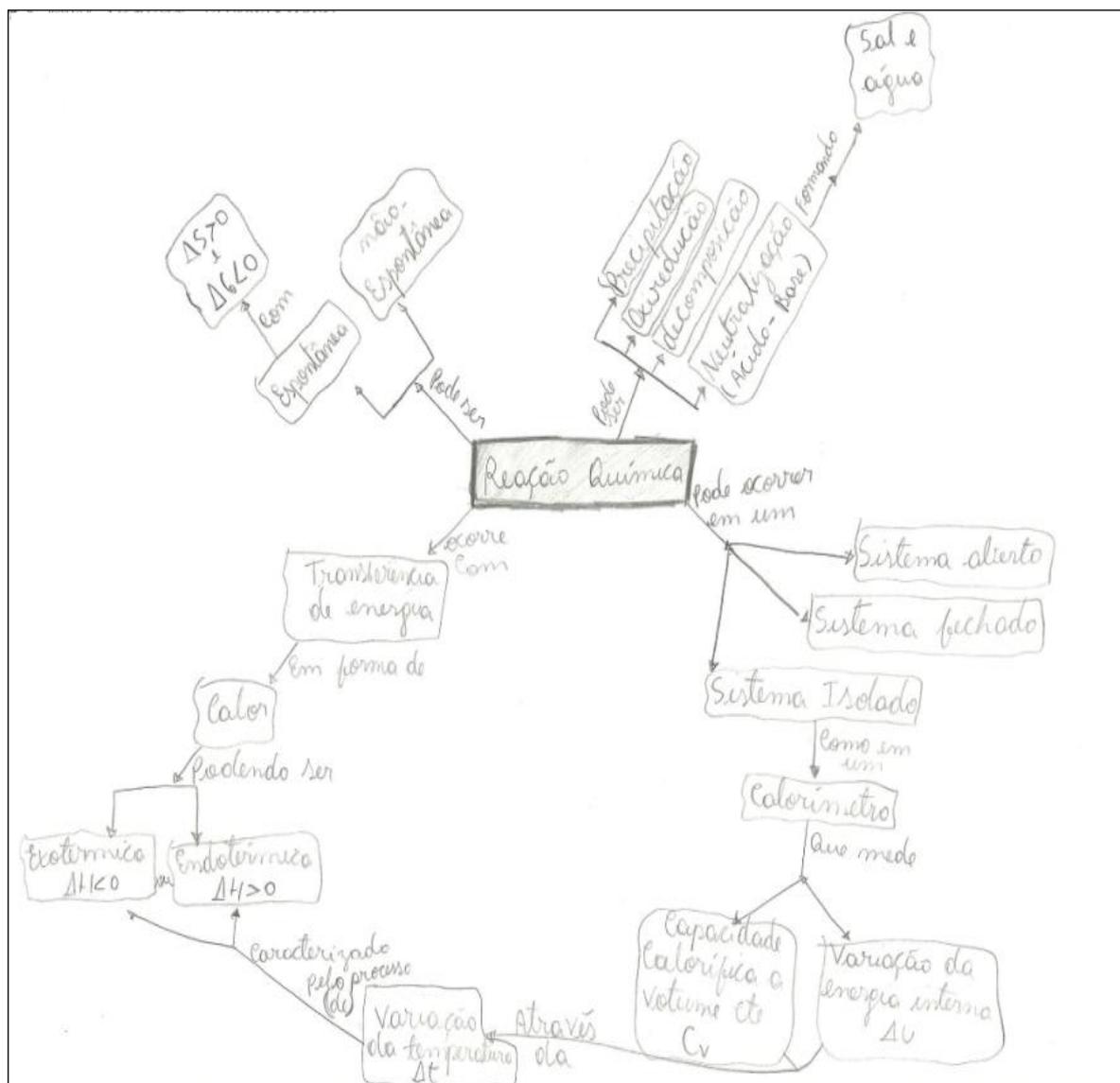


Figura 10 - Segundo mapa do Aluno X - Grupo 1,2,3,...

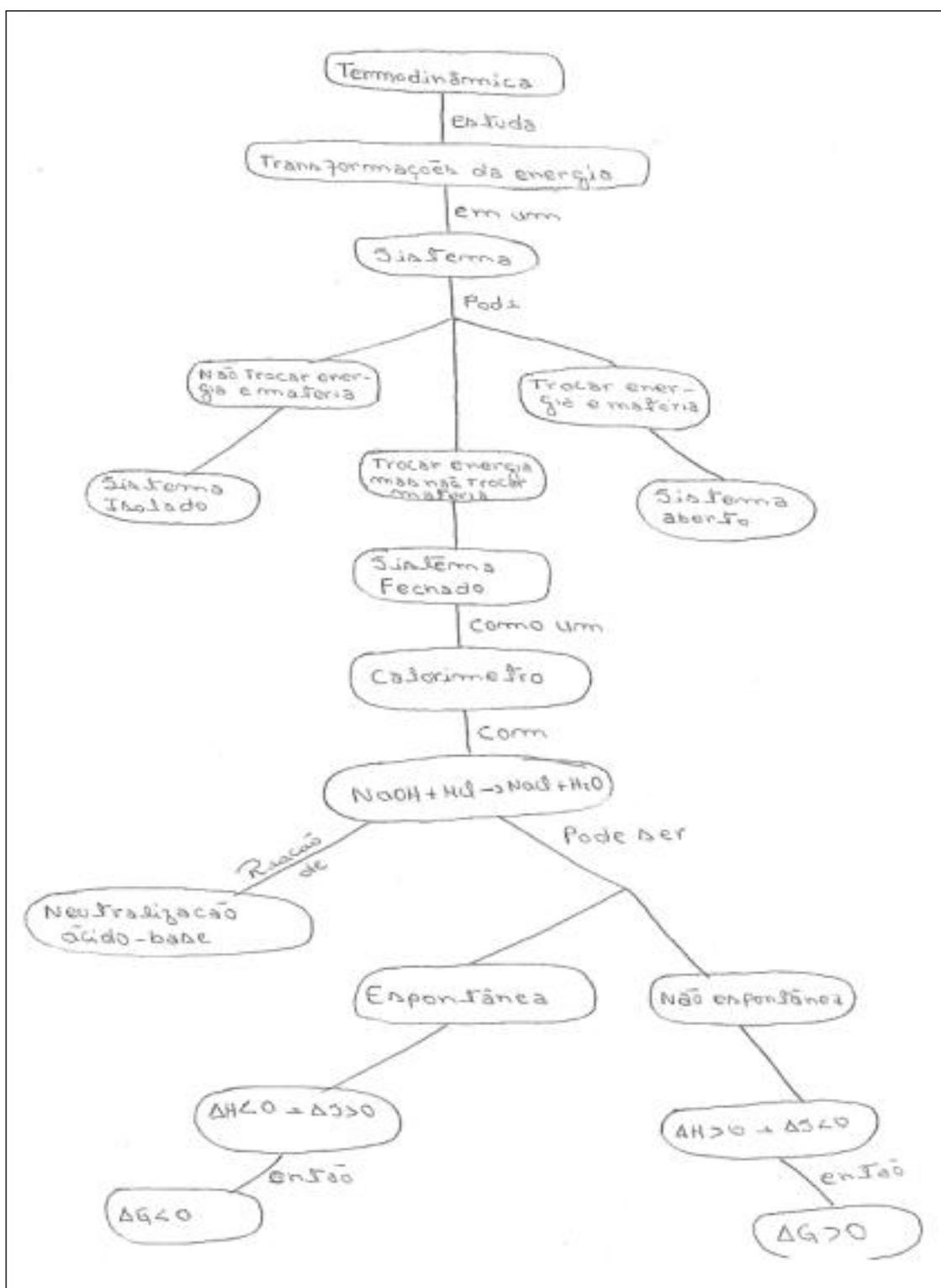


Figura 11 - Segundo mapa do Aluno X - Grupo Transformação.

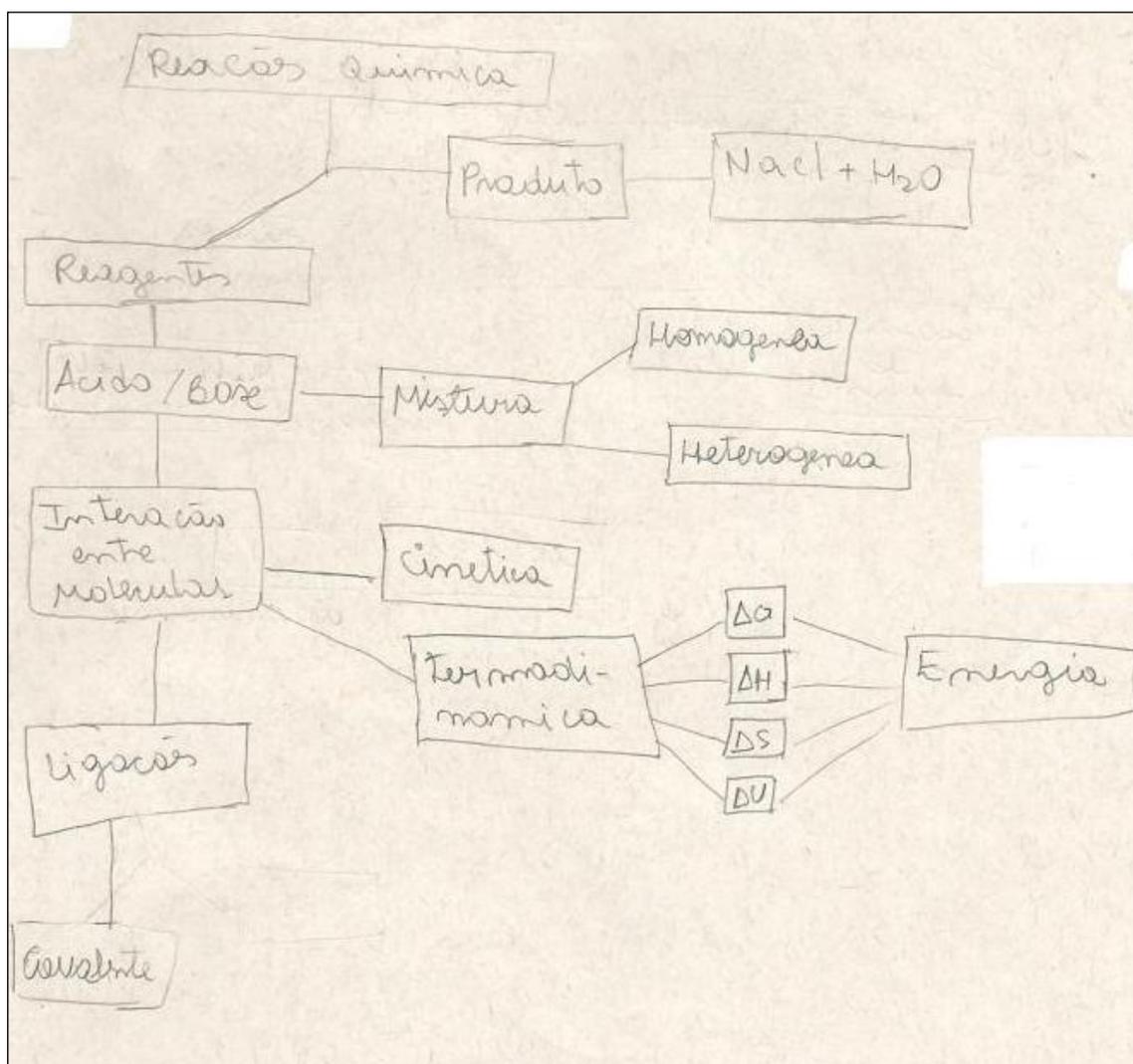


Figura 12 - Segundo mapa do Aluno Y - Grupo Almofariz.

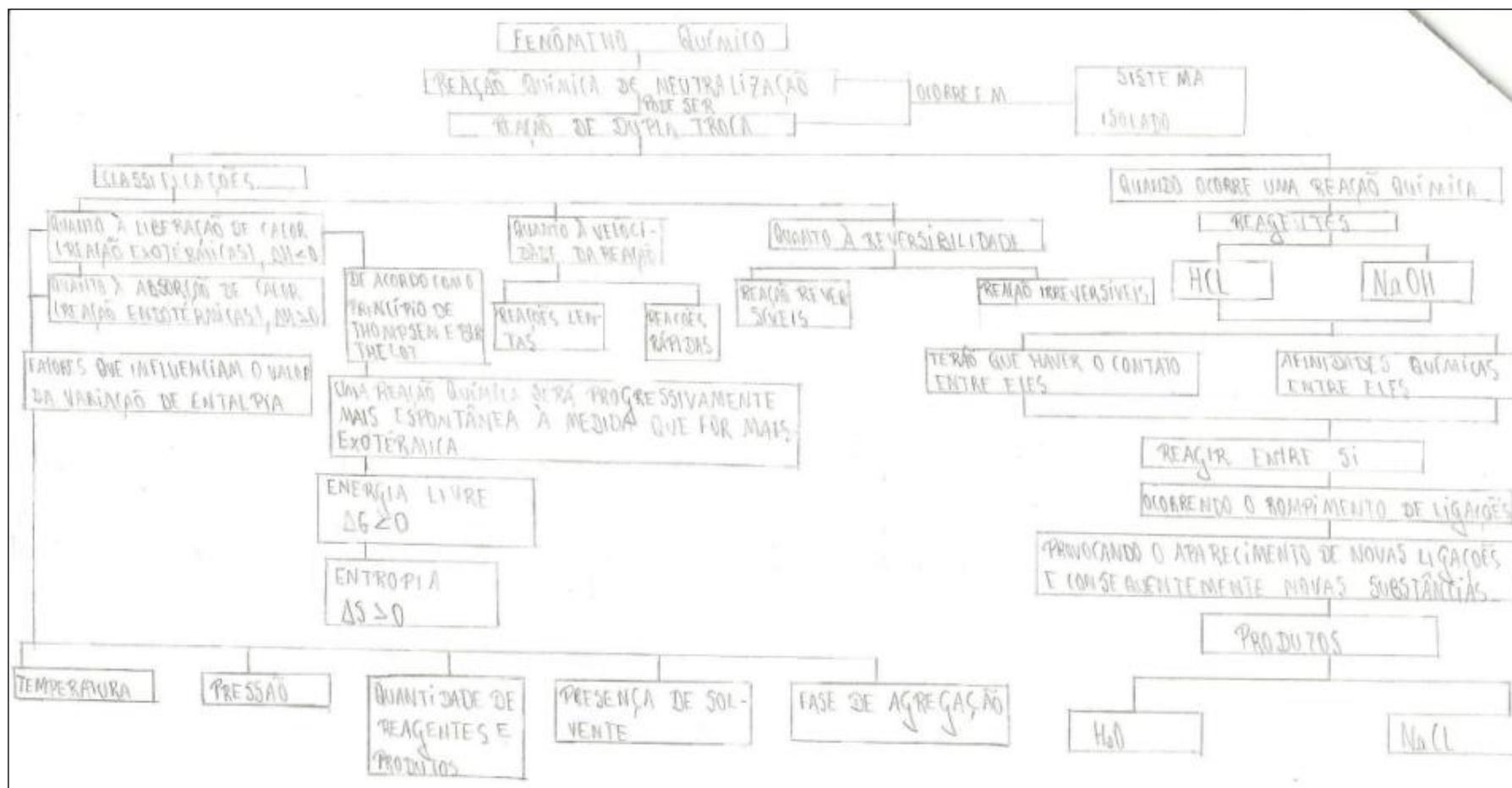


Figura 13 - Segundo mapa da Aluna Z - Grupo Precipitadas

Como observado nos mapas apresentados nas Figuras de 10 a 13 houve uma evolução dos conceitos apresentados em relação aos mapas das Figuras de 6 a 9. Um exemplo disso foi à atribuição de variáveis macroscópicas termodinâmicas presentes em todos os mapas das Figuras de 10 a 13. Sendo que nos mapas apresentados nas Figuras 10, 11 e 13 a variável energia livre apresenta-se associada ou a entalpia e/ou entropia. Nos Mapas das Figuras 10 e 11 é interessante observar como a energia aparece associada com a expressão transformação química, Figura 10, como com a termodinâmica, Figura 11, quando tentamos montar os textos, respectivamente, para esses mapas no Quadro 21.

Montagem de Texto proposto no mapa da Figura 10	Reação química ocorre com transferência de energia em forma de calor
Montagem de texto proposto no mapa da Figura 11	Termodinâmica estuda a transformação da energia em um sistema

Quadro 21 - Montagem parcial de textos propostos nos mapas da segunda situação.

Ainda na análise desses mapas, Figuras 10 e 11, é importante ressaltar que em comparação aos mapas das Figuras 6 e 7, houve um maior emprego de palavras de enlace, frases e hierarquização conceitual. O que caracteriza que em sua elaboração, esses alunos, parecem entender, a relação conceitual existente numa transformação química. Segundo Freitas Filho, 2007 as palavras de enlace se tornam uma maneira de diminuir, pelo o autor do mapa, a necessidade de explicações. Apesar do mapa da Figura 12 não apresentar palavras de enlace é importante ressaltar o entendimento atribuído as funções de estado termodinâmicas, como energia, pelo autor desse mapa, percepção essa que parece ter sido construída durante as discussões do ciclo de estudos, uma vez que na fala desse aluno ainda na primeira transformação química em discussão, Quadro 11, o mesmo não consegue mencionar a energia em nenhuma de suas explicações.

A Figura 13, apresentando o mapa conceitual da aluna Z, apesar de não deixar explícita a diferença entre as palavras de enlace dos conceitos, faz uma abordagem significativa sobre as formas de energia que podem caracterizar uma transformação química.

7 CONCLUSÕES

A investigação aqui desenvolvida procurou defender a tese da importância da abordagem integrada dos aspectos energéticos que permeiam os sistemas químicos. Tal proposta contribui para uma visão mais integral dos conceitos químicos evitando sua fragmentação.

Tal fragmentação, que pode ser influenciada por livros de Química Geral, e também nos modelos apresentados pelos alunos participantes desta pesquisa, dificulta a aprendizagem do conteúdo químico, uma vez que este tem sua compreensão através da articulação de conceitos. Sendo assim, compreendemos que até é possível, em alguns casos, elaborar explicações do conteúdo químico com o livro de química geral, porém nem sempre pela utilização de um único livro desta disciplina.

A proposta de articulação apresentada nesta pesquisa se dá pelo uso do conceito de energia tanto por este estar presente na explicação de vários conteúdos químicos quanto pelo grau de importância que possui na explicação de fenômenos naturais. Portanto, tal estudo pode levar alunos de um curso de química geral a um melhor entendimento do conteúdo estudado, evitando a forma tradicional e dissociada em que este conceito é apresentado.

As reflexões e análises que nos levaram a essas proposições se basearam na ausência do uso do conceito de energia em determinadas explicações do conteúdo químico e nos modelos explicativos utilizados pelos alunos da licenciatura em química quando tentam explicar uma transformação química. Onde, em ambas as situações a ausência desse conceito, muitas vezes, impede o entendimento microscópico das transformações químicas. Fato este, observado principalmente quando os alunos concluintes da licenciatura em química tentam descrever e explicar a reação entre o alumínio e o ácido clorídrico ou alumínio e o hidróxido de sódio durante o ciclo de estudos.

Segundo Covolan (2004), as pesquisas que tratam conceitos envolvidos nas leis da termodinâmica (calor, temperatura, energia, trabalho, energia livre e entropia) revelam que esses conceitos são complexos e de difícil compreensão. Portanto, acreditamos ser necessário distinguir entre as formas de energia utilizadas no nível

microscópico e as formas de energia utilizadas no nível macroscópico, uma vez que os sistemas químicos são dotados de explicações das formas de energia nesses dois níveis.

Embora não seja possível afirmar que os alunos participantes do ciclo de estudos tenham adquirido uma sólida concepção que os habilitem na compreensão das ideias relativas ao conceito de energia, ainda assim, consideramos positivo o envolvimento dos alunos na busca de explicações que procurassem explicar sistemas químicos.

Essa constatação foi evidenciada durante as discussões geradas pelos grupos sobre a situação experimental em estudo (reações do alumínio com o HCl e com o NaOH) e também nos momentos da entrevista coletiva, onde pôde-se observar o envolvimento dos alunos na busca de explicações coerentes. Um exemplo pode ser destacado quando na segunda situação em estudo (sistema da reação de difusão), 50% dos alunos conseguiram diferenciar uma situação descritiva de uma explicativa (habilidades cognitivo-linguísticas relevantes para entender o processo) e ainda na elaboração do mapa conceitual proposta na terceira situação de estudo (reação do HCl com NaOH na bomba calorimétrica) na prova pedagógica.

Entendemos que o estudante do curso de Química não deve reconhecer o conteúdo químico dissociado do conceito de energia, uma vez que espera-se que enquanto profissional, seja como bacharel ou licenciado deverá contribuir com seu papel social de entender e interpretar o mundo que o rodeia, as implicações energéticas em meio às transformações químicas. Para tanto, é preciso repensar o ensino da disciplina de Química Geral no nível superior de ensino, tanto na forma como se elabora o livro utilizado nessa disciplina quanto nas propostas de ensino dessa disciplina.

Outro ponto que chamou atenção durante o levantamento bibliográfico desta pesquisa, foi uma extrema um número pouco expressivo de pesquisas voltadas para o ensino deste conceito no campo da Química. O que de certa forma nos leva a pensar na falta de integração tanto nos livros de química geral quanto pelos concluintes da licenciatura em química. Tais constatações nos fizeram perceber que focar os aspectos energéticos pode viabilizar o ensino-aprendizagem da química, seja por meio de textos como o proposto no primeiro capítulo desta tese ou de atividades de discussão como apresentado no quinto capítulo. Essa perspectiva de ensino vem ao encontro do que se propõe nos documentos legais para a educação básica e para o nível superior, por meio do ENADE, afirmando que o conceito de energia é um conceito integrador do conhecimento químico.

Espera-se que esta pesquisa possa apontar para algumas ideias que podem servir de reflexões para professores formadores que atuam na disciplina de Química Geral no nível superior de ensino ao reconhecer a relevância da inter-relação entre os conceitos em um sistema químico. Por exemplo, tendo como base o conceito de energia, sugerido aqui, não apenas às disciplinas relacionadas ao curso de química geral, mas também, a conteúdos das diversas áreas da química, como química orgânica, química inorgânica, química analítica e físico-química ou ainda a outros conteúdos das diversas áreas das ciências como física e a biologia.

Na mesma direção, e talvez mais ousado, espera-se contribuir para a área de ensino de Química pelo fato de fornecer subsídios do material aqui elaborado nas atividades para estudos complementares na disciplina de química geral. Além de outros estudos tanto com o livro de química geral como concepções de alunos sobre o conceito de energia em meio ao conteúdo químico, ambos para o nível superior de ensino.

Pelo exposto acima, acreditamos não ter encerrado as possibilidades de investigações para o conceito de energia com esta nossa proposta didática, mas ao contrário, concluímos através dela, que uma série de indícios merecem ser investigados e explorados em grau de profundidade cada vez maior para um completo diagnóstico do uso desse conceito em meio ao conteúdo químico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. G., COSTA, C. R., ASSIS, M. D., IAMAMOTO, Y. Uma proposta para o ensino da química analítica qualitativa - **Química Nova**, Vol. 29, No. 6, 1381-1386, 2006
- AFONSO, A. S.; LEITE, L. Concepções de futuros professores de Ciências Físico-Químicas sobre a utilização de actividades laboratoriais. **Revista Portuguesa de Educação**, 13, n. 1, p. 185-208, 2000.
- AMARAL, E. M. R. E MORTIMER, E. F., Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química. **Educación Química**. n. 15, v. 3 p. 60 – 75, 2004.
- ANACLETO, J. e ANACLETO, A.; Sobre a primeira lei da termodinâmica. As diferenciais do calor e do trabalho. **Química Nova**. v. 30, n. 2, p. 488 – 490, 2007.
- ANDREU, F. J. El uso de textos originales de los científicos y sus dificultades en el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica», in: **Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales**, n. 10, p. 93-100, 1996.
- ARCE, C. R.; LEYVA, L. G. e DÍAZ, A. A.; **Metodología de la enseñanza de la Química**. Ed. Pueblo y Educación – Playa, Ciudad de La Habana – 1990.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química** - questionando a vida moderna e o meio ambiente. Trad. Ignez Caracelli et al. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- ATKINS, P.; **Físico-Química** – Fundamentos. Trad. E.C. Silva.; M. J. E. M. Cardoso. e O. E. Barcia. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2003.
- BARDIN, L. Análise de Conteúdo. 3. ed. Lisboa: Edições 70, 2004. 223 p.
- BARBOSA, J. P. V. e BORGES, A. T. O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 23, n. 2, p. 182 – 217, 2006.
- BARROS, H. L. C., Processos Endotérmicos e Exotérmicos: Uma Visão Atômico-Molecular. **Química Nova na Escola**. n. 4, p. 241 – 245, 2009.
- BARROS, M. A. M. et. al. A construção de conceitos sobre energia, temperatura e calor nas aulas de biologia. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ipQCrFHWcOoJ:www.sbenbio.org.br/regional5/21.htm+A+CONSTRU%C3%87%C3%83O+DE+CONCEITOS+SOBRE+ENERGIA,+TEMPERATURA+E+CALOR+NAS+AULAS+DE+BIOLOGIA&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 04/06/2010
- BEN-ZVI, R. Non-science oriented students and the second law of thermodynamics. **International Journal of Science Education**, London, v. 21, n.12, p. 1251-1267, 1999.
- BIANCHI, J. C. A.; ALBRECHT, C. H.; MAIA, D. J.; **Universo da Química**. São Paulo. 1. ed. FTD, 2005. Volume Único.
- BRADY, J. E.; RUSSEL, J. W.; HOLUM, J. R. **Química**: a matéria e suas transformações. Trad. J. A. Souza. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2002. v 1.

_____. **Química**: a matéria e suas transformações. Trad. J. A. Souza. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2002. v 2.

BROWN, T. L. et. al. **Química**: a ciência central. Trad. R. M. Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005. 98-117, 2005.

Bucussi, A. A. Introdução ao conceito de energia. **Material de apoio ao professor**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. UFRGS. v. 17, n. 3 32 p. 2006.

Disponível em

<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000636160&loc=2008&l=34336387bfd30dfc>
acesso em 12 de abril de 2010.

CAMPANARIO, Juan Miguel; MOYA, A. ¿Como enseñar ciencias?: principales tendencias y propuestas. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, n. 17, p. 2, p.179-192, 1999.

CAMPOS, M.C.C.; NIGRO, R.G. **Didática das Ciências. O ensino-aprendizagem como investigação**. São Paulo: FTD, 1999.

CANDEL ROSELL, A., SATOCA VALERO, J. y SOLER LLOPIS, J.B., Interpretacion erronea del concepto de entropia (Revisión del concepto de orden) -. - **Enseñanza de las Ciencias**, 198-201, 1984.

CÁRDENAS, M. e LOZANO, S. R. Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica - **Enseñanza de las ciencias**, v. 14, n. 3 p. 343-349, 1996.

CARRASCOSA, J. A. El problema de las concepciones alternativas em la actualidad (Parte II). El cambio de concepciones alternativas. **Revista Eureka sobre la Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 2, n. 3, p. 388-402, 2005.

CARVALHO. A. M. P.. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. In: SANTOS, F. M. T. dos e GRECA, I. M. (Orgs.) **A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias**, Ijuí: Unijuí, 2007, p. 13-48.

CASTRO LIMA, M. E. C.; SILVA, N. S.; A química no ensino fundamental: uma proposta em ação. In: ZANON, L. B. e MALDANER, O. A. (Orgs.). **Fundamentos e Propostas de Ensino de Química para a Educação Básica no Brasil**. Coleção Educação em química, Ijuí: Editora Unijuí, 2007, p. 89 – 107.

COSTA, T. S. et. al. Experimentos com alumínio. **Química Nova na Escola**. n. 23, p. 38 – 40, 2006.

COVOLAN, S. C. T. **O conceito de entropia num curso destinado ao Ensino Médio a partir de concepções prévias dos estudantes e da História da Ciência**. 2004. f. 122 Dissertação (Mestrado em Educação) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

COVOLAN, S. C. T. e SILVA, D. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 97 – 117, 2005.

CRUZ, F. N. e SILVA JUNIOR, C. N.; **Termoquímica e equilíbrio**. 1º ed. Natal: EDUFRN, 2010. v. 10. 340 p.

DANTAS, J. M. **Uma interpretação microscópica para a análise sistemática de cátions.** 2006. f. 133. Tese (Doutorado em ciências). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

DAMASCENO, H. C., WARTHA, E. J., SILVA, A. DE F. DE A., **Conteúdos e programas de química no ensino médio: o que realmente se ensina nas escolas de itabuna, região sul da bahia.** - VII ENPEC, Florianópolis, novembro de 2009.

DE POSADA, J. M. Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y despues de La enseñanza formal: problemas de aprendizaje. **Enseñanza de las Ciencias**, 17, n. 2, p. 227-245, 1999.

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

DOMÉNECH, J. L. L. et. al.; La enseñanza de la energia: una propuesta de debate para um replanteamiento global. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** v. 20, n. 3, p. 285 – 310, 2003.

DUARTE, H. A.; Ligações químicas: Ligação Iônica, Covalente e Metálica. **Química Nova na Escola.** Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola n. 4, 2001

EBBING, D. D. **Química geral.** Trad. Macedo H. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. v 1.

ECHEVERRIA, A. R. Dimensão empírico-teórica no processo de ensino-aprendizagem do conceito soluções no ensino médio. 1993. f. 214 Tese (Doutorado em Educação). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1993.

FERREIRA NETO, J. e JAFELICE, L. C. **Energia**, 1º ed. Natal: EDUFRN, 2007.

FRANCISCO Jr, W. E.; FERREIRA, L. H.; e HARTWIG, D. R.; Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química Nova na Escola.** n. 30, p. 34 – 41, 2008.

FRANCO, A. G. e RUIZ, A. G., Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. **Enseñanza de las ciencias.** v. 24, n. 1, p. 111–124, 2006.

FREITAS FILHO, J. F. Mapas conceituais: estratégia pedagógica para construção de conceitos na disciplina química orgânica. **Ciências & Cognição.** v. 12, p. 86 – 95, 2007.

FURIÓ, C., FURIÓ, C., Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos, **Educación Química** v. 11, n.3, p. 300 – 308, 2000.

FURIÓ, C., SOLBES, J. e FURIÓ, C., Cómo se presentan los conceptos y modelos en la enseñanza de la termoquímica? Visiones distorcionadas de la ciencia en libros de texto. Número Extra VII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, p. 1-6. 2005. Anais do Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, disponível em http://www.oei.es/decada/Furio_560E.pdf acesso em 12 de maio de 2010.

GALAGOVSKY, L. R., RODRÍGUEZ, M. A., STAMATI, N. Y MORALES, L. F. Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla, **Enseñanza de las ciencias**, 21 (1), 107-121, 2003.

- GALAGOVSKY, L. et. al. Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales: un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. **Enseñanza de las ciencias**, 21, n. 1, p. 107-201, 2003.
- GARCÍA FRANCO, A. Y GARRITZ RUIZ, A. - Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato, **Enseñanza De Las Ciencias**, 24(1), 111–124, 2006.
- GARRITZ, A.; TRINIDAD-VELASCO, R. **Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la matéria**. Educación Química, v. 2, n. 14, p. 92 – 105, 2003.
- GASKELL, G. Entrevistas individuais e grupais. In: GASKELL, G. e BAUER, M. W. **Pesquisa Qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. Petrópolis, RJ: Ed. Vozes, 2002, p. 64-89.
- GIL, E. M. Temas de historia de la física. Havana: editorial Pueblo y Educación, 2003.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**. n.10, p. 43-49, 1999.
- GIORDAN, A.; DE VECCHI, G. **As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos**. Porto Alegre: Artmed, 1996.
- GRINGS, E. T. O., CABALLERO, C.e MOREIRA, M. A. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias v. 7, n.1, p. 23 – 46. 2008.
- GUARIGLIA, C. E., VIGGIANO, E. e MATTOS, C.; Categorías de questões sobre energia no enem guariglia. Em:VII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2009. Disponível em <http://www.foco.fae.ufmg.br/viiienpec/index.php/enpec/viiienpec/paper/viewFile/1519/563>
- HAASE, R. Survey of fundamental laws. Em: JOST, W. (Ed.). Physical chemistry: An advanced treatise. Nova Iorque: Academic Press, 1971
- INSAUSTI, M.J., Análisis de los trabajos prácticos de química general en un primer curso de universidad. **Enseñanza de las Ciências**, v.15, n. 1, p. 123-130. 1997.
- JACQUES, V. E MILARÉ, T. O conceito de energia em um livro didático de oitava série do ensino fundamental. Em: VI Encontro Nacional de Pesquisadores em educação em Ciências, 2007. Disponível em <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/CR2/p443.pdf> acesso em 12 de maio de 2010.
- JIMENEZ ALEIXANDRE, M. P. et. al. (Org). **Enseñar Ciencias**. Barcelona: Graó, 2007.
- JIMÉNEZ, V. M., BLANCO NIETO, L. J., e MACÍAS, C. R. **Aprender a ensinar ciencias experimentales em la formación inicial Del profesorado: estudios de caso sobre la enseñanza de la energia**. Badajoz: ICE de la Universidad de Extremadura. 1999.
- KOTZ, J. C. e TREICHEL, P. M. Jr. **Química Geral 1 e reações químicas**. Trad. F. M. Vichi. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005, v. 1.

- _____. **Química Geral 2 e reações químicas**. Trad. F. M. Vichi. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005, v. 2.
- LABURÚ, C.E. Fundamentos para um experimento cativante. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 382-404, 2006.
- LEBOWITZ, J. L. A cerca da origem microscópica dos fenômenos macroscópicos. *Revista Brasileira de ensino de física*. v. 28, n. 3, p. 267 – 268, 2006.
- LEE, J. D., **Química inorgânica não tão concisa**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 2000.
- LEÓN, I. N. et al. **Metodología de la Investigación educacional**: segunda parte. La Habana: Pueblo y educación, 2001.
- LOPES, A. R. C.; Reações químicas fenômeno, transformação e representação, **Química Nova na Escola**, n 2 nov, 1995.
- LOPES, A. C. **Currículo e Epistemologia**. Ijuí: Editora Unijuí, 2007.
- MAHAN, B. M., **Química um curso universitário**. Trad. Araki, K. 4. ed. São Paulo: editora Edgard Blücher Ltda., 1995.
- MALAVAR, M. PUJOL, R. e D’ALESSANDRO MARTÍNEZ, A. La calidad científica Del contenido sobre El tema de La estructura de La matéria em textos universitários de química general. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.25, n. 2, p. 229-240. 2007.
- MALDANER, O. A., BAZZAN, A. C., LAUXEN, M. T. C. Reorganização dos Conteúdos de Química no Ensino Médio a partir do Desenvolvimento do Currículo por Sucessivas Situações de Estudo. Em: XIII Encontro Nacional de Ensino de Química - Unicamp, Campinas, SP, de 24 a 27 de Julho de 2006. Disponível em http://www.projetos.unijui.edu.br/gipec/sit-estudo/documentos/eneq_trab_conmpl_marla_ultima_vers_o.pdf acesso em 12 de maio de 2010
- MARTORANO, S. A. A. As Concepções de ciência dos livros didáticos de química, dirigidos ao ensino médio, no tratamento da cinética química no período de 1929 a 2007. F. 226 Dissertação (Mestrado em ensino de ciências). Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2007.
- MORTIMER, E. F. e AMARAL, L. O., Quanto mais quente melhor: Calor e temperatura no ensino de termoquímica. **Química Nova na Escola**. n. 7, p. 30 – 34, 1998.
- MOREIRA A. M.; **Mapas conceituais e aprendizagem significativa** - Texto base de um minicurso realizado no XV SNEF, março de 2003, Curitiba. Disponível em <http://omnis.if.ufrj.br/~marta/aprendizagememfisica/mapasconceituais.pdf>. Acesso 25 novembro de 2009
- NOBREGA, O. S.; SILVA, E. R.; SILVA, R. H.; **Química**. 1. ed. São Paulo: Ed. Ática, 2007
- NOVAK, J.D.; The Promise of New Ideas and New Technology for Improving Teaching and Learning, **Cell Biology Education**, v.2, n. 5, p. 122-132, 2003.
- OLIVEIRA, R. J. e SANTOS, J. M. A energia e a química. **Química Nova na Escola**. n. 8, p. 19-22, 1998.
- PACCA, J. L. A.; HENRIQUE, K.F. Dificuldades y estratégias para la enseñanza del concepto de energia. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 22, n. 1, p. 159-166, 2004.

- PESTILLO, A.L.; FERNANDEZ, C. Fluorescência e estrutura atômica: experimentos simples para abordar o tema. **Química Nova na Escola**, v 19, p. 39-42, 2004.
- POZO, J. I. **Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza: ¿concepciones alternativas**. *Infancia y Aprendizaje*, n. 62, p. 187-204, 1993.
- POZO, J. I.; GÓMEZ-CRESPO, M. A. **Aprender y enseñar ciencias**. Madrid: Ediciones Morata, 1998.
- QUEIROZ, S.. L. A linguagem escrita nos cursos de graduação em química. **Química Nova**, v. 24, n. 1, p. 143-146, 2001.
- QUÍLEZ, JUAN., Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de química general al tratar La energía libre de Gibbs. **Enseñanza de las ciencias**. v. 27, n. 3, p. 317 – 330. 2009.
- RIBOLDI, L., PLIEGO, O., ODETTI, H., El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. **Enseñanza De Las Ciencias**, 22(2), 195–212, 2004.
- RIBEIRO, R. P.; NÚÑEZ, I. B. **Pensando a aprendizagem significativa: Dos mapas conceituais às redes conceituais**. In: NÚÑEZ, Isauro; RAMALHO, Betania (Org.). *Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática: o novo ensino médio*. Porto Alegre: Sulina, 2004. p. 201- 225.
- RICHARDSON, R. J. **Métodos Qualitativos e Quantitativos: Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1999.
- RIZZINI, Irma et. al. **Guia de metodologias de pesquisa para programas sociais**. CESPI – USU, Coordenadoria de Estudos e Pesquisa sobre Infância Universidade Santa Úrsula, Série Banco de Dados – 6, Editora Universitária USU, 1999.
- ROCHA, W. R. Interações intermoleculares. **Química Nova na Escola**, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. n. 4, p. 31 – 36. 2001
- RUSSEL, J. B. **Química geral**. Trad. e Rev. Téc. Márcia Guekezian et al. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2006. v 1.
- _____. **Química geral**. Trad. e Rev. Téc. Márcia Guekezian et al. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2006. v 2.
- SANTOS et. al. Determinação da massa molar por crioscopia: terc-butanol, um solvente extremamente adequado. **Química Nova**. v. 25, n. 5, p. 844 – 848, 2002.
- SARDELLA, A.; **Química**. 5. Ed. São Paulo: Ed. Ática, 2005.
- SICHAU, C. Practising helps: thermodynamics, history, and experiment. **Science Education**, New York, v. 9, n. 2, p. 389-398, 2000.
- SILVA, J. L. P. B., Por que não estudar entalpia no ensino médio. **Química Nova na Escola**. n. 22, p. 22 – 25, 2005.
- SILVA, M. G. L. e NEVES, L. S., **Instrumentação para o ensino da química I**, EDUFERN, Natal, 2006

SILVA, M. G. L.; NUÑEZ, I. B.; Instrumentação para o ensino de química II. Natal: Editora da UFRN, 2007. v. 1. 226 p

_____; Instrumentação para o ensino de química III. 1. ed. Natal: Editora da UFRN, 2008. v. 1. 200 p.

SILVA JÚNIOR, C. N. e PIMENTEL, P. M., **Experimentos de termoquímica e equilíbrio**, EDUFRN, Natal, 2009.

SILVA, S. M., EICHLER, M. L., DEL PINO, J. C. As percepções dos professores de química geral sobre a seleção e a organização conceitual em sua disciplina. **Química Nova** – V. 26, No. 4, p. 585 – 595, 2003.

SILVA, S. M. et.al. **Concepções alternativas de calouros de química para os estados de agregação da matéria, a solubilidade e a expansão térmica do ar**. Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação para as Ciências. Bauru, p. 1-15, 2005. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/16277/000699167.pdf?sequence=1> acesso em 12 de maio de 2010.

SILVA, S. M. et.al. **Concepções alternativas de calouros de química para os conceitos de termodinâmica e equilíbrio químico**. IN: VI Encontro Nacional de Pesquisadores em educação em Ciências, Florianópolis, 2007.
<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/CR2/p549.pdf> acesso em 12 de maio de 2010

SILVA, G. J., MARTINS, C. M. C. **A imagem de ciência na seqüência didática de um livro de química: um desenho metodológico!** - XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ), Curitiba/PR, UFPR, 2008. Disponível em <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0812-2.pdf> acesso em 05 de março de 2010.

SOLBES, J. e TARÍN, F. La conservación de la energía: un principio de toda la física. una propuesta y unos resultados. **Enseñanza de las ciencias**, n. 22 v. 2 p. 185–194. 2004.

_____. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. - **Enseñanza de las Ciencias**, 16 (3), 387-397, 1998.

TOMA, H. E. Ligação química: uma abordagem clássica ou quântica? **Química Nova na Escola**, n. 6, p. 8-12, 1997.

TREJO, L.; DELGADO, T. e FLORES, S. Sobre la enseñanza de la termoquímica en la química del nivel bachillerato. **Enseñanza de las Ciencias**, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, p. 3589-3592. 2009. Disponível em <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-3589-3592.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2010.

USBERCO, J. e SALVADOR, E. **Química**: Volume Único. 5. Ed. São Paulo: ed. Saraiva, 2002

VALDIVIA, A. O. Cambio de energía libre y espontaneidad a través de las explicaciones de los estudiantes e integración de sus ideas. **Educación Química**, v. 15, n. 4, p. 436-440, 2004.

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed. 1998.

WHITTEN, K. W. et al. **General Chemistry**. 6. ed. [s.l.]: Hardcover, 1999.

WUO, W. **A Física e os Livros** – Uma análise do saber físico nos livros didáticos adotados para o ensino médio. São Paulo: EDUC; FAPESP, 2000.

Apêndice 1

Núcleo de Pesquisa em Educação Química da UFRN – PPGQ

Formulário de Avaliação em Ensino de Química

Nome (somente se desejar): _____ Habilitação:

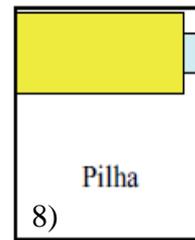
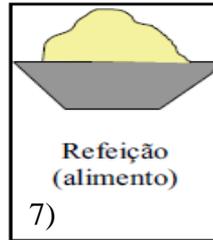
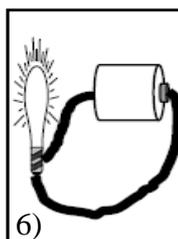
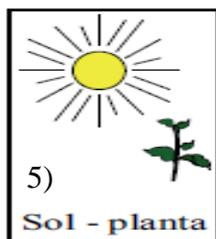
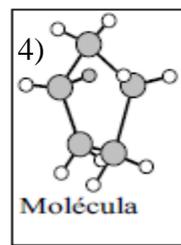
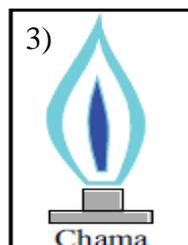
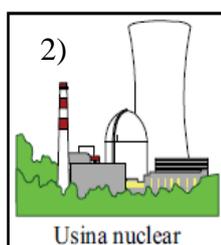
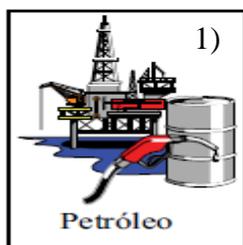
Ano de entrada no curso de química da UFRN: _____

a. Ano de Conclusão do ensino médio: _____

b. Tipo de ensino médio que você cursou:

 Ensino médio Público Ensino médio privado Ensino Técnico: favor especificar o curso _____Se você gostaria de contribuir com uma entrevista para esta pesquisa, por gentileza
deixe seu telefone e e-mail para contato:

1) Você certamente já ouviu falar de energia no seu dia-a-dia. Baseado nos seus conhecimentos, especifique no quadro abaixo, qual forma de energia está presente em cada uma das imagens.



1)	3)	5)	7)
2)	4)	6)	8)

2) Liste cinco conteúdos estudados nas disciplinas de química fundamental I e II que envolvem o conceito de energia. Coloque em ordem crescente de importância.

3) Marque abaixo a alternativa que corresponde corretamente ao conteúdo estudado no curso de química que utiliza formas de energia para quantificar as reações químicas.

<input type="checkbox"/> Forças Intermoleculares	<input type="checkbox"/> Termodinâmica Química
<input type="checkbox"/> Cinética Química	<input type="checkbox"/> Eletroquímica
<input type="checkbox"/> Equilíbrio Químico	

4) Qual(is) forma(s) de energia pode(m) ser utilizada(s) para quantificar as reações químicas?

<input type="checkbox"/> Energia Interna (ΔU)	<input type="checkbox"/> Entropia (ΔS)
<input type="checkbox"/> Entalpia (ΔH)	<input type="checkbox"/> Energia Livre (ΔG)

Apêndice 3

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Química
Grupo de Pesquisa em ensino de química da UFRN

Nome: _____ Período: _____

Disciplinas já cursadas:

<input type="checkbox"/> Química Fundamental I	<input type="checkbox"/> Química Fundamental II
<input type="checkbox"/> Alguma do grupo da Química Inorgânica	<input type="checkbox"/> Alguma do grupo da Química Analítica
<input type="checkbox"/> Alguma do grupo da Química Orgânica	<input type="checkbox"/> Alguma do grupo da Físico-Química

Sobre o experimento do anel de lata de bebida com o ácido clorídrico:

a) Descreva por escrito o que vê;

b) Explique por escrito o que vê;

Sobre o experimento do anel de lata de bebida com o hidróxido de sódio

a) Descreva por escrito o que vê;

b) Explique por escrito o que vê;

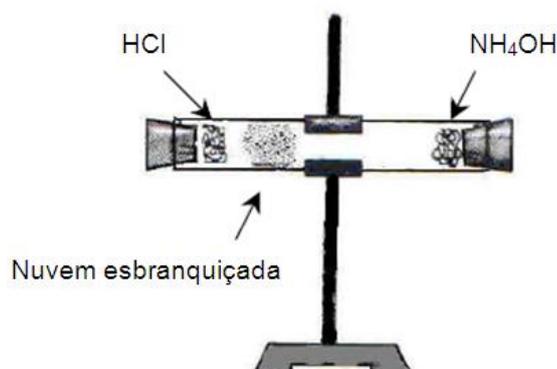
Apêndice 4

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Programa de Pós-Graduação em Química
Grupo de Pesquisa em Ensino de Química da UFRN

Nome: _____ Data: _____
Nome do grupo: _____

Atividade

1. Um experimento simples, porém muito utilizado para ilustrar a difusão dos gases ocorre quando chumaços de algodão são embebidos de soluções concentradas de hidróxido de amônio e ácido clorídrico (figura abaixo). Cada chumaço de algodão é embebido nas soluções citadas e colocado em cada extremidade do tubo de vidro. Veda-se as extremidades para evitar a difusão dos gases para fora do tubo. Após alguns segundos o tubo se torna mais quente formando uma nuvem esbranquiçada próxima a extremidade onde estava o chumaço de algodão com o ácido clorídrico.



A partir da situação acima, responda:

- O que há de descritivo e de explicativo no texto acima? Justifique sua resposta.
- Apresente uma explicação em termos de conceitos químicos para o experimento.
- Elabore um mapa conceitual para a relação dos conceitos utilizados em sua explicação.

Apêndice 5

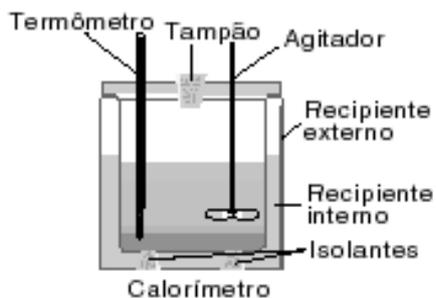
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Programa de Pós-Graduação em Química
Grupo de Pesquisa em Ensino de Química da UFRN

Nome: _____

Nome do grupo: _____

Atividade

A figura abaixo representa o experimento realizado pela professora Vitória. No calorímetro foi adicionado 10mL de HCl (1,0 molar) e depois 10mL de NaOH (1,0 molar). Foram medidas as temperaturas antes e depois de misturar as soluções. Depois a professora solicitou que os alunos observassem o que realizaram, descrevessem e explicassem o fenômeno:



Construa um mapa conceitual com os conceitos químicos envolvidos no fenômeno químico.