

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

JOSÉ LUIZ SANTANA JÚNIOR

**FUNDAMENTOS DE QUÍMICA: UMA ABORDAGEM
TERMODINÂMICA.**

**OURO PRETO
MINAS GERAIS – BRASIL
2014**

JOSÉ LUIZ SANTANA JÚNIOR

**FUNDAMENTOS DE QUÍMICA: UMA ABORDAGEM
TERMODINÂMICA.**

Monografia apresentada a Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências do curso de Licenciatura em Química, para a obtenção do título de *Licenciado*.

**OURO PRETO
MINAS GERAIS – BRASIL
2014**

JOSÉ LUIZ SANTANA JÚNIOR

**FUNDAMENTOS DE QUÍMICA: UMA ABORDAGEM TERMO
DINÂMICA.**

Monografia apresentada a Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências do curso de Licenciatura em Química, para a obtenção do título de *Licenciado*.

Aprovado em:

Prof.^a Stefannie Ibraim
Professora Da Disciplina “Estágio Supervisionado IV”

Prof.^a Aparecida Barbosa Mageste
Orientadora do trabalho

Prof.^a Paula Cristina Cardoso Mendonça
Examinadora

**OURO PRETO
MINAS GERAIS – BRASIL
2014**

Dedicado aos meus pais, José Luiz e Terezinha e minhas avós, Sílvia e Albertina (em memória).

Agradecimentos

Às forças divinas pelo dom da vida.

Aos meus pais, meus irmãos e minhas avós Sílvia e Albertina (em memória), por sempre acreditarem em mim e por todos os ensinamentos responsáveis pela formação do meu caráter. Meu tio Antônio e meus sobrinhos queridos pelo sorriso sincero e renovador.

À minha amiga, companheira, irmã e namorada Ana Beatriz, obrigado por

estar do meu lado fazendo meus dias mais felizes.

Aos meus amigos de banda José Luiz e Willian Ponciano pela força e injeção de ânimo. (Nossa vingança é prosperar)

Aos amigos que fiz durante a graduação, Daniela, Marlon e Marcelo, vocês fizeram toda diferença para mim nesse curso.

Ao corpo docente do curso de química, professora Aparecida e Stefannie pelo suporte e atenção nessa fase de elaboração da monografia. Professoras Paula e Kristiane pelo empenho e aulas estimulantes.

SUMÁRIO

LISTA DE IMAGENS	8	Excluído: 3
LISTA DE TABELAS	9	Excluído: 3
1 - RESUMO	10	Excluído: 3
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPOSTA	11	Excluído: 3
3 - OBJETIVOS	11	Excluído: 3
4 - METODOLOGIA	12	Excluído: 3
5 - INTRODUÇÃO	13	Excluído: 3
5.1 - Abordagens do ensino de química baseado nos aspectos energéticos envolvidos	13	Excluído: 3
5.2 - A abordagem construtivista de ensino e a noção de perfil conceitual	15	Excluído: 3
6 - DAS PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE CALOR E ENERGIA ATÉ A TERMODINÂMICA	17	Excluído: 3
6.1 - Breve histórico das ideias de energia ao longo dos tempos: As primeiras ideias a respeito de calor	17	Excluído: 3
7 - UNIDADES DIDÁTICAS	24	Excluído: 3
7.1 - Fundamentos básicos de termodinâmica	24	Excluído: 3
7.2 - Ligações iônicas	31	Excluído: 3
7.2.1- A abordagem tradicional de ensino e as concepções alternativas em relação à ligação iônica	31	Excluído: 3
7.2.2 - Fundamentação energética baseada no modelo eletrostático para ligação iônica	33	Excluído: 3
7.2.3 - Estratégia de ensino	41	Excluído: 3
7.2.4- Atividades	42	Excluído: 3
7.3 - Interações intermoleculares	49	Excluído: 3

7.3.1 - Abordagem tradicional de ensino e principais concepções alternativas.....	49	Excluído: 3
7.3.2 - Fundamentação energética envolvida no estabelecimento de interações intermoleculares.....	50	Excluído: 3
7.3.3 - Estratégia de ensino.....	59	Excluído: 3
7.3.4 - Atividades.....	60	Excluído: 3
7.4 - Eletroquímica.....	66	Excluído: 3
7.4.1 - A abordagem tradicional de ensino e as concepções alternativas em relação à eletroquímica.....	66	Excluído: 3
7.4.2 - Aspectos energéticos envolvidos em processos eletroquímicos.....	67	Excluído: 3
7.4.3 - Estratégia de ensino.....	71	Excluído: 3
7.4.4 ATIVIDADES.....	72	Excluído: 3
8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78	Excluído: 3
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79	Excluído: 3

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Representação Tridimensional da rede cristalina do NaCl

Fonte: Mendonça (2009, p.285).....34

Excluído: 3

Figura 2: Gráfico poço potencial da ligação iônica Fonte: Benvenuti (2006, p.197).....39

Excluído: 3

Figura 3: Etapas envolvidas na formação do NaCl(s) a partir de Na(s) e Cl₂(g). Fonte: Mendonça (2009, p. 287).....40

Excluído: 3

Figura 4 Diagrama “modelo de modelagem”**Erro! Indicador não definido.**

Figura 5: Representação de um dipolo formado em uma molécula hipotética heteronuclear. Fonte: Benvenuti (2006, p. 144)51

Excluído: 3

Figura 6: Orientação molecular produzida pela interação de dois dipolos Fonte: Bevenuti (2006, p.145).....51

Excluído: 3

Figura 7: Representação da interação entre duas moléculas de água. .54

Excluído: 3

Figura 8: Representação de agrupamento (clustering) de moléculas de água na fase líquida.56

Excluído: 3

Figura 9: Representação 2D da interação entre íon – dipolo (esferas de solvatação).57

Excluído: 3

Figura 10: Representação esquemática de uma pilha69

Excluído: 3

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de constantes de Madelung para algumas estruturas cristalinas Fonte: Benvenuti (2006, p.195)..... 36

Excluído: 3

Tabela 2: Valores de expoente de Born de acordo com a configuração do íon formado Fonte: Benvenuti (2006, p.196) 37

Excluído: 3

Tabela 3: Valores energéticos para cada processo de formação do NaCl. Fonte: Dasent (1970, p.71) apud Mendonça (2009). 40

Excluído: 3

Tabela 4 : Valores dos pontos de ebulição para os gases nobres 56

Excluído: 3

1 - RESUMO

O ensino de ciências atual tem dado maior atenção à compreensão do processo e da natureza na qual o conhecimento científico se desenvolve. Várias pesquisas em educação têm tratado da relevância do processo de ensino e aprendizagem se desenvolver de acordo com uma abordagem que considere efetivamente a participação dos alunos. Como por exemplo, atividades argumentativas e investigativas bem como o uso de modelos. Assim o ensino de ciências se torna mais próximo da atividade científica. Dentro dessa perspectiva de ensino, este trabalho propõe um material que visa contemplar os aspectos energéticos envolvidos nos conteúdos de ligação iônica, interações intermoleculares e eletroquímica. O material proposto é constituído de três partes. A parte inicial trata de uma breve compilação das principais propostas ao longo dos tempos em relação aos fenômenos térmicos e energéticos, desde a antiga Grécia até o desenvolvimento da termodinâmica. As duas partes seguintes do trabalho consistem no material didático propriamente dito. Cada uma dessas partes também foi subdividida em um material mais conceitual, que fornece arcabouços teóricos fundamentados em bases termodinâmicas relacionados aos respectivos temas. E uma segunda parte em que são apresentadas as propostas das atividades, bem como a estratégia de ensino. De modo que o aluno possa propor, construir, testar e reconstruir novas ideias. Colaborando assim para a consolidação de uma visão mais reflexiva e crítica, em detrimento à reprodutibilidade mecânica típica da abordagem tradicional de ensino.

2 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta do material iniciou-se no curso das disciplinas, estágio supervisionado II e prática de ensino de química II. Realizei meu estágio em uma turma do terceiro ano do ensino médio, o tema abordado em minha intervenção foi interações intermoleculares. Paralelamente nas aulas de prática de ensino estávamos iniciando algumas leituras a respeito de modelo e modelagem, foi quando então comecei a estruturar meu planejamento para intervenção em sala de aula. Baseado nas ferramentas estudadas na prática de ensino, como por exemplo, o uso de modelagem e atividades investigativas. Busquei fundamentar todo planejamento das aulas levando em consideração as concepções e ideias dos alunos expressas por meio de modelos. Busquei também tratar o tema de forma mais contextualizada. Para isso trabalhei bastante as relações entre a funcionalidade de algumas substâncias com suas propriedades físico-químicas, de modo a atribuí-las às suas interações intermoleculares estabelecidas. Essa relação também permitiu desenvolver uma ligação entre os níveis submicroscópicos (interações intermoleculares) com o macroscópico (funcionalidade de algumas substâncias). Para promover essa ligação utilizei um tratamento energético calcado na termodinâmica, para explicar a estabilidade e magnitude das interações intermoleculares. Dessa forma os alunos poderiam testar seus modelos propostos do universo submicroscópico, verificando se suas proposições eram suficientes para explicar as propriedades de determinadas substâncias. No decorrer da intervenção e após observar os vídeos das aulas, percebi que talvez essa proposta pudesse favorecer um entendimento mais processual do tema. Evitando também artifícios baseados na memorização, notei um maior interesse dos alunos que possivelmente pode ser atribuído a uma maior participação dos mesmos. Nesse contexto de geminação de estágio e prática de ensino, surgiu a ideia de compor um material para utilização no ensino médio contemplando outros temas e que trabalhasse de forma semelhante à proposta desenvolvida em minha intervenção.

3 - OBJETIVOS

O objetivo principal é produzir um material didático que possa ser usado por professores de ensino médio, com o intuito de se trabalhar os conteúdos de

uma forma mais aprofundada, calcada nos aspectos energéticos envolvidos à luz da termodinâmica. Além disso, os textos produzidos visam uma abordagem de ensino aprendizagem construtivista, dando abertura para que também possam ser explorados aspectos da natureza do conhecimento científico. As atividades propostas em cada seção foram confeccionadas buscando contemplar os conteúdos de química de forma sólida, efetuando relações entre os níveis sub microscópico, macroscópico e representacional. Pensando em instigar a reflexão e a capacidade argumentativa dos alunos em detrimento à memorização de regras e algoritmos, muito usuais no ensino de Química. Em linhas gerais o trabalho busca contemplar a abordagem energética envolvida no estudo de ligações iônicas, interações intermoleculares e eletroquímica, trabalhando dentro de uma perspectiva de ensino construtivista, favorecendo o desenvolvimento da capacidade argumentativa e reflexiva dos alunos.

4 - METODOLOGIA

O epicentro para materialização dessa proposta foi a síntese de um projeto contendo as ideias norteadoras do trabalho, bem como um calendário para desenvolvimento das atividades. O projeto foi submetido à avaliação na disciplina de estágio supervisionado III. Após a avaliação do projeto, foram feitas as devidas correções de acordo com as sugestões dos avaliadores. Efetuadas todas alterações foi necessário realizar uma busca bibliográfica em artigos, dissertações e outras monografias relacionadas com o tema. As buscas iniciais foram mais abrangentes, selecionando posteriormente o que de fato poderia contribuir para a proposta do trabalho. Em seguida, foram feitas pesquisas literárias a respeito do desenvolvimento processual dos conceitos de calor e energia ao longo dos tempos. Foi realizado também um trabalho de checagem na literatura sobre as principais concepções alternativas acerca de energia de forma geral, bem como a respeito de cada tema específico. O passo seguinte foi sintetizar um texto em forma de preâmbulo que forneça subsídios teóricos para o professor trabalhar ou até mesmo relembrar alguns conceitos energéticos com bases termodinâmicas. Durante esse processo de composição efetuei pesquisas em livros, sites especializados de química e artigos científicos, sempre contando com a ajuda da professora orientadora. Por fim veio a tarefa de realizar a transposição dos conceitos para o âmbito

didático, levando-se em consideração a estratégia didática que julguei ser mais compatível com cada tema. Para elaboração desse produto final do trabalho foi necessário rever e pesquisar várias propostas estudadas durante as práticas de ensino de química, como atividades de modelagem. Vale ressaltar que como este conteúdo trata-se apenas de uma proposta, as questões desenvolvidas não foram aplicadas. Sendo assim não houve a utilização de questionários, entrevistas e outras ferramentas usuais em coleta de dados.

5 - INTRODUÇÃO

5.1 - Abordagens do ensino de química baseado nos aspectos energéticos envolvidos.

“Energia é uma grandeza que pode e deve, mais do que outra, balizar as tendências de ensino que priorizam hoje as relações entre ciência tecnologia e sociedade”. (Angotti,1991 apud Souza, 2007,p 7).

Formatado: Fonte: Itálico

Quando se pensa ou apenas se pronuncia a palavra energia, vem em mente uma série de possibilidades, deixando certa vagueza e necessidade de complementação. O termo energia é usado em diferentes âmbitos e contextos. A seguir a definição da palavra energia extraída do dicionário Aurélio

Energia. [Do greg. Energia pelo Latim energia.] S.f. Maneira como se exerce uma força. 2. Força moral; firmeza 3. Vigor força 4. Filos. Segundo Aristóteles (V. Aristotélico), o exercício mesmo da atividade, em oposição a potência da atividade, em oposição à potência da atividade e, pois à forma .5 Fís propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho.

Segundo Beynon (1990 apud Castro, 2012), energia é uma abstração inventada para auxiliar a humanidade na investigação e entendimento da natureza, sendo assim impossível de ser compreendida materialmente.

Excluído: substancializada

Os diversos significados da palavra permitem apropriações dos sentidos extraídos do senso comum e transpostos para o âmbito de ensino. Energia também é um conceito que aparece em diversas disciplinas e áreas da ciência,

com um entendimento diverso por parte de professores e alunos. Para Auth e Angotti (2001 apud [Souza, 2007](#)), o conceito de energia é unificador reunindo um potencial para associar várias áreas do conhecimento favorecendo menor fragmentação do ensino e colaborando com uma abordagem mais multidisciplinar.

Excluído: Catão

Podemos ressaltar também a importância do entendimento dos aspectos energéticos envolvidos em nível submicroscópico para uma melhor compreensão dos processos observados macroscopicamente, como por exemplo os inúmeros processos vitais e metabólicos dos seres vivos. Acreditamos que muitas das concepções alternativas dos alunos acerca de vários temas, se devem a uma compreensão mal estruturada, com explicações muitas vezes elaboradas via utilização de regras em oposição a uma explicação estruturada nos aspectos energéticos envolvidos. Nas unidades didáticas veremos algumas dessas concepções alternativas especificamente para cada tema proposto, e também como o ensino alicerçado em aspectos energéticos pode contribuir para se evitar a compreensão baseada nessas concepções.

Excluído: .

Excluído: E

Os aspectos energéticos, quando trabalhados em sala de aula, muitas vezes, estão ligados a tais ideias distorcidas ou corroboram com as mesmas. Algumas dessas concepções foram sintetizadas de acordo com as ideias de Silva, Neto e Carvalho (1998 apud [Souza, 2007](#)), como mostrado a seguir:

Excluído: às essas

Excluído: ndo

Excluído: ,

Excluído: Catão

- O conceito de energia, temperatura e calor são sinônimos.
- Calor é um processo interno resultante do atrito entre as partículas.
- Temperatura é a medida de calor de um corpo.
- Propriedades macroscópicas são atribuídas às partículas.
- Calor é entendido como substância uma espécie de fluido.

Considerando-se a diversidade de ideias relacionadas ao tema e a dificuldade em se trabalhar com um conceito tão abstrato e de vasta extensão conceitual, muitos professores acabam utilizando algumas regras para estruturarem o ensino de alguns fenômenos e processos. Uma regra muito comum utilizada é a regra da solubilidade, “semelhante dissolve semelhante” para explicar a maior solubilidade de substâncias polares em solventes polares

e substâncias apolares em solventes apolares, omitindo o embasamento energético envolvido no processo de solubilização. Outro exemplo muito comum em sala de aula e em livros didáticos é a utilização da regra do octeto como justificativa para explicar a estabilidade de compostos químicos, como destaca Mortimer, Mol e Paes (1994). Outro ponto que vale destacar é que mesmo quando os alunos conseguem recorrer aos aspectos energéticos para explicar alguns fenômenos, eles acabam fazendo de forma incorreta. Segundo Silva (2010), nesse caso muitos alunos relacionam por exemplo, a espontaneidade das reações apenas considerando a entalpia como variável termodinâmica envolvida. Assim, as explicações não levam em consideração a energia livre e entropia envolvidas nos processos.

Excluído: apud Mendonça, 2009).

Em função dos problemas destacados, neste trabalho utilizamos os aspectos energéticos baseados na termodinâmica. A utilização adequada da termodinâmica como recurso para explicar transformações químicas, pode favorecer também uma compreensão dos fenômenos em nível submicroscópico, como veremos mais à frente. As funções termodinâmicas podem ser interpretadas tanto em nível submicroscópico, como no âmbito macroscópico. A possibilidade dessa relação via bases termodinâmicas, pode ser incrementada em sala de aula com a utilização de modelos, de modo que os alunos expressem e discutam suas propostas de forma argumentativa, verificando se suas proposições são adequadas para explicar o que se observa no nível fenomenológico. Essa abordagem de ensino pode propiciar também um ambiente de discussões e debates em sala de aula, promovendo uma maior participação e aumentando a interação mútua entre professor e aluno na construção do conhecimento.

Excluído: Portanto neste trabalho utilizaremos

Excluído: ,

Excluído: submicroscópico

Excluído: s

Excluído: submicroscópico

Excluído: s

Excluído: também

Excluído: dão conta

Excluído: de

5.2 - A abordagem construtivista de ensino e a noção de perfil conceitual

“O homem não quis só aprender como também, frequentemente, sua curiosidade o impeliu a tentar aprender como se aprende” (Buggie, 1977 apud Vasconcelos, 2003, p. 11).

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Excluído: (

A priori todos aprendemos sem nos preocuparmos como aprendemos, no entanto o interesse de como aprendemos tem sido crescente no âmbito educacional. Em busca de explicações para a maneira como se processa o

aprendizado, os estudiosos da educação recorreram às teorias oriundas da psicologia. Uma das primeiras propostas de como o processo de aprendizado ocorria, foi a abordagem comportamentalista, baseada na teoria behaviorista.

Nesse contexto de recorrer às bases da psicologia para explicar o aprendizado e propor novas “maneiras” de se ensinar, é que surge a abordagem construtivista, calcada inicialmente nas teorias cognitivista e sociocultural de Piaget e Vygotsky respectivamente. Os modelos construtivistas de ensino dão um enfoque especial às construções ou concepções alternativas dos alunos, de modo que essas ideias prévias sirvam como orientação para o estabelecimento do processo de aprendizagem. Durante a década de 1970, muitos estudos foram realizados em relação às concepções alternativas dos alunos. Esses estudos revelaram que as concepções alternativas dos alunos eram muito pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema, bastante estáveis e resistentes às mudanças (Viennot, 1970 apud Mortimer, 1996). Os resultados obtidos nessas pesquisas contribuíram muito para o fortalecimento da abordagem construtivista.

De acordo com Mortimer (1996), dois pontos centrais também podem ser destacados das pesquisas envolvendo o construtivismo; a aprendizagem se dá a partir do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento e as ideias prévias dos alunos desempenham um papel importante no processo de aprendizagem.

Como mencionado anteriormente as ideias prévias são bastante pessoais, de forma que podem ser influenciadas pelo contexto social e cultural em que o estudante está inserido. Assim um termo como por exemplo, energia, pode ser interpretado de diferentes maneiras dependendo da situação e contexto em que é usado.

Baseado na imensa possibilidade de interpretar e expor formas distintas a realidade que nos cerca, Mortimer traçou a ideia de perfil conceitual. As diferentes interpretações em relação a determinado objeto podem ser traçadas graficamente por meio de zonas categorizadas de acordo com cada interpretação, compostas lado a lado com características epistemológicas e ontológicas diferentes. Esse arranjo gráfico qualitativo pode ser esboçado para cada indivíduo e seu aspecto dependerá da vivência e do contexto sociocultural em que cada indivíduo está inserido.

Excluído:

Excluído: (

Excluído: dessas

Excluído: as concepções alternativas

Por exemplo, o perfil conceitual em relação à energia de um estudante de nutrição pode ser completamente diferente em relação a um estudante de física. No primeiro caso o estudante talvez possa apresentar um perfil conceitual mais ligado à ideia substancialista de energia, por estar inserido em um meio em que energia é muitas vezes relacionada com a composição dos alimentos. Dessa forma pode se subentender que a energia dos alimentos está contida nas ligações químicas entre os átomos que o compõe. Por outro lado o estudante de física pode apresentar seu perfil conceitual em relação à energia relacionado com um processo do que como algo material.

A noção do perfil conceitual pode nos indicar indícios da permanência das ideias prévias dos alunos, após passarem por um processo de ensino baseados nas noções científicas de determinado tema. No entanto, vale frisar que as concepções não científicas em relação a determinado assunto, podem coexistir com seu conceito científico, de modo que cada uma será usada em um contexto apropriado.

O estabelecimento do perfil conceitual em sala de aula por meio das concepções alternativas consiste em uma ferramenta importante para se estabelecer a estratégia de ensino, bem como analisar o processo de evolução das ideias dos alunos, desde suas concepções alternativas até os conceitos científicos.

Dessa forma as atividades didáticas propostas neste trabalho, visam abordar as concepções alternativas dos alunos em relação ao respectivo tema para posteriormente tentar conduzi-los ao entendimento científico. Nesse caso nossas explicações científicas serão embasadas nos conceitos energéticos provenientes da termodinâmica.

6 - DAS PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE CALOR E ENERGIA ATÉ A TERMODINÂMICA

Formatado: Fonte: Negrito

6.1 - Breve histórico das ideias de energia ao longo dos tempos: As primeiras ideias a respeito de calor

Excluído: ¶

A contextualização histórica no ensino de ciências não deve ser feita somente com um caráter meramente ilustrativo em forma de parênteses nas aulas, em que são dadas informações soltas como curiosidades. É importante mostrar aos alunos o desenvolvimento processual das ideias e que novas

propostas são feitas baseadas em evidências experimentais rompendo gradativamente com as concepções anteriores.

Como veremos mais à frente, algumas concepções alternativas foram propostas científicas vigentes em outras épocas. No entanto é lastimável que em todos níveis de ensino ainda ocorra uma resistência em se admitir a utilização do caráter histórico peculiar aos conceitos da química, física e biologia como afirmam Giordan e Vecchi (1996 apud Souza, 2007).

As primeiras propostas de calor remetem à Grécia antiga, para Leucipo (530-430 a.C) e Demócrito (560-330 a.C) o calor era constituído de átomos móveis que se transferiam dos corpos mais quentes para os mais frios. Desde tempos remotos as ideias sobre o calor são baseadas em aspectos anímicos, em que ele é definido como um atributo da matéria. De acordo com Bachelard (1996 apud Souza, 2007) a noção materialista de calor constitui um obstáculo epistemológico a ser superado, pois estava ancorada a uma ideia de fácil compreensão.

O conceito de calor e as explicações dos conceitos térmicos pertencem a um conjunto de elaborações mais complexas e controvertidas da ciência, envolvendo conceitos que transitam por diferentes disciplinas dialogando com ideias presentes no senso comum. (Souza 2007, p.10)

Outras ideias relacionadas ao calor provenientes da Grécia antiga são de Heráclito (535-470 a.C) que acreditava que o fogo estava na base das transformações da matéria como algo fundamental e Aristóteles (348-322 a.C), que propunha a forma da matéria como resultado da combinação de seus opostos, quente e frio, seco e úmido. Tanto na obra de Platão como de Aristóteles existem menções estabelecendo calor ao movimento, muitas dessas concepções provenientes da Grécia antiga foram mantidas até a idade média sem muitas alterações.

A visão mecanicista

No século XIII, Roger Bacon (1214-1294), apresentou uma nova maneira de considerar o movimento interno dos corpos como causa do calor, dando

Excluído: atuais

Excluído:

Excluído: (

Excluído: Catão

Excluído: Com tudo isso, sugere que o professor recorra a textos com esse caráter para efetuar uma abordagem histórica do desenvolvimento dos conceitos científicos.¶

Excluído: (

Excluído: ,

Excluído: Catão

Excluído: (Catão

Excluído: Já no

Formatado: Fonte: Negrito

Excluído: S

origem a ideia mecanicista. Para Bacon o calor constituía nos esforços contrários entre as partículas, (Schurmann, 1946 apud Souza, 2007).

Excluído: Schurmann

Excluído: Catão

Aproximadamente três séculos mais tarde, Kepler (1571-1630) considerou o calor como estado de movimento das partes dos corpos. Por outro lado Galileu o considerava como um tipo de fluido, havendo o quente, frio e o úmido. Além disso, Galileu concebia o fogo como um agregado de pequenos corpos, que penetravam em nosso corpo, manifestando o que chamamos de calor.

Excluído: Já

Uma outra proposta interessante, que vale destacar, foi a apresentada por Francis Bacon (1561-1626) em sua obra "Novum Organum" de 1620. De acordo com Silva (1995 apud Souza, 2007), Francis Bacon mencionava calor como movimento, porém deixava claro que calor não gerava movimento, mas o próprio calor era o movimento.

Excluído: Catão

Muitas outras ideias foram propostas por diversos pensadores como, Newton (1647-1727), Bernoilli (1700-17820) e Nollet (1700-1783). Este último chegou a atacar a ideia mecanicista de calor, o argumento usado era que o calor não poderia ser considerado como movimento pois o movimento tende a se extinguir por si só e o fogo tende a se propagar (Schumann, 1946 apud Souza, 2007).

Excluído: Schumann

Excluído: Catão

Perspectiva substancialista.

Entre os séculos XVII e XVIII surgiram novas possibilidades para o entendimento de algumas transformações da matéria, isso foi possível graças a teoria do Flogisto.

Essa teoria foi proposta pelo médico e químico alemão George Ernest Stahl (1660-1734) na tentativa de explicar a combustão da madeira e combustíveis, a calcinação de metais, dentre outros fenômenos associados ao calor. Para Stahl os combustíveis usados na época como o carvão, possuíam um alto teor de uma entidade chamada por ele de flogisto. Essa entidade era liberada durante a queima manifestado posteriormente na forma de calor e emissão de luz.

Excluído: ,

Excluído: que

Excluído: o

A mesma proposição era usada para explicar o processo de calcinação, (produto da queima de um metal formando um óxido metálico) assim durante a queima o metal rico liberava todo seu flogisto formando o óxido. Para Stahl o

metal poderia ser recuperado, desde que em presença de um material rico em flogisto, como o carvão. Sendo a recuperação do metal via queima de carvão a prova da validade de sua teoria.

Uma outra proposta de calor como algo contido nas substancias era o calórico, defendida por Wolff (1679-1754). Segundo (Agabra, 1983 apud Souza, 2007), o aquecimento de um metal quando malhado por um martelo, com base na teoria do calórico, podia ser explicado como se o calórico fluísse dos poros do metal aumentando sua temperatura (nessa época já haviam termômetros onde a temperatura dos corpos poderia ser medida). O calor na proposta substancialista é entendido como algo material inerente aos corpos. Silva (1995 apud Souza, 2007) destaca que em meados do século XVIII foi desenvolvida uma expressão matemática baseada em experimentação que relacionava, temperatura final de uma dada massa de água composta pela mistura de porções de água com massas e temperaturas diferentes:

$$T = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}$$

O produto “m.t” entre a massa e a temperatura foi denominado de “reserva de calórico”. Na mesma época segundo Bachelard (1973 apud Catão, 2007) Jean Henry Lambert (1728-1777) chegou à conclusão de que corpos de matérias diferentes, porém de massa iguais, apresentavam reações diferentes ao aquecimento.

Com essa proposta começaram a surgir os conceitos de calor latente e calor específico. Joseph Black (1728-1779) contemporâneo de Lambert, realizou experimentos importantes em relação a fusão, propondo a diferença entre calor e temperatura.

“Quando o gelo ou outra substância é fundida, eu penso que ele recebe uma grande quantidade de calor, maior que aquela que perceptível nele imediatamente depois por meio de termômetro.

Uma grande quantidade de calor penetra a substância naquela ocasião sem aparentemente fazê-la mais quente. Este calor contudo deve ser introduzido para lhe dar forma de líquido e eu afirmo que essa adição é a principal causa da liquefação produzida.” (Black, apud Souza 2007, p.18).

Excluído: Agabra

Excluído: Catão

Excluído: Catão

Formatado: Fonte: Itálico

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Excluído: Black

Excluído: Catão

Ainda de acordo com Black o calor era absorvido durante a ebulição entrando na composição do vapor da água, assim como é incorporado na água no estado líquido durante a fusão. Black fez também estudos importantes a respeito do comportamento dos termômetros, chegando a verificar que uma massa de mercúrio se aquecia mais rapidamente do que uma mesma massa de água e o mesmo era válido para resfriamento.

Partindo dessas verificações ele concluiu que massas iguais de materiais distintos aquecem ou resfriam em tempos diferentes. Assim Black propôs o conceito nomeado por ele como capacidade para o calor (Souza, 2007). Jonhan Wilcke (1732-1796) contemporâneo de Black propôs a noção de calor específico como a que compreendemos atualmente, sendo a quantidade de calor necessária para se elevar um grau Celsius a massa de um grama de determinada substância. De acordo Bassalo (1991 apud Souza, 2007), a equação $\Delta Q = m.c. \Delta t$ é atribuída a Wilcke.

Retomando as ideais do flogísto e calórico, que deram abertura para as propostas substancialista de calor, muitas observações feitas nos processos de calcinação e combustão, eram mal explicadas por essas teorias. O aumento e a diminuição de massa durante os processos de calcinação e combustão respectivamente era uma delas. Era atribuído ao flogisto peso negativo na calcinação e positivo na combustão, a proposição de peso negativo soava muito inconsistente, sendo refutada mais tarde com descoberta do oxigênio por Lavoisier, Priestley e Scheele através de um grande contexto investigativo.

Com isso a ideia de liberação do flogisto foi substituída pela incorporação do oxigênio, explicando assim alguns processos antes não compreendidos à luz da teoria do flogísto, como a variação das massas nos produtos de combustão e calcinação.

Entretanto a explicação para a emissão de luz e calor nas reações de combustão eram explicadas por Lavoisier com base na incorporação do gás oxigênio e na liberação do calórico. A diferença era que o calórico era tratado como imponderável, diferentemente do flogisto que era atribuído um valor de massa.

De acordo com Kuhn (1978 apud Souza, 2007) Lavoisier derrubou a concepção de um fluido (flogísto) usando a ideia de outro fluido (calórico). Outros cientistas compactuavam com a ideia do calórico, como Laplace, porém

Excluído: Catão

Excluído: (

Excluído: Catão

Excluído: ¶

Excluído: Catão

para ele existiam componentes moleculares (forças atrativas e repulsivas) na formação do calórico (Bassalo, 1992 apud Souza, 2007).

Excluído: Bassalo

Excluído: Catão

Abordagem termodinâmica.

A teoria substancialista de calor começou a ser contestada após alguns experimentos relacionados com a produção de calor por atrito. Ruford (1753-1814), um dos pioneiros nos experimentos envolvendo produção de calor por meio de atrito, concluiu que o calor poderia ser produzido de forma ilimitada por atrito e que nenhum material seria produzido de forma ilimitada, dessa forma o calor não poderia ser tomado como uma substância.

Excluído:

Excluído: sem limitações

No entanto a proposição de Ruford não foi aceita, para Biot (1774-1862) outro substancialista da época, as causas que geravam o calor por atrito eram desconhecidas e ainda argumentava que o atrito produzia eletricidade e esta produzia calor. De acordo com Souza (2007), foi nesse contexto que palavra energia começou a ser utilizada para designar vários fenômenos, buscando estabelecer correlações entre eles.

Excluído: ,

Excluído: d

Excluído: Catão

Em meados do século XIX, Julius Mayer (1814-1878) propôs a hipótese vibratória do calor (após ter relatado registrar um aumento de um grau Celsius na temperatura da água em um frasco após submetê-lo à agitação). Mayer também foi o primeiro a indicar a conservação da energia:

“Quando uma quantidade de energia de qualquer natureza desaparece em uma transformação, então se produz uma quantidade igual de energia em grandeza, porém de outra natureza.” (Mayer, apud Souza, 2007, p.25).

Formatado: Fonte: Itálico

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Excluído: Mayer

Formatado: Fonte: Itálico

Excluído: Catão

Formatado: Fonte: Itálico

Excluído: Catão

Excluído: ,

Solomons (1985 apud Souza, 2007), acreditava que o passo inicial para se entender a ideia de conservação da energia, veio da percepção de energia como uma quantidade contínua e imensurável.

Em meados do século XIX, alguns cientistas entre eles Joule (1818-1889) trabalhavam no estabelecimento da transformação de calor e trabalho. Subsequentemente veio um dos grandes trabalhos relacionados às ideias sobre calor e energia, segundo Clausius (apud Souza, 2007) o equivalente de trabalho atribuído ao calor é devido a um processo de transferência de calor de

Excluído: Catão

um corpo quente para um corpo frio, no qual a quantidade de calor não é diminuída.

Clausius ainda argumentou que futuramente ainda trataria mais minuciosamente dessas duas leis que ficaram conhecidas como primeiro e segundo princípios da termodinâmica:

*"(...) nós podemos expressar as leis fundamentais do universo, as quais correspondem as duas leis fundamentais da teoria mecânica do calor, de forma simples:
1. A energia do universo é constante
2. A entropia¹ do universo tende a ser máxima." (Clausius apud Souza, 2007, p.26).*

De acordo com Silva (1998 apud Souza, 2007), a aceitação dos dois princípios da termodinâmica levou a um abandono da teoria do calórico, entretanto ainda há resquícios evidentes atualmente da mesma.

Acreditamos que ainda nos dias atuais há quem entenda a termodinâmica apenas como uma parte da física que estuda os fenômenos relacionados com o calor. Nesse contexto, o calor passou a ser interpretado não mais como energia e sim como o processo de transferência que ocorre devido a diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança.

Porém para se obter uma compreensão mais detalhada de transferência de calor é necessário abrir mão do modelo corpuscular de matéria. Se tomarmos o calor como transferência de energia e a energia cinética das moléculas como a soma de todas suas contribuições vibracionais, retornaremos na interpretação de calor como algo contido no sistema e não como um processo.

No fim do século XIX as teorias sobre o calor ganharam novas componentes, provenientes dos refinamentos propostos por Maxwell (1831-1879) e Boltzmann (1844-1906), relacionados sobre a distribuição das velocidades das moléculas e o tratamento estatístico para o conceito de entropia.

Os conceitos e ideias a respeito de energia foram se ampliando e multiplicando em função da segmentação e surgimento de novas áreas do

¹ A palavra entropia vem do grego e significa transformação.

Excluído: .
¶
¶

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples
Formatado: Fonte: Itálico

Formatado: Fonte: Itálico
Formatado: Fonte: Itálico

Formatado: Fonte: Itálico
Excluído: Catão
Formatado: Fonte: Itálico
Formatado: Fonte: Itálico
Excluído: Catão

Excluído: ,
Excluído: n

Excluído: Já
Excluído: n

conhecimento científico. Por exemplo após da descoberta do Urânio e dos compostos radioativos foi introduzido o conceito de energia nuclear para ancorar as explicações dos fenômenos que ocorria no interior do núcleo.

Excluído: ,

Excluído: p

Com esse breve traçado histórico sobre os conceitos de calor e energia é notável alguns aspectos relacionados à natureza do conhecimento científico; como seu caráter transitório para se chegar as leis das termodinâmicas que são usadas até hoje para explicar diversos fenômenos, a construção gradual e processual do conhecimento.

Excluído: foi necessária uma

As teorias do flogisto e calórico foram propostas para explicar determinados fenômenos observados como a calcinação e a combustão, no entanto, não davam conta de explicar as diferenças de massas observadas entre os produtos e reagentes. Além disso vimos também que vários cientistas e pensadores participaram de forma simultânea e colaborativa no curso da elucidação das teorias e explicações.

Acreditamos que os textos possam ser trabalhados em sala de aula de acordo com a possibilidade inerente a cada situação, visando enfatizar alguns aspectos da natureza do conhecimento científico, favorecendo o ensino em que o estudar ciências não se restrinja apenas aos conteúdos conceituais, mas que também contemple o processo histórico envolvido na construção do conhecimento científico.

Excluído: . ¶

Vimos que também que vários cientistas e pensadores participaram de forma simultânea e colaborativa no curso da elucidação das teorias e explicações, dessa maneira sugere Acreditamos

Uma boa oportunidade é mostrar para os alunos que muitas ideias que os mesmos possuem a respeito de determinados temas, foram em algum tempo ideias cientificamente aceitas, como por exemplo, as ideias do flogisto e calórico. Essas ideias, possuem uma essência comum em algumas concepções alternativas de muitos alunos. Dessa forma, pode corroborar com a desconstrução de ciência como algo estático e inerte, indiferente à mudança.

Excluído: ,

Excluído: ,

Excluído: que

Excluído: , corroborando

Excluído: d

7 - UNIDADES DIDÁTICAS

7.1 - Fundamentos básicos de termodinâmica

Não podemos descartar as explicações, modelos e conceitos diversos de calor energia expostos anteriormente, porém as explicações dos conceitos de energia que iremos trabalhar no decorrer das unidades didáticas, estão fundamentadas em bases da termodinâmica.

O modelo termodinâmico de energia possui uma grande abrangência e eficiência para explicar diversos fenômenos, transformações e propriedades, como trataremos nesse trabalho, por isso devemos compreender alguns conceitos fundamentais da termodinâmica para posteriormente aplicarmos em cada conteúdo proposto.

Com a intenção de melhor fundamentar nossas explicações dos fenômenos naturais de modo a evitar regras e generalizações, vale ressaltar que mesmo trabalhando todo conteúdo proposto à luz da termodinâmica, o professor deve sempre frisar em sala de aula a natureza transitória dos modelos e explicações em ciência, na tentativa de resgatar a importância histórica de outras propostas usados em outras épocas, que também possuíam seus domínios de explicações satisfatórios e suas limitações.

No decorrer dos textos usaremos muitos termos como; sistemas, vizinhança e universo, energia interna, entalpia, entropia entre outros. Sendo, sistema uma parte reduzida ou um recorte da situação que está sendo estudada, em outras palavras é a parte do universo que está sob observação. Já vizinhança, é entendida como adjacência do sistema estudado.

O sistema pode ser classificado de acordo com o tipo de fronteira que os separa de sua vizinhança.

Sistema aberto - é aquele cuja fronteira permite troca de matéria com a vizinhança

Sistema fechado - sua fronteira não permite troca de matéria com a vizinhança.

Sistema isolado - não há troca de massa, calor e trabalho com a vizinhança (Souza, 2005, p.26).

Excluído: Souza

Entende-se por universo a união do sistema em estudo e sua vizinhança.

Dando continuidade as definições de conceitos básicos, vamos expressar as definições de energia interna, entalpia, entropia e suas relações com as leis da termodinâmica.

Como vimos em uma das proposições na seção 6.1, uma característica muito importante já observada em relação a energia, há alguns séculos, é sua

conservação. Assim entendemos que a energia não pode ser criada nem destruída, esse é o enunciado da primeira lei da termodinâmica proposto por Clausius. (Souza 2007).

Para entendermos a primeira lei da termodinâmica em um âmbito sub microscópico devemos interpretar primeiro algumas grandezas em nível molecular, como o trabalho e o calor.

“Em termos moleculares, o calor é a transferência de energia que faz uso do movimento caótico ou aleatório das moléculas. Esse movimento é denominado movimento térmico. Ao contrário o trabalho é a transferência de energia que faz uso ordenado das moléculas” (Atkins & Paula, 2010, p.37).

Devemos interpretar tanto calor quanto trabalho como um processo, em termos representacionais designaremos o calor como “q” e o trabalho como “w”.

Outro conceito que pode ser considerado abstrato e confuso é o de energia interna, que em termodinâmica significa a soma ou a energia total de um sistema em condições de repouso e ausência de campos potenciais (elétrico, magnético e gravitacional). Como estamos tratando esses conceitos em um contexto molecular, a energia interna é a soma da energia cinética (que está associada com o movimento translacional, rotacional e vibracional da molécula), de sua energia potencial (que está associada às contribuições provenientes de sua configuração eletrônica e nuclear), de seus graus de liberdade (para realizar movimentos rotacionais), das ligações entre os átomos nas moléculas e das possíveis interações intermoleculares (energia associada as interações entre as moléculas devido a aspectos eletrostáticos e quânticos). (Kotz 2010).

Determinar essa diversidade de contribuições energéticas para sistemas com números de moléculas da ordem de grandeza de 10^{23} trata-se de uma tarefa complexa e longe do escopo desse texto. Porém, essas contribuições podem ser obtidas por meio de cálculos usando modelos da mecânica quântica, como o da partícula na caixa (no entanto para nossa proposta de estudo não será necessário chegar nesse nível de aprofundamento).

O que se deve compreender é que a energia interna é uma grandeza que pode ser interpretada macroscopicamente, mas que leva em conta

Excluído: ,

Excluído: a

Excluído: enunciada

Excluído: Catão

Excluído: (

Formatado: Fonte: Itálico

Formatado: Espaçamento entre linhas: simples

Formatado: Fonte: Itálico

Excluído: Atkins & Paula

Excluído: c

Excluído: .

Excluído: A

Excluído:

Excluído: Kotz

Excluído:

Excluído: ,

Excluído: p

diversas contribuições submicroscópicas. Representaremos a energia interna como “U”.

Excluído:

Excluído: ,

Excluído: r

Se definirmos uma molécula hipotética como um sistema isolado, pela primeira lei da termodinâmica, podemos dizer que a energia interna da molécula é constante.

Como na maior parte dos casos, em nosso estudo, estamos interessados em sistema com um número enorme de moléculas e que podem trocar energia com suas vizinhanças, podemos expressar a primeira lei da termodinâmica de forma que atenda melhor nosso interesse, assim segue que:

$$\Delta U = q + w$$

Excluído: re

(1)

Excluído:

Vale destacar que a equação (1) foi produzida a partir de generalizações extraídas de observações experimentais e leis da natureza, portanto ela não pode ser deduzida. Chegamos em um ponto importante, mesmo que aparentemente simplório, pois conseguimos exprimir ou representar um conjunto de ideias por meio de uma equação matemática, procedimento esse que é muito comum e usual no processo científico.

Excluído: fenômenos

No estudo dos fenômenos naturais muitos processos ocorrem sob pressões constantes, geralmente à pressão atmosférica do local onde se processa o fenômeno, um bom exemplo são as reações químicas que ocorrem no nosso organismo ou as que são processadas em um laboratório de química.

Com o auxílio de um equipamento denominado calorímetro, podemos medir e o calor envolvido, nesses fenômenos, a pressão constante. A quantidade de calor de um sistema submetido a pressão constante é denominada de entalpia (Atkins e Paula, 2010, p. 46) representada pela letra “H”.

Excluído: c

Excluído: ,

Excluído: que podemos medir o

Excluído: s

Excluído: que ocorrem

Excluído: e

Excluído: Atkins & Paula

Entretanto, vale ressaltar que entalpia apresentará o mesmo valor do calor envolvido no processo, somente quando o sistema estiver submetido à pressão constante. Ainda destacamos que a entalpia é uma propriedade do sistema e calor é uma propriedade do processo.

Excluído: ,

Excluído: a

A entalpia está relacionada com diversas transformações como “rompimento” e “estabelecimento” de ligações químicas e interações intermoleculares, solubilidade de compostos em diversos solventes, processos que envolvem mudança de fase, processos e nível atômico como energia de

ionização e afinidade eletrônica, dentre outras transformações que trabalhamos nas unidades didáticas.

Excluído: re

Excluído: mais

Segundo Atkins e Paula (2010), podemos definir a variação de entalpia como o calor fornecido ao sistema a uma pressão constante, desde que o sistema efetue trabalho apenas de expansão.

Excluído: &

Na natureza percebemos que muitas transformações ocorrem espontaneamente e outras não. Nessa parte, iremos estudar sobre o que são fenômenos espontâneos e o que eles têm de relação com a termodinâmica.

Excluído: ,

Excluído: n

Para isso vamos refletir mais sobre a dispersão de matéria e energia. Suponhamos que temos dois frascos conectados por uma válvula inicialmente totalmente fechada, sendo um dos tubos totalmente evacuado e o outro preenchido com um determinado gás. Quando abrimos a válvula o gás flui de forma espontânea de um frasco para o outro ocupando o volume dos dois frascos.

Excluído: ,

Excluído: s

Nesse caso, a matéria, o gás, foi dispersado. Se analisarmos estatisticamente a situação, veremos que as moléculas do gás quando preenchem os dois frascos possuem um número maior de possibilidades de se arranjar espacialmente.

Excluído: ,

Excluído:

Excluído: s

Excluído:

Excluído: estatisticamente

Se deixarmos os frascos durante dias meses ou até anos no mesmo lugar veremos que o gás não volta ou se contrai espontaneamente para um dos frascos.

Não só a matéria pode se dispersar, mas também a energia, quando deixamos em contato dois corpos sendo um quente e outro frio, a tendência é que os dois cheguem a uma situação de equilíbrio térmico. Em nível molecular e com uma interpretação probabilística, significa que a energia do sistema está mais distribuída após o equilíbrio térmico do que estava quando o sistema era composto pelos corpos separados.

Excluído: ,

Excluído: em

Excluído: a

Nos dois exemplos citados, percebemos que houve um maior número de possibilidades de distribuição tanto da matéria quanto da energia, e que também ambos os processos ocorreram de forma espontânea, no entanto a primeira lei da termodinâmica não explica o motivo dos fenômenos ocorrem naturalmente somente em um dado sentido. O fato da energia se conservar, aparentemente, não diz nada sobre o curso em que o processo ocorre espontaneamente.

Excluído: ,

Excluído: o

Com isso surge a necessidade de se estabelecer uma outra propriedade termodinâmica que possa explicar o sentido da espontaneidade.

Existe uma grandeza que está diretamente ligada com o maior número de possibilidades de se distribuir a matéria e a energia, logo está ligada também à espontaneidade de um processo; essa grandeza é denominada entropia e é definida como “S”. Como vimos na seção 6.0, a palavra entropia significa transformação e, no fim do século XIX, essa grandeza começou a ser interpretada com uma fundamentação estatística. Em outras palavras, a entropia está relacionada com a número de possibilidades resultantes da dispersão da energia e matéria. Assim, um sistema com maior número de configurações ou possibilidades de dispersão de matéria e energia apresenta uma entropia elevada em relação a um sistema com menor número de possibilidades de se dispersar a matéria e energia.

A entropia é um parâmetro termodinâmico para se quantificar a extensão da espontaneidade de um processo, via o número de configurações possíveis de dispersão da matéria e energia geradas por esse processo. Como vimos na seção 6.0, a segunda lei da termodinâmica enuncia que a entropia do universo sempre tende a aumentar. (Kotz, 2010).

Assim os processos espontâneos são aqueles que contribuem para o aumento da entropia do universo, matematicamente a variação de entropia é expressa como o calor adicionado ao sistema a fim de se elevar a temperatura a partir de 0 K em processos reversíveis (Kotz, 2010), assim temos que:

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T}$$

(2)

Vamos estabelecer agora uma relação entre espontaneidade e entropia com base na premissa de que para processos espontâneos a variação de entropia do universo é positiva. Sendo assim:

$$\Delta S_{univ} = \Delta S_{viz} + \Delta S_{sis}$$

(3)

A variação de entropia do sistema pode ser obtida pelos valores tabelados de entropia padrão. Se considerarmos a variação de entropia da

Excluído: que

Excluído: ¶

Excluído: ,

Excluído: c

Excluído: Kotz

Excluído: (entendemos como universo o conjunto formado pela união do sistema e sua vizinhança)

vizinhança como resultado da dispersão da energia liberada ou “absorvida” por uma reação química a pressão constante, então podemos dizer que o trânsito de calor entre a vizinhança e o sistema é igual a variação de entalpia do sistema, considerando também o processo como reversível, temos que $q_{viz} = \Delta H_{sis}$.

$$\Delta S_{viz} = \frac{q_{rev}}{T} = \frac{-\Delta H_{sis}}{T}$$

(4)

Substituindo a equação (4) na equação (3) temos:

$$\Delta S_{univ} = \frac{-\Delta H_{sis}}{T} + \Delta S_{sis}$$

(5)

Se multiplicarmos todos os termos por $-T$:

$$-T\Delta S_{univ} = \frac{-T(-\Delta H_{sis})}{T} - T\Delta S_{sis}$$

(6)

J. Willard Gibbs definiu $-T\Delta S_{univ}$ como energia livre de Gibbs do sistema (Kotz, 2010, p. 802). Dessa forma, podemos comparar a entropia do universo somente como parâmetros de um sistema fechado, de modo que:

$$\Delta G_{sis} = \Delta H_{sis} - T\Delta S_{sis}$$

(7)

A equação (7) relaciona a energia livre do sistema com a espontaneidade da seguinte forma: a segunda lei da termodinâmica enuncia que a entropia do universo aumenta em processos espontâneos, pelos nossos simples arranjos matemáticos feitos acima podemos observar que se a variação de entropia do universo for positiva, então, a variação de energia livre de Gibbs deverá ser negativa (de acordo com a definição matemática de Gibbs para energia livre ($-T\Delta S_{univ}$)). A energia livre, dessa forma, será daqui para frente nosso parâmetro para se estabelecer a espontaneidade de um processo.

Excluído: a

Excluído: assim

Formatado: Recuo: Primeira linha: 0 cm

Excluído: quatro

Excluído: (

Excluído: 5)

Formatado: À esquerda

Excluído: KOTZ

Excluído: acima

Esse simples arranjo matemático culmina em uma das expressões mais usada na termodinâmica, sendo uma combinação da primeira e segunda lei em termos da energia livre de Gibbs.

Para finalizar essa concisa parte de conceitos de termodinâmica devemos fornecer um significado mais físico para a energia livre de Gibbs. Segundo (Kotz, 2010), podemos compreender a energia livre de Gibbs como a energia livre máxima disponível para se realizar trabalho além do de expansão.

Excluído: KOTZ

Após relembrarmos de forma resumida alguns conceitos básicos de termodinâmica, vamos usa-los para alicerçar nosso entendimento sobre ligação iônica, interações intermoleculares e eletroquímica como veremos nas seções seguintes, sempre focando em suas implicações no ensino.

Excluído: esse de

7.2 - Ligações iônicas

7.2.1- A abordagem tradicional de ensino e as concepções alternativas em relação à ligação iônica.

A compreensão de ligações iônicas é fundamental para o posterior entendimento das propriedades físico-químicas dos compostos iônicos. Tendo em vista que muitas dessas propriedades são reflexo da forma como é estabelecida a ligação iônica. No entanto, a maneira como este conteúdo muitas vezes é trabalhado parece não favorecer um entendimento pautado nessa relação.

Segundo Butts e Smiths (1987 apud Mendonça, 2008), a abordagem tradicional promove uma associação entre regra do octeto e a estabilidade da ligação iônica, a partir disso é feita uma generalização de que os metais “doam” elétrons e os ametais “recebem” elétrons de modo a satisfazer a regra do octeto formando assim a ligação iônica.

Excluído: &

Excluído: “

Excluído: ”

Excluído: “

Seguindo essa linha de raciocínio, os alunos podem atribuir características de ligação covalente à ligação iônica, por meio da interação entre um par de íons de cargas opostas formando uma molécula. Dessa forma dificultando o entendimento das propriedades dos compostos iônicos fundamentadas em sua estrutura cristalina, estabilizada pelo abaixamento da energia potencial dos íons na rede.

Excluído: , dificultando

Excluído: d

Para verificar de um modo mais geral as principais concepções alternativas em relação à ligação iônica, tomaremos como base um estudo desenvolvido por Mortimer (1994 apud Mendonça, 2008). Os autores desse estudo avaliaram as diversas respostas dadas por alunos a uma questão da segunda etapa do vestibular da UFMG em 1992.

Excluído: et al., 1994

Excluído: ,

Excluído: o

O primeiro item da questão explorava os cálculos energéticos das etapas e do processo global de formação da ligação iônica, o outro item da questão solicitava que os alunos avaliassem a seguinte afirmação: “O que estabiliza o cloreto de sódio é a formação de octetos de elétrons de valência nos íons cloreto de sódio”.

Os teores das respostas foram divididos da seguinte forma:

- 7,6% dos estudantes recorreram às explicações diferentes da regra do octeto.
- 14,7% relacionaram os dados energéticos do primeiro item para elaborarem a explicação da estabilidade do cloreto de sódio.
- Do restante, pelo menos 52% dos alunos não relacionaram os cálculos do primeiro item da questão para explicar a estabilidade do cloreto de sódio.

O estudo evidencia que uma das concepções alternativas dos alunos em relação à ligação iônica, pode estar relacionada com as explicações fundamentadas na regra do octeto.

Talvez seja mais conveniente trabalhar o conteúdo de ligações iônicas com base no abaixamento de energia, conferido pela formação da rede cristalina. Assim, concepções alternativas comuns, como a formação da molécula de NaCl, poderão ser evitadas propiciando também um entendimento de certas características dos compostos iônicos, por exemplo a alta demanda energética para fundir esses compostos.

Essa abordagem baseada nos aspectos energéticos se apresenta também como uma alternativa mais plausível em relação ao ensino calcado no uso de regras e memorização, pois permite que o professor trabalhe com a construção do conhecimento, levando em consideração as ideias prévias dos alunos.

7.2.2 - Fundamentação energética baseado em Mendonça (2008) do modelo eletrostático para ligação iônica.

Nessa parte explanamos sobre a formação de uma rede cristalina composta por íons, contribui para o abaixamento de energia do sistema, favorecendo consequentemente a estabilidade da ligação iônica.

Utilizaremos o modelo eletrostático para abordar os aspectos energéticos envolvidos na ligação iônica. Vale ressaltar que existem outros modelos como a teoria de bandas, que se apropria de recursos da física quântica para explicar a formação e certas propriedades dos compostos iônicos. No entanto, o modelo eletrostático foi escolhido por permitir efetuar simplificações que podem ser compreendidas por alunos do ensino médio.

O modelo apresentado foi desenvolvido com a contribuição de diversos pesquisadores como Born-Haber, Madelung, Fajans e Pauling (1948 apud Mendonça, 2009). A estrutura cristalina ou retículo cristalino de um sólido iônico pode ser imaginada como um arranjo espacial, onde os íons ocupam pontos bem definidos, esse arranjo é repetido iteradamente no espaço tridimensional.

Para proposição do modelo eletrostático e posterior cálculo da energia envolvida na formação da rede cristalina é necessário se fazer algumas considerações:

- Arranjo fixo dos cátions e ânions na rede cristalina
- Simetria perfeita entre os íons, que devem ser considerados como cargas puntiformes

Dessa forma, podemos aplicar adequadamente expressões derivadas da lei de Coulomb, como a equação (8) que relaciona a energia potencial V_{AB} entre duas cargas Z_A e Z_B separadas por uma distância d_{AB} . Os outros termos são constantes, ϵ_0 é a permissividade elétrica no vácuo, sendo e o valor da carga elementar.

$$V(AB)_{\text{par iônico}} = \frac{Z_A Z_B e^2}{4\pi\epsilon_0 d_{AB}}$$

(8)

Excluído: baseada

Excluído: no

Excluído: re

Excluído: como

Excluído: ,

Excluído: a

Excluído: ,

Excluído: v

Excluído: a seguir

Excluído: da

Considerando a interação entre um par íons Na^+ e Cl^- separados por uma distância d temos:

$$V(\text{NaCl})_{\text{par iônico}} = \frac{(1)(-1)}{4\pi\epsilon_0 dAB}$$

(9)

Se efetuarmos o cálculo para um quadrado iônico, vamos obter uma configuração em que se deve considerar todas as possibilidades das interações de atração e repulsão.

Para tornar a expressão mais compacta vamos considerar o produto das constantes $4\pi\epsilon_0$ como K . Assim teremos:

$$V(\text{NaCl})_{\text{quadrado iônico}} = \frac{4(1)(-1)e^2}{kd} + \frac{(1)(1)e^2}{k\sqrt{2}d} + \frac{(-1)(-1)e^2}{k\sqrt{2}d} = \frac{2,58e^2}{kd}$$

(10)

A primeira parcela da equação (10) se refere às contribuições atrativas entre os íons separados por uma distância "d". A segunda e terceira parcela da equação se referem respectivamente às contribuições das interações repulsivas entre os íons no quadrado iônico, separados por uma distância $\sqrt{2}d$ igual a diagonal do quadrado.

Excluído: Já

Excluído: a

No entanto se quisermos explicitar uma equação que expresse a energia envolvida na formação da rede cristalina devemos considerar sua configuração tridimensional como mostra a figura abaixo:

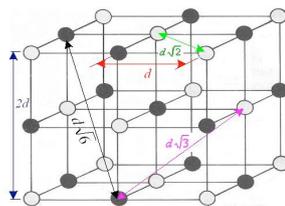


Figura 1: Representação Tridimensional da rede cristalina do NaCl
Fonte: Mendonça (2009, p.285)

Analisando, minuciosamente a figura 1, notamos que cada cátion Na^+ é rodeado por 6 íons Cl^- , e que cada íon Cl^- também está rodeado por 6 Na^+ , mantendo assim a proporção de 1:1 dentro da rede cristalina.

Excluído: minuciosamente

Essa relação da quantidade de cátions que rodeiam os ânions e vice versa é chamada de número de coordenação. Para estabelecermos a equação da energia envolvida na formação dessa rede tridimensional devemos levar em consideração todas as possibilidades das interações repulsivas e atrativas entre os íons.

Na figura 1 observamos que existem 12 cátions a uma distância $\sqrt{2}d$, 8 ânions a $\sqrt{3}d$ e 6 cátions a $\sqrt{4}d$, somando todas essas contribuições geradas pela configuração tridimensional da rede obtemos uma equação que expressa a energia potencial envolvida na formação da rede cristalina:

$$V(\text{NaCl})_{\text{Rede cristalina}} = -\frac{(1)(-1)e^2}{k} \left(\frac{6}{1} - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \frac{6}{\sqrt{4}} \dots \right)$$

(11)

A soma entre parêntese trata-se de uma série, resolvendo-a obtemos uma constante conhecida como constante de Madelung (A). Substituindo a expressão entre parêntese na equação (11) por "A" e multiplicando por "N" (número de Avogadro) obtemos o valor da energia potencial envolvida na interação de um mol de íons Na^+ e Cl^- arranjados tridimensionalmente de acordo com a figura 1.

$$V(\text{NaCl})_{\text{Rede cristalina}} = -\frac{(1)(-1)e^2 NA}{k}$$

(12)

A constante de Madelung (A) possui sempre um valor maior que 1, assim a multiplicação por esse fator "A" implica em um aumento em módulo da energia potencial, refletindo o caráter multidirecional das interações entre os íons na rede cristalina como um todo, ou seja, há uma interação mútua entre todos os íons da rede cristalina.

A tabela 1 mostra alguns valores da constante de Madelung para alguns compostos iônicos.

Excluído: ,

Excluído: p

Tabela 1: Valores de constantes de Madelung para algumas estruturas cristalinas
 Fonte: Benvenuti (2006, p.195)

Composto	Número de coordenação (cátion: ânion)	Constante de Madelung (A)
ZnS	4:4	1,638
NaCl	6:6	1,748
CsCl	8:8	1,763
TiO ₂	6:3	2,408
CaF ₂	8:4	2,519

Para quaisquer outras estruturas que apresentem mesmo número de coordenação destes apresentados no quadro 1 podemos usar, considerando uma aproximação, os mesmos valores de constantes de Madelung (Benvenuti, 2006).

Essa aproximação pode ser feita pois a constante de Madelung é função do arranjo tridimensional na estrutura cristalina, que está diretamente ligada ao número de coordenação. Matematicamente, isso fica mais claro ao observar na equação (12), que a constante de Madelung é resultado da resolução da série entre parênteses e que essa por sua vez é as somas das contribuições repulsivas e atrativas entre os íons dentro do arranjo tridimensional.

A equação (12) expressa a energia liberada na formação da rede cristalina de íons levando em consideração apenas as atrações e repulsões eletrostáticas. No entanto as deformações dos íons não foram consideradas, pois estes foram tratados como cargas puntiformes.

Para explicitarmos uma equação mais condizente com a realidade devemos considerar a influência da deformação dos íons (Pauling, 1948 apud Mendonça, 2009), assim introduzimos mais um termo na equação que relaciona a energia de repulsão proveniente da superposição das densidades eletrônicas dos íons vizinhos (Cotton and Wilkinson, 1988 apud Mendonça, 2009). Assim temos:

$$V(\text{NaCl})_{\text{Reticular}} = \frac{-Ae^2 z^2}{d} + \frac{Be^2}{d^n}$$

(13)

Em que d^n está relacionado com a distância entre os íons que podem variar em decorrência da deformação. "B" é denominada constante de Born,

Excluído: (

Excluído: ,

Excluído: m

Excluído: ,

Excluído: n

Excluído: Pauling

Excluído:

Excluído: Cotton and Wilkinson

em homenagem à Max Born que propôs que a consideração da deformação dos íons, o termo “n” é definido como expoente de Born que varia de acordo com a configuração eletrônica dos íons.

Na tabela 2 constam alguns valores de “n” para algumas configurações eletrônica dos respectivos íons.

Tabela 2: Valores de expoente de Born de acordo com a configuração do íon formado
Fonte: Benvenuti (2006, p.196)

Configuração do íon	Expoente de Born (n)
1s ²	5
2s ² 2p ⁶	7
3s ² 3p ⁶	9
4s ² 4p ⁶	10
5s ² 5p ⁶	12

Para se obter o valor de “n” para um composto iônico efetua-se a média dos valores de “n” do cátion e ânion Benvenuti (2006), assim para o nosso caso específico do NaCl, temos n= 8 pois, Na⁺ 2s² 2p⁶, n=7 e Cl⁻ 3s² 3p⁶, n=9.

Definidos os termos que representam as contribuições atrativas e repulsivas tanto devido ao caráter eletrostático, arranjo tridimensional na rede cristalina e deformação dos íons, Agora podemos expressar uma equação que expresse matematicamente nosso modelo.

$$V_{\text{reticular}} = \frac{-Ae^2 z^2}{d} + \frac{B}{d^n}$$

(14)

Como estamos interessados no valor de $V_{\text{reticular}}$ para o NaCl basta substituir os valores das constantes “A” e “n” extraídas dos quadros 1 e 2 respectivamente, substituir “e” e “Z” pelo produto das cargas dos íons e o valor da carga elementar (1, 6.10⁻¹⁹C), “d” é a distância entre os íons na célula cristalina, que pode ser verificada em tabelas que expressam resultados de medidas de cristalografia de raio X. No entanto, falta obter o valor da constante “B”, para isso usaremos um procedimento matemático proveniente do cálculo diferencial, visualizado a equação (14) como uma função de uma variável apenas $V_{\text{reticular}}(d)$. Dessa forma no processo de aproximação entre os íons Na⁺ e Cl⁻ para a formação da estrutura cristalina a energia $V_{\text{reticular}}$ é função

Excluído: ,

Excluído: agora

Excluído: a

Excluído: ,

Excluído: d

somente da variação das distâncias entre os íons. Assim o artifício usado para se obter B será efetuar a derivada primeira de $V_{\text{reticular}}$ em função de “d”. Igualando a zero a nova função, obtemos o valor de mínimo expressa pela equação (14) e além disso teremos uma equação e uma variável, no caso o valor de B.

$$V'_{\text{reticular}}(d) = \frac{Ae^2 z^2}{d^2} + \frac{Be^2}{d^{n+1}}$$

(15)

Como no ponto de mínimo (distância “d” entre os íons na qual se obtêm o menor valor de $V_{\text{reticular}}$) temos $V'_{\text{reticular}} = 0$

$$\frac{Ae^2 z^2}{d_0^2} + \frac{Be^2}{d_0^{n+1}} = 0$$

(16)

Da igualdade acima, extraímos “B”, é importante destacar que na equação (16) o valor da distância entre os íons já não é mais uma variável e sim uma constante, ou seja representa a distância fixa entre os íons na qual a energia potencial ($V_{\text{reticular}}$) na rede cristalina é mínima, daí a necessidade de se usar o termo d_0 para se fazer esta distinção.

$$B = \frac{d_0^{n-1} A z^2}{n}$$

(17)

Substituindo a equação (17) em (16) temos:

$$V_{\text{Reticular}} = \frac{NAe^2 z^2}{d} \left(\frac{-1}{n} + 1 \right)$$

(18)

Finalmente temos uma expressão (equação 18) para o cálculo da energia reticular de um sólido iônico, baseada no modelo eletrostático. Especificamente no caso do NaCl, cuja soma dos raios iônicos do sódio e do cloreto é $2,81 \times 10^{-10} \text{m}$, obtemos um valor teórico de $V_{\text{Reticular}} = -755 \text{KJ mol}^{-1}$. Interpretando fisicamente o valor de $V_{\text{reticular}}$, podemos dizer que houve uma liberação de 755KJ de energia quando um mol de íons $\text{Na}^+(\text{g})$ e $\text{Cl}^-(\text{g})$ se aproximaram de uma distância infinita até uma distância de equilíbrio “d” para formar um mol de $\text{NaCl}(\text{s})$ organizado em uma rede cristalina.

Excluído:

Excluído:

Excluído:

Podemos também expressar graficamente a variação da energia liberada em função da distância entre os pares iônicos, como mostrado na figura a seguir.

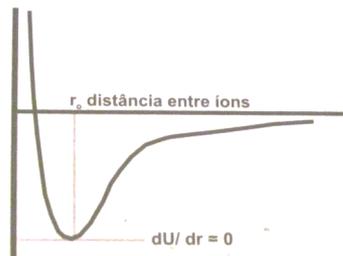


Figura 2: Gráfico poço potencial da ligação iônica
Fonte: Benvenuti (2006, p.197)

De acordo com nossas definições na seção 7.1 se considerarmos que o processo de formação da rede cristalina ocorreu a pressão constante, então podemos dizer que a energia liberada no processo ($V_{\text{reticular}}$) é igual a diferença de entalpia entre os íons isolados no estado gasoso e os mesmos organizados na rede cristalina ($\Delta H_{\text{reticular}}$).

Para fins de comparação podemos calcular experimentalmente o valor da energia envolvida no processo de formação da rede cristalina, a forma de se obter esse valor experimentalmente se baseia na utilização do ciclo termodinâmico de Born-Haber (figura 3).

O NaCl(s) é formado a partir das substâncias Na(s) e $\text{Cl}_2(\text{g})$, conhecendo-se os valores entálpicos envolvidos em cada etapa e utilizando a lei de Hess podemos calcular a energia envolvida na etapa de formação da rede cristalina.

A tabela 3 mostra os valores energéticos envolvidos em cada etapa a pressão constante.

Excluído: ¶

Excluído: ¶

Excluído:

Excluído:

Excluído:

Excluído: a

Tabela 3: Valores energéticos para cada processo de formação do NaCl.
 Fonte: Dasent (1970, p.71) apud Mendonça (2009).

Etapa	Equação representativa
Sublimação	$\text{Na}_{(s)} \rightarrow \text{Na}_{(g)} \Delta H_{\text{Subl}} = 108\text{kJ}$
Ionização	$\text{Na}_{(g)} \rightarrow \text{Na}^+_{(g)} + e^- \Delta H_{\text{ion}} = 496 \text{ KJ}$
Atomização (cloro molecular)	$0,5\text{Cl}_{2(g)} \rightarrow \text{Cl}_{(g)} 0,5 \Delta H_{\text{atom}}=121\text{KJ}$
Afinidade eletrônica(cloro)	$\text{Cl}_{(g)} + e^- \rightarrow \text{Cl}^-_{(g)} \Delta H_{\text{ae}}= 348\text{KJ}$
Formação da rede cristalina	$\text{Na}^+_{(g)} + \text{Cl}^-_{(g)} \rightarrow \text{NaCl}_{(s)} \Delta H_{\text{rede}}=x \text{ kJ}$
Processo global	$\text{Na}_{(s)} + 0,5\text{Cl}_{(g)} \rightarrow \text{NaCl}_{(s)} \Delta H_{\text{experimental}}=-411\text{KJ}$

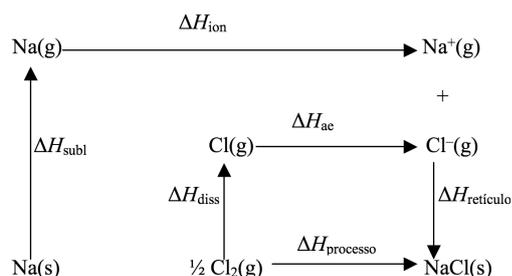


Figura 3: Etapas envolvidas na formação do NaCl(s) a partir de Na(s) e Cl₂(g).
 Fonte: Mendonça (2009, p. 287).

Utilizando a lei de Hess obtemos uma equação do primeiro grau:

$$\Delta H_{\text{subl}} + \Delta H_{\text{ion}} + 0,5\Delta H_{\text{atom}} + \Delta H_{\text{ae}} + \Delta H_{\text{rede}} = \Delta H_{\text{experimental}}$$

(19)

Substituindo os valores da tabela 3 na equação (19), obtemos o valor experimental da entalpia ou energia de rede para formação do cloreto de sódio.

$$\Delta H_{\text{rede}} = -788\text{K}$$

Se comparamos o valor experimental com o valor teórico obtemos um erro aceitável de cerca de 5%. Vale ressaltar que descartamos em nosso modelo os efeitos de polarização que o campo elétrico de cada átomo exerce no outro. Lembrado que em nosso modelo consideramos os íons como cargas esféricas simétricas, se levássemos em consideração as distorções provenientes da polarizabilidade, teríamos que acrescentar novos termos para

Excluído: o quadro

Excluído: ,

Excluído: v

ajustar a equação (18), dessa forma poderíamos obter um valor de ΔH_{rede} teórico mais próximo do experimental.

De qualquer forma, a aplicação do modelo eletrostático para um típico sólido iônico sempre irá resultar em valores muito próximos dos obtidos experimentalmente.

No entanto é importante frisar que não existe uma ligação 100% iônica e à medida que o caráter iônico do sólido diminui, o erro entre o valor teórico e experimental aumenta, justamente porque o nosso modelo eletrostático não considera o caráter covalente da ligação iônica.

Mesmo considerando a importância dos professores conhecerem detalhadamente a formação da ligação iônica, não é recomendável que os mesmos usem o modelo eletrostático com esse nível de detalhamento no ensino médio.

Porém, algumas propriedades como energia de ionização e afinidade eletrônica podem ser trabalhadas para o entendimento da formação da ligação iônica, assim como também os aspectos energéticos envolvidos mostrados pelo ciclo de Born-Haber.

Uma alternativa para se trabalhar todos esses conteúdos envolvidos é explorar as representações gráficas dos alunos para a rede cristalina. Podendo desenvolver, dessa forma uma compreensão qualitativa dos aspectos energéticos envolvidos na formação da rede cristalina para compostos iônicos.

Excluído: , desenvolvendo

7.2.3 - Estratégia de ensino

O ensino atual de ciências ainda se encontra muito vinculado à forma educacional dita tradicional, baseada na memorização e na simples transferência de informações do professor para o aluno.

De acordo com (Souza, 2007), essa forma tradicional de ensino tem mostrado há algum tempo sinais de esgotamento, com isso se faz necessário o surgimento de outras propostas para um aprendizado mais significativo e que transponha a barreira de um conhecimento epistemológico de construção do conhecimento baseado em estruturas lineares com ideias de seriação, pré-requisitos e um conhecimento totalmente encadeado.

Excluído: (

Excluído: apud Catão, 2007)

A proposta de ensino utilizando a ferramenta de modelagem pode contribuir para uma ruptura com alguns aspectos do modelo tradicional do

Excluído: ¶

ensino de modo a oportunizar um aprendizado mais participativo na elaboração de conceitos e propostas representacionais. Isso porque as atividades em que são usadas a modelagem consideram as ideias prévias dos alunos (Clement, apud Mendonça, 2009), além disso seu caráter investigativo possibilita que os alunos desenvolvam várias habilidades de pesquisa.

Excluído: promover

Excluído: Clement

Dessa forma o ensino por meio de modelagem também aproxima o aluno do contexto da produção científica, tendo em vista que os modelos são amplamente utilizados como forma representacional de fenômenos naturais, contribuindo assim para a desconstrução de uma visão distorcida de ciência em que as descobertas e produção científica se processam por meio de verdades absolutas extraídas da natureza.

Podemos compreender um modelo como uma representação de uma ideia, objeto, fenômeno ou processo (Gilbert, Boulter e Elmer, 2000 apud Souza, 2007). Por outro lado, a modelagem de acordo com Ferreira (2006, apud Catão 2007) pode ser definida como o processo de selecionar, interpretar e integrar aspectos relevantes com o objetivo de se descrever, fazer previsões e explicar determinados fenômenos.

Excluído: Gilbert, Boulter e Elmer

Excluído: Catão

Formatado: Sublinhado

Com isso utilizaremos baseado em Mendonça e Justi (2009), como estratégia de ensino a ferramenta de modelagem, para que os alunos possam elaborar, construir, testar, e validar seus modelos propostos em relação à ligação iônica. Sugere-se que as atividades sejam efetuadas em grupos, pois o incentivo mútuo pode contribuir com a criatividade, a análise crítica de ideias e o surgimento de novas ideias.

Excluído: ¶
Justi e Gilbert(2002 apud Mendonça,2009) elaboraram um diagrama que discrimina as principais etapas no desenvolvimento e validação de um modelo , como mostrado na figura 4. O diagrama não é a única possibilidade para se conduzir a elaboração de um modelo, no entanto é uma proposta bastante coerente, pois foi desenvolvida com base no estudo de como os cientistas elaboram modelos. Vale ressaltar que as atividades envolvendo modelagem podem ser propostas de maneira que se explore as etapas do diagrama. ¶ ... [1]

Excluído: ¶

Formatado: Realce

Excluído: ¶

¶
C

As atividades propostas foram elaboradas de forma que os alunos possam expressar por meio de modelos seu entendimento de como ocorre a ligação iônica, para posteriormente verificar se sua proposta é condizente com uma nova situação de modo que se possa refletir, e se necessário propor um novo modelo que se adequa a situação proposta.

Assim o professor pode conduzir processualmente a construção do ensino de ligação iônica até a abordagem dos aspectos energéticos fundamentais, envolvidos na formação da rede cristalina.

Excluído: ¶

7.2.4- Atividades

Atividade 1.

O foco principal dessa atividade é subsidiar os alunos para a compreensão de que uma ligação química se estabelece com o abaixamento energético do sistema.

O aluno deve usar alguns conhecimentos prévios sobre energia de ionização, modelo atômico de Bohr, afinidade eletrônica entre outros.

A atividade consiste na elaboração de um modelo que explique submicroscopicamente o que ocorreu após a queima de uma fita de magnésio. Na queima, o Magnésio combina-se com o oxigênio molecular do ar, para formar óxido de magnésio, liberando uma certa quantidade de energia que pode ser visualizada por meio de emissão de luz. Posteriormente os alunos também deverão aquecer o óxido de magnésio formado e verificar se ocorreu alguma mudança. O professor não precisa trabalhar necessariamente com os valores energéticos de forma quantitativa, porém as questões que irão nortear a atividade devem contemplar pelo menos os aspectos energéticos envolvidos de forma qualitativa. Vale frisar que durante a atividade o professor também deve evitar que os alunos possam desenvolver a ideia de que somente processos exotérmicos são espontâneos.

Excluído: ↑

Excluído: ,

Excluído: v

A seguir algumas questões que podem dar suporte para que os alunos expressem por meio de modelos o sistema submicroscopicamente antes e após queima da fita.

O que ocorreu após a queima da fita de magnésio?

Qual a necessidade de se aquecer a fita?

Qual a origem da energia liberada na forma de luz?

Por que o pó produzido não sofreu alterações após também ser aquecido?

Expresse por meio de desenhos os dois sistemas submicroscopicamente, antes da queima e depois da queima, de modo a relacioná-los com suas observações de acordo com as respostas anteriores.

Ao final da discussão da atividade o professor deve fazer um fechamento conduzindo para uma abordagem dos aspectos energéticos envolvidos na estabilização da ligação iônica. Discutindo também qualitativamente o perfil do gráfico poço de potencial mostrado na figura 2.

Atividade 2.

De acordo com Mendonça e Justi (2009) para se propor um modelo é necessário primeiramente se explicitar qual o objetivo do mesmo.

Nesse caso, o professor após dividir a turma em grupos deve propor aos alunos a construção de um modelo com o objetivo de se explicar como o cloreto de sódio é formado partindo-se das substâncias Na (s) e Cl₂(g). Espera-se que os alunos utilizem os conhecimentos prévios de propriedades periódicas, principalmente os valores energéticos de energia de ionização e afinidade eletrônica, usando também os valores de entalpia de ligação dos átomos de cloro no cloro molecular. É importante destacar que, este dado deve ser fornecido pelo professor.

Visamos com a atividade que os alunos comecem a relacionar a formação da ligação iônica com a energia liberada em detrimento à utilização da regra do octeto. O professor tem papel fundamental na atividade no sentido de averiguar se os conhecimentos prévios estão sendo usados de forma adequada, fornecendo subsídios para que os alunos estabeleçam as relações necessárias. Espera-se, portanto que os alunos possam associar a formação do NaCl sólido com o abaixamento de energia, como trabalhado na atividade 1.

O fechamento da atividade deve ser feito de modo que todos os grupos socializem seus modelos e o professor conduza a discussão de forma dialógica para o modelo curricular usado para explicar a formação do NaCl(s) baseado no abaixamento de energia, entretanto o professor ainda não deve mencionar a formação da rede cristalina, pois o objetivo dessa atividade é que os alunos relacionem a formação do NaCl (s) com a liberação de energia.

Em outra atividade será explorado a formação da rede cristalina. A seguir algumas questões que podem balizar a condução da atividade.

Mostre os processos intermediários envolvidos necessários para a formação dos íons Na⁺ (g) e Cl⁻ (g) a partir das espécies Na (s) e Cl₂(g)

O que vocês esperam em relação a energia envolvida na formação dos íons como proposto na questão 1, é necessário fornecer energia ou há liberação de energia na formação dos íons?

Excluído: ,

Excluído: s

Excluído: já

Formatado: Recuo: Primeira linha: 0 cm

Excluído: ,

Excluído: o

Excluído: ¶

Excluído: Espera-se, portanto que os alunos possam associar a formação do NaCl sólido com o abaixamento de energia, como trabalhado na atividade 1. ¶
O

Excluído: científico

Excluído:

E o processo de formação do NaCl (s) a partir dos íons Na⁺ (g) e Cl⁻(g) ocorre com liberação ou fornecimento de energia?

Expresse por meio de esboço gráfico como varia a energia dos íons Na⁺(g) e Cl⁻(g) separados por uma distância grande e após se aproximarem formando o NaCl(s).

O processo global de formação do NaCl (s) a partir de Na (s) e Cl₂(g), ocorre com a liberação ou absorção de energia?

Qual sistema é mais estável, Na (s) +Cl₂(g) ou NaCl (s), explique a escolha.

Atividade 3.

Na atividade 1 trabalhamos a estabilidade da ligação devido ao abaixamento de energia, especificamente na atividade 2 focamos no abaixamento de energia para ligação iônica no NaCl (s) devido a aproximação dos íons Na⁺(g) e Cl⁻(g) até a formação do cloreto de sódio sólido.

Nessa atividade vamos explorar a visão dos alunos de como os íons Na⁺ e Cl⁻ se dispõem para forma o NaCl (s).

Já vimos anteriormente que uma das concepções alternativas dos alunos é a formação da molécula de NaCl (s), dessa forma é possível que essa concepção apareça como uma das propostas nos modelos expressos pelos alunos.

Usaremos como artifício duas situações diferentes para que os alunos expressem seus modelos.

A primeira é como os íons Na⁺ e Cl⁻ se apresentam em solução aquosa, e uma segunda situação em que toda água é evaporada, assim o aluno deverá apresentar dois modelos que expressem como os íons estão configurados nas duas situações.

Ressaltamos que a opção por essas duas situações foi feita por ser familiar aos alunos, mas não se pretende nessa parte trabalhar as interações entre as moléculas de água e os íons.

Após a elaboração dos modelos os alunos deverão compartilhar seus desenhos com os demais grupos. O professor deve se portar de modo a não julgar os modelos como corretos ou não, porém deve proceder fazendo perguntas que levem os alunos a perceberem incoerências em seus modelos.

Excluído: ,

Excluído: o

Para evidenciar as possíveis incoerências o professor deve propor que os alunos simulem situações para submeter seus modelos a testes. Um deles é pedir para os alunos explicarem usando os modelos propostos, a alta temperatura de fusão do NaCl (s).

No fechamento da atividade o professor deve verificar e discutir com os grupos se os modelos propostos são capazes de explicar o elevado ponto de fusão do cloreto de sódio.

Caso os alunos construam modelos baseados na molécula de NaCl, o professor deve intervir de forma dialógica questionado se uma substância molecular possui um ponto de fusão tão elevado, se necessário o professor deve solicitar a construção de novos modelos que sejam capazes de explicar o que foi solicitado.

Essa parte da atividade constitui um momento muito importante para se discutir um aspecto muito importante da natureza do conhecimento científico, o caráter transitório da ciência. Isto porque, os modelos são provisórios e cada um tem sua abrangência de explicações e também suas limitações, como observado na própria atividade.

Excluído: ¶

Excluído: O

Atividade 4

A atividade 4 é praticamente uma continuação da atividade anterior, ela visa que os alunos proponham novos modelos para organização dos íons no cloreto de sódio em detrimento a possível concepção da formação da molécula de NaCl.

Excluído: quatro

Utilizaremos algumas questões para conduzir a atividade, por fim o professor deve conduzir a discussão para um modelo consensual tridimensional que contemple as explicações de algumas propriedades físicas dos compostos iônicos.

“O processo de formação de pares de partículas de cloreto de sódio a partir de um mol de Na^+ e Cl^- libera uma quantidade de energia de $435,72 \text{ KJ mol}^{-1}$ de NaCl formado. No entanto, quando a substância cloreto de sódio é formada, obtêm-se experimentalmente que a quantidade de energia liberada é de $861,08 \text{ KJ mol}^{-1}$ de NaCl formado.”

Em qual das situações expressas acima há formação de NaCl de forma mais estável, explique:

O modelo proposto na atividade 3 é compatível com a afirmação acima? Justifique.

Caso a resposta da questão anterior seja não, proponha um novo modelo que esteja de acordo com a afirmação dada acima e que também explique o elevado ponto de fusão do cloreto de sódio.

O novo modelo proposto é capaz de explicar também algumas propriedades físicas do cloreto de sódio, como sua dureza, clivagem e o fato de serem quebradiços? Explique.

Caso a resposta da questão anterior seja negativa, proponha um novo modelo mais abrangente possível que explique todas as propriedades citadas e que esteja de acordo com os aspectos energéticos propostos na afirmação no início da atividade.

Atividade 5.

O objetivo dessa atividade é fornecer subsídios para que os alunos trabalhem de forma reflexiva todas informações das outras questões, alguns valores dados para que possa calcular a energia liberada na formação do cloreto de sódio e relacionar o valor obtido com o modelo proposto na atividade anterior

As questões a seguir podem ajudar no desenvolvimento da atividade.

Na atividade 2, vocês descreveram as etapas das intermediárias para formação do NaCl a partir do Na(s) e Cl₂(g). Agora complete a tabela, encontrando o valor da energia de formação do cloreto de sódio pela interação entre os íons Na⁺ e Cl⁻.

Excluído: então

Excluído: e

Excluído:

Excluído: abaixo

Etapa	Energia envolvida no processo
Sublimação Na _(s) → Na _(g)	ΔH _{Subl} = 108kJ
Ionização Na _(g) → Na ⁺ _(g) + e ⁻	ΔH _{ion} = 496 KJ
Atomização (cloro molecular) 0,5Cl _{2(g)} → Cl _(g)	0,5 ΔH _{atom} = 121KJ

Afinidade eletrônica(cloro) $\text{Cl}_{(g)} + e^- \rightarrow \text{Cl}^-_{(g)}$	$\Delta H_{ae} = 348 \text{KJ}$
Formação da rede cristalina $\text{Na}^+_{(g)} + \text{Cl}^-_{(g)} \rightarrow \text{NaCl}_{(s)}$	$\Delta H_{rede} = x \text{ kJ}$
Processo global $\text{Na}_{(s)} + 0,5\text{Cl}_{2(g)} \rightarrow \text{NaCl}_{(s)}$	$\Delta H_{\text{experimental}} = -411 \text{KJ}$

O valor energético encontrado é compatível com o modelo proposto na atividade 4?

Atividade 6.

Atividade 6₁ consiste em um fechamento geral da aula em relação ao tema de ligação iônica, o professor deve conduzir as discussões de forma que favoreça a elaboração de um modelo mais abrangente possível e que ajude os alunos a perceberem as limitações dos diversos modelos propostos durante todas as atividades.

Para finalizar o professor deve apresentar o modelo cúbico de diversas formas como 2D e 3D, o professor deve trabalhar de forma que o modelo cúbico proposto seja comparado com alguns modelos propostos pelos alunos, discutindo as diferenças e o poder de explicação de cada um. Ressaltando sempre que não há modelos certos ou errados, apenas modelos mais abrangentes e outros mais limitados, enfatizando essa característica da natureza do conhecimento científico.

Nesse momento₁ o professor também pode relembrar das aulas de modelos atômicos, estabelecendo relações com os diversos modelos estudados e suas limitações e o que eles explicam. Além disso, o professor também deve apresentar outros exemplos de compostos iônicos com distintas estruturas cristalinas, estabelecendo a relação com as propriedades físicas observadas.

Acreditamos que a proposta de ensino desenvolvida nas atividades possa contribuir para um ensino de ligação iônica fundamentado e bases energéticas.

De acordo com Mendonça (2009) essa abordagem de ensino pode favorecer a compreensão do mecanismo da ligação, explicação de

Excluído: ,

Excluído: a

propriedades, desenvolvimento da capacidade de visualização, além de também contribuir com a aptidão para transitar entre os níveis de representação da química (utilização de modelos para explicar observações macroscópicas em termos submicroscópicos).

Destacamos também que esse tipo de ensino exige uma maior demanda de tempo em comparação com o ensino tradicional, porém este não pode ser tratado como um empecilho para os professores, que devem estar efetivamente comprometidos com a aprendizagem dos alunos.

7.3 - Interações intermoleculares

7.3.1 - Abordagem tradicional de ensino e principais concepções alternativas.

Assim como no estudo de ligações iônicas a compreensão das interações intermoleculares é fundamental para se compreender algumas propriedades físico químicas das substâncias. Porém a abordagem tradicional de ensino acaba muitas vezes não colaborando com o estabelecimento de relações entre os níveis submicroscópicos com o âmbito macroscópico. A maneira como este conteúdo geralmente é trabalhada tradicionalmente também se baseia praticamente na memorização.

Comumente são apresentados aos alunos os diferentes “tipos” de interações intermoleculares (dipolo-dipolo, van der Waals, interações de hidrogênio), posteriormente se costuma agrupar as substâncias de acordo com o tipo de interação presente em cada uma. Porém, essa abordagem de ensino não trabalha os aspectos energéticos envolvidos nas interações entre as moléculas, não os relacionando também com a magnitude das diferentes interações intermoleculares e seu reflexo nas propriedades das substâncias.

O estudo de interações intermoleculares requer certo grau sofisticado de abstração, o que dificulta a compreensão do aluno gerando possíveis concepções alternativas. As principais concepções alternativas no que se refere às interações intermoleculares de acordo com Mozzer (2007) são:

- Igualdade das forças intermoleculares com ligações covalentes intermoleculares ou com grandes forças existentes na rede de um sólido covalente.

Excluído: ,

Excluído: p

Excluído: ¶

Excluído: ,

Excluído: p

- Visão das ligações químicas como entidades físicas.
- Ideia de que, para serem formadas, as ligações químicas requerem energia e para serem “rompidas” liberam energia.

As concepções alternativas citadas acima para ligações químicas são transpostas para interações intermoleculares, haja visto que uma das próprias concepções alternativas é tomar interações intermoleculares como ligações químicas. Como feito para o estudo de ligações iônicas, apresentaremos uma proposta de ensino para interações intermoleculares fundamentada em bases energéticas envolvidas, relacionando a magnitude das interações intermoleculares com esses aspectos energéticos, em detrimento ao ensino alicerçado na memorização, visando também evitar possíveis concepções alternativas.

Excluído: contornar

7.3.2 - Fundamentação energética envolvida no estabelecimento de interações intermoleculares.

Como já mencionado anteriormente as interações intermoleculares estão intimamente ligadas as propriedades das substâncias, logo para compreendermos melhor essas propriedades, é necessário primeiramente entender a magnitude dessas interações e como elas ocorrem.

Uma interação entre moléculas significa que as moléculas se atraem ou se repelem entre si sem que ocorra a “quebra” ou formação de ligações químicas. A natureza das interações intermoleculares assim como na ligação iônica, também é eletrostática, logo podemos trabalhar com expressões derivadas da lei de coulomb.

Excluído: “quebra” ou

No entanto, não podemos considerar as moléculas como cargas esféricas simétricas, diferentemente como fizemos no estudo de compostos iônicos. Por moléculas não possuem cargas de fato como no caso de íons, entretanto as moléculas podem apresentar regiões onde há uma maior densidade eletrônica, nesse caso dizemos que a molécula é polar.

Excluído: ,

Excluído: p

A polaridade da molécula pode ser compreendida de forma simples em função de sua geometria e da diferença de eletronegatividade dos átomos que a compõem. Suponhamos uma molécula hipotética de geometria linear, composta por dois polos diferentes. A densidade eletrônica nessa molécula é maior na região mais próxima do átomo mais eletronegativo ocorrendo uma

Excluído: dois

Excluído: diferentes

separação de cargas q , gerando dessa forma um dipolo como mostrado na figura a seguir.

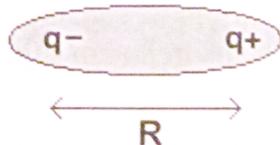


Figura 4: Representação de um dipolo formado em uma molécula hipotética heteronuclear.
Fonte: (Benvenuti, 2006, p. 144)

O produto do módulo da carga (q) pela distância (R) entre os núcleos dos átomos que compõe a molécula é definido como momento dipolar (μ).

$$\mu = q \cdot R$$

(20)

Em caso de moléculas apolares o dipolo é nulo, pois não há uma separação de cargas. Note também que quanto maior for o módulo da carga q distribuída na molécula, maior será o momento dipolar. Dessa maneira moléculas lineares heteronucleares com maior diferença de eletronegatividade entre os átomos podem gerar um maior momento dipolar.

Duas moléculas atuando como dipolos, próximas uma da outra podem sofrer alinhamento de acordo com o campo elétrico gerado pela molécula adjacente.

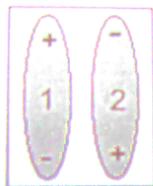


Figura 5: Orientação molecular produzida pela interação de dois dipolos
Fonte: (Benvenuti, 2006, p.145)

Podemos proceder de forma a que foi usada para calcularmos a energia liberada na formação do par iônico. No entanto, agora temos um par molecular que podem ser compreendidos como dois dipolos interagindo sob a ação mútua do campo elétrico de cada um.

Excluído: 5

Excluído:

Excluído: (

Excluído: 6

Excluído: (

Excluído: a

A energia liberada na formação da interação entre os dois dipolos (dipolo-dipolo) pode ser deduzida partindo-se da lei de Coulomb, expressa pela equação (21)

$$E = - \frac{\mu_1 \mu_2}{2\pi\epsilon r^3}$$

(21)

Onde μ_1 e μ_2 são os momentos dipolares das moléculas. Em caso de moléculas iguais, o produto $\mu_1\mu_2$ pode ser substituída por μ^2 , ϵ é a permissividade elétrica no vácuo e r é a distância médias entre as moléculas.

Anteriormente mencionamos que moléculas apolares não apresentam momento dipolar, logo pela equação (21) não haveria energia envolvida na interação entre essas moléculas, porém não é isso que se constata experimentalmente.

Segundo Benvenuti (2006), as cargas eletrônicas dos átomos estão distribuídas em torno do núcleo, ocupando um volume não nulo. Essas regiões espaciais, contendo densidade eletrônica, sofrem pequenas flutuações com o tempo fazendo com que o centro de gravidade de cargas negativa e positiva, momentaneamente, não coincidam. Quando isso ocorre, tem-se um momento dipolar instantâneo, ou seja a espécie apresenta uma polaridade instantânea. Dessa forma, pode ocorrer uma indução entre moléculas próximas. Quanto maior for o tempo que a molécula ficar polarizada maior será sua capacidade de indução.

A capacidade de uma molécula possui de mudar sua distribuição eletrônica em resposta a um campo elétrico é chamada de polarizabilidade (p), assim moléculas mais polarizáveis serão mais suscetíveis a serem induzidas. A energia liberada pela interação entre duas moléculas apolares também pode ser calculada partindo-se de inferências da lei de Coulomb. A equação (22) relaciona a energia liberada em função da distância entre as moléculas.

$$E = - \frac{\mu^2 p}{r^6}$$

(22)

Pode ocorrer também a polarização de moléculas apolares por influência do campo elétrico de uma molécula polar. Nesse caso a energia liberada será maior, pois o dipolo gerador do campo elétrico é maior.

Excluído: ,

Excluído: e

Excluído: ,

Excluído: a

Excluído: a seguir

Excluído: ,

Excluído: n

Até agora trabalhamos apenas com a energia liberada da interação entre um par de moléculas, diferentemente de como foi feito para compostos iônicos em que fizemos explicações para o quadrado e o retículo cristalino.

Para interações intermoleculares essa operação é muito mais complexa, pois não é tão simples estabelecer uma geometria ou configuração fixa como as moléculas estão dispostas, principalmente nos estados líquido e gasoso.

Portanto, as equações mostradas apenas para termos uma noção qualitativa entre a energia envolvida nas diferentes formas de interações intermoleculares, podendo dessa forma fazer inferência em relação as propriedades físicoquímicas, permitindo assim estabelecer relações entre os níveis submicroscópico e macroscópico. Como por exemplo entender os diferentes valores de energia envolvidos na mudança de fase de substâncias distintas.

Excluído: usaremos

Analisando a equação (21) podemos compreender o motivo da energia de vaporização da água ser maior que a do cloreto de hidrogênio. Se pensarmos na energia envolvida para afastar um par que moléculas de água e um par de moléculas de cloreto de hidrogênio, pela equação (21) percebemos que a energia envolvida para água é maior, pois a molécula de água apresenta um momento dipolar em decorrência de sua maior diferença de eletronegatividade entre os átomos de hidrogênio e oxigênio se comparado com o cloreto de hidrogênio. Usando as equações apresentadas podemos trabalhar de forma comparativa, usando as variáveis das quais a energia é função, como parâmetro de comparação. Porém, não podemos criar um modelo eletrostático tão satisfatório como criado para o iônico, para se calcular a energia envolvida na interação de um mol de moléculas.

Excluído: o molecular

Vamos usar como exemplo o modelo eletrostático para as interações intermoleculares da água e posteriormente discutir as limitações do mesmo.

Excluído: modelo

Sabendo que a entalpia de vaporização da água é cerca de 40KJmol^{-1} , em outras palavras a energia a uma pressão constante para vaporizar 18g de água é 40KJ. Fazendo algumas considerações podemos aproximar o valor da entalpia de vaporização com o valor da energia em módulo envolvida na interação de um mol de moléculas de água no estado líquido.

Tomamos a diferença de energia entre as moléculas de água no vapor e no líquido como ΔE_{v-L} e ΔH_v como a entalpia de vaporização da água. A

energia das moléculas de água nos dois estados pode ser expressa como a soma das contribuições das energias cinéticas e potencial representadas por E_c e E_p respectivamente.

$$E_v = E_{cV} + E_{pV}$$

(23)

$$E_L = E_{cL} + E_{pL}$$

(24)

$$\Delta E_{V-L} = E_{cV} + E_{pV} - (E_{cL} + E_{pL})$$

(25)

A energia cinética é proporcional a temperatura e como a mudança de fase ocorre a uma temperatura constante para uma substância pura, então podemos inferir que $E_{cV} = E_{cL}$, assim temos que:

$$\Delta E_{V-L} = E_{pV} - E_{pL}$$

(26)

Se considerarmos que a mudança de fase ocorre a uma pressão atmosférica relativamente baixa como 1 atm, podemos dizer que as moléculas de água no vapor estão muito afastadas a ponto de não interagirem, se comportando portanto como um gás ideal. Como não há interação a energia envolvida é nula, logo $E_{pV} = 0$.

A energia potencial das moléculas no estado líquido (E_{pL}) pode ser interpretada como a energia liberada pela interação de par um de moléculas de água separadas por uma distância d , como mostrado na figura 6.

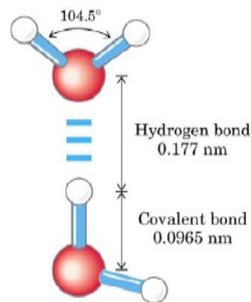


Figura 6: Representação da interação entre duas moléculas de água.

Excluído: Já

Excluído: a

Excluído:

Excluído: 7

Considerando que a interação de um par de moléculas libera uma certa quantidade de energia expressa pela equação (21), temos que a energia liberada por um mol de moléculas pode ser expressa por:

$$E = - \frac{\mu_1 \mu_2}{2\pi\epsilon r^3} 3,01 \cdot 10^{23}$$

(27)

Com as considerações feitas e substituindo a equação (27) em (26) temos:

$$\Delta E_{V-L} = \frac{\mu_1 \mu_2}{2\pi\epsilon r^3} 3,01 \cdot 10^{23}$$

(28)

Se interpretarmos fisicamente a energia ΔE_{V-L} , como a quantidade necessária para que ocorra a mudança de fase, então:

$$\Delta H_V = \frac{\mu_1 \mu_2}{2\pi\epsilon r^3} 3,01 \cdot 10^{23}$$

(29)

Dessa maneira chegamos a uma equação que relaciona uma propriedade mensurável com as interações intermoleculares. Substituindo os valores na equação (29)

$$2\pi\epsilon = 5,5578 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}; r = 1,77 \cdot 10^{-10} \text{ m}; \mu = 6,105 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$$

$$\Delta H_V = 36,34 \text{ KJmol}^{-1}$$

Excluído:

De acordo com nosso modelo eletrostático para a molécula de água foi possível obter um valor teórico para sua entalpia de vaporização cerca de 90% do valor experimental. Notem que o valor é mais baixo em relação ao valor obtido de forma semelhante para a energia reticular do NaCl. Logo nosso modelo apresenta mais limitações.

Aqui consideramos apenas a energia liberada na interação de um par de moléculas, mesmo que no estado líquido as moléculas não apresentem uma organização fixa como em um sólido, elas ainda sim possuem uma certa organização transitória formando estruturas chamadas de clusters, como ilustrado a seguir.

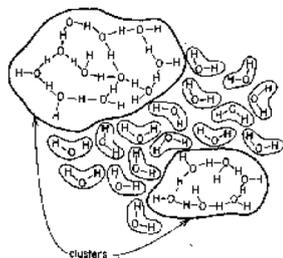


Figura 7: Representação de agrupamento (clustering) de moléculas de água na fase líquida.

Excluído: 8

Entretanto o cálculo da energia envolvida levando-se em conta essa organização é bastante complexo. Pois as interações entre as diversas moléculas nesse sistema não são fixas, elas são bastante efêmeras de modo que são estabelecidas e “desfeitas” em infinitesimais frações de segundo. Se conseguíssemos levar em consideração essa organização talvez obteríamos um termo semelhante a constante de Madelung na equação (18) para sólidos iônicos. Dessa forma poderíamos obter um valor entálpico mais próximo do real. Em nosso cálculo também não consideramos a distorção dos dipolos da água em função da influência do campo elétrico gerado pelas moléculas adjacentes.

Excluído: ,

Excluído: p

Excluído: ,

Excluído: d

Mesmo que nosso modelo eletrostático não seja tão satisfatório como o proposto para sólidos iônicos, podemos usar de forma qualitativa as equações (21) e (22) para fazer algumas previsões e inferências a respeito de certas propriedades de algumas moléculas e átomos. Como por exemplo podemos usar os conhecimentos sobre propriedades periódicas aliados as relações entre energia envolvida na interação e polarizabilidade, como expresso na equação (22), para explicar os diferentes pontos de ebulição dos gases nobres como mostrado no quadro 4.

Formatado: Justificado

Tabela 4 : Valores dos pontos de ebulição para os gases nobres.

Gás nobre	Ponto de ebulição(°C)
Hélio	-269
Neônio	-246
Argônio	-186
Kriptônio	-152

Xenônio	-108
Randônio	-62

O tamanho dos átomos no quadro 4 aumenta no sentido do Hélio para o Randônio, átomos maiores possuem uma polarizabilidade (p) maior, assim de acordo com a equação (21) é necessário fornecer mais energia para efetuar ebulição do Randônio em relação ao Hélio, como bem mostrado na tabela 4.

Excluído: no quadro acima.

Um tipo de interação muito comum é a estabelecida entre íons e moléculas que atuam como dipolos, essa interação é muito comum no processo de solvatação. Podemos expressar matematicamente a partir de nosso modelo eletrostático, a energia liberada na interação entre um íon e uma molécula polar, como mostrado na equação 30. (Benvenuti,2006, p.149)

$$E = -\frac{Z\mu}{4\pi\epsilon r^2}$$

(30)

Z nesse caso é a carga do íon em módulo. Se utilizarmos todas equações obtidas até agora via nossos modelos eletrostáticos, tanto para sólidos iônicos como para substâncias moleculares, podemos fazer uma análise termodinâmica a respeito da espontaneidade do processo de solvatação.

Por exemplo, para que a solubilização do cloreto de sódio em água ocorra, é necessário que as interações estabelecidas na rede cristalina mostrada na figura 1, sejam “desfeitas” e que as interações entre as moléculas de água formadas de acordo com a figura 7, também sejam “desfeitas”. Formando novas interações entre os íons e as moléculas de água.

Excluído: P

Excluído: por exemplo

Excluído:

A figura 8 mostra as novas interações efêmeras formadas entre as moléculas de água e os íons, representados por cargas positivas e negativas

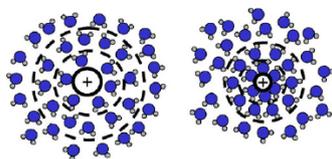


Figura 8; Representação 2D da interação entre íon – dipolo (esferas de solvatação).

Excluído: 9

Comparado a equação (8) que relaciona a energia envolvida na formação de um par iônico, com a equação (30), percebemos que a interação entre o par iônico é mais estável que a interação entre um íon e uma molécula. No entanto na prática o processo de solvatação do cloreto de sódio em água ocorre espontaneamente.

Até o momento explicamos a estabilidade dos processos considerando apenas o abaixamento entálpico de energia. No entanto, nos deparamos com uma situação em que não conseguimos explicá-la somente pela variação de entalpia do processo.

A solvatação do cloreto de sódio é um processo endotérmico, ou seja a entalpia envolvida na interação entre os íons e as moléculas de água é maior que a somatória da entalpia envolvida nas interações entre os íons na rede cristalina, mais a entalpia envolvida nas interações entre as moléculas de água no estado líquido. Dessa forma, é necessário fornecer energia para o processo ocorrer, experimentalmente notamos que quando dissolvemos cloreto de sódio em água há um ligeiro resfriamento do recipiente, pois a energia "absorvida" na solvatação foi "retirada" da vizinhança, causando o resfriamento.

Para explicar a espontaneidade de um processo endotérmico usamos a variação de entropia ΔS . Nesse caso ΔS da solvatação deve ser positiva suficientemente para compensar a variação de entalpia positiva, tornando ΔG da solvatação negativa, de acordo com a equação (7).

Qualitativamente, inferimos que a variação de entropia em um processo de solvatação é positivo, para isto basta comparar as figuras 1, 7 e 8. Se interpretarmos o conceito de entropia relacionado com os níveis de organização do sistema, notamos que as moléculas interagindo com os íons quando solvatados, apresentam um número maior de possibilidades de configuração em relação as possibilidades de configuração das moléculas de água no estado líquido, somadas com as pouquíssimas possibilidades de configuração dos íons fixados na rede cristalina. Vale ressaltar que estamos fazendo apenas uma apreciação qualitativa dos arranjos possíveis.

Para expressarmos matematicamente seria necessário recorrer a um tratamento estatístico para os possíveis arranjos. Ou então recorrer a tabelas de dados termodinâmicos e calcular a variação de entropia do processo e confirmar se a variação é suficientemente positiva. No entanto nossas

Excluído: a

Excluído: notamos

Excluído: retirada " da

Excluído: 1,

comparações usando as figuras e equações, juntamente com a experiência prática da solubilização do cloreto de sódio, são suficientes para estabelecermos as proposições feitas.

Consideramos importante que os professores compreendam os aspectos energéticos envolvidos nas interações intermoleculares, seja por meio de modelos eletrostáticos ou mais elaborados a luz da mecânica quântica, mesmo que as explicações matemáticas envolvidas não sejam explanadas em sala de aula **do ensino médio**.

Entretanto é importante que o professor trabalhe com as propriedades das substâncias de modo a relacioná-las com as interações intermoleculares efetuadas, de forma que também se relacione a magnitude das interações com os aspectos energéticos envolvidos na estabilidade das mesmas.

Destacamos também a importância do uso de modelos e atividades mais investigativas, para se desenvolver uma compreensão qualitativa dos aspectos energéticos envolvidos nas interações intermoleculares.

7.3.3 - Estratégia de ensino

Segundo o PCN+ (2002,) *“a química deve ser apresentada e estruturada sobre o tripé: transformações químicas, materiais e suas propriedades e modelos explicativos”*. (p. 87)

Dessa maneira, o tema interações intermoleculares apresenta-se como chave para o entendimento dessas propriedades, como por exemplo: Ponto de ebulição, solubilidade e viscosidade, que serão trabalhados nas atividades propostas, de modo a relacioná-las com os aspectos energéticos envolvidos nas interações intermoleculares.

A abordagem de ensino proposta para interações intermoleculares foi feita de maneira semelhante à parte de ligação iônica. Exploraremos a elaboração de modelos verificando as possíveis concepções alternativas dos alunos em relação ao tema. Posteriormente os alunos serão colocados em situações que testem os modelos propostos, efetuando se possível, adequações nos modelos, de maneira a torná-los mais explicativos. Além disso, as atividades visam instigar a reflexão dos alunos e sua tomada de decisões em situações cotidianas. Como, por exemplo, a escolha adequada de um lubrificante, dessa forma os alunos deverão relacionar as estruturas

Formatado: Fonte: Itálico

Excluído: de

moleculares das substâncias com as interações intermoleculares, propriedades físico-químicas (neste caso a viscosidade) e sua funcionalidade (lubrificação).

Tudo isso contribui para que o aluno explore sua capacidade de abstração e o processamento de modelos mentais. Por fim, ainda introduziremos uma atividade que relacione interações intermoleculares com ligação iônica, via solubilidade, permitindo também de forma oportuna uma interpretação qualitativa de entropia.

7.3.4 - Atividades

Atividade 1.

O objetivo dessa atividade é verificar como os alunos compreendem o que ocorre na mudança de fase de uma substância. Após dividir a turma em grupos o professor deve solicitar aos alunos que proponham modelos em forma de desenhos, que mostrem o que ocorre em nível submicroscópico durante a ebulição da água.

O professor deve ficar atento, pois desses modelos pode-se observar possíveis concepções alternativas dos alunos em relação a interações intermoleculares, por exemplo, indiscriminação entre ligações intermoleculares e intramoleculares.

É possível também que os alunos relacionem a mudança de fase com fornecimento de energia em forma de calor, necessário para romper as ligações covalentes nas moléculas de água.

As questões a seguir podem ajudar os alunos a desenvolverem, testarem e refazerem seus modelos. Os modelos deverão ser socializados e discutidos em sala de aula de forma que o professor atue como moderador no debate. Após o desenvolvimento da atividade 1, o professor deve fazer um fechamento parcial, de maneira que se relacione as interações entre as moléculas de água com a mudança de fase e a necessidade do fornecimento de energia para que ocorra a ebulição, no sentido de deixar as moléculas mais afastadas, diminuindo assim a intensidade das interações. Assim pode-se relacionar as interações intermoleculares com uma primeira variável, a distância entre as moléculas.

Excluído: ¶

O professor também deve deixar claro que não há rompimento de ligações na molécula de água e muito menos reações químicas, no processo de mudança de fase.

É possível se discutir também a diferença de energia entre os dois sistemas (água líquida e vapor de água) e começar a relacioná-las com as interações das moléculas nos dois estados. Concluindo com os alunos que no vapor as moléculas estão mais afastadas, possuindo maior energia cinética e menor energia potencial em relação as moléculas no estado líquido.

Excluído: 1

Excluído: 1

Expresse por meio de desenhos o que ocorre com as moléculas de água durante o processo de ebulição. Faça o desenho mostrando as moléculas no estado líquido, no vapor e durante a mudança de fase

Excluído: 1

O que foi necessário para que ocorresse a mudança de fase?

Cite alguns processos comuns no seu cotidiano em que ocorre a ebulição da água? Em algum desses processos houve alguma evidência que ocorreu uma reação química?

O modelo proposto na questão 1 está de acordo com as respostas das questões 2 e 3? Explique.

Excluído: 1

Excluído: 2

Em caso de resposta negativa, faça reformulações de modo que o modelo proposto seja compatível com as repostas dadas.

Atividade 2.

Após o desenvolvimento da atividade 1 e da intervenção do professor, espera-se que os alunos sejam capazes de relacionar de forma qualitativa, as interações intermoleculares com a energia potencial das moléculas em função da distância entre elas.

O próximo passo é relacionar as interações com a polaridade das substâncias. Para isso algumas questões muito semelhantes as da atividade 1, podem ajudar na condução da aula. No entanto a substância que usaremos como exemplo é a acetona (propanona).

O professor deve fornecer a estrutura molecular da propanona. Espera-se que os alunos percebam pela própria experiência que a acetona evapora mais facilmente que a água.

O objetivo da questão é que os alunos percebam que substâncias com polaridades diferentes possuem interações diferentes. Assim o professor pode introduzir conceitos como dipolo, discutindo que a interação intermolecular depende da magnitude desses dipolos formados nas moléculas e que eles dependem da distribuição de cargas na molécula.

Nessa parte haverá necessidade que os alunos utilizem alguns conhecimentos prévio como, propriedades periódicas (eletronegatividade mais especificamente), geometria e polaridade das moléculas.

Obs.: Escolhemos a acetona por se tratar de uma substância mais comum aos alunos, no entanto poderia ser utilizada outras substâncias, como o ácido clorídrico concentrado, porém como essa substância não é muito usual no dia a dia dos alunos, o professor teria que levar uma amostra de ácido clorídrico para que os alunos observassem algumas características do mesmo, como sua volatilidade. Vale frisar que nesse caso o professor atuaria de forma demonstrativa, tendo em vista a periculosidade de se trabalhar com **cloreto e hidrogênio** concentrado. A seguir algumas sugestões de questões que podem ajudar o professor a conduzir o trabalho.

Excluído: 1

Excluído: ácido clorídrico

1. Exprese por meio de desenhos o que ocorre com as moléculas de propanona durante o processo de ebulição. Faça o desenho mostrando as moléculas no estado líquido, no vapor e durante a mudança de fase líquida.

2. Comparando as moléculas de água e propanona, qual possui maior polaridade? Pensando no processo de ebulição da água e da propanona separadamente, qual dos dois processos requer mais energia para ocorrer? Explique.

3. O modelo proposto na questão 1 é compatível com a resposta da questão 2? Em caso de resposta negativa, faça reformulações de modo que o modelo e a resposta dada sejam compatíveis.

4. Coloque as substâncias água, propanona, **cloreto de hidrogênio** em ordem crescente de acordo com os pontos de ebulição. Explique utilizando o modelo proposto na questão 1.

Excluído: ácido clorídrico

Atividade 3.

As atividades anteriores tinham como objetivo relacionar a mudança de fase (ebulição) com interações intermoleculares, verificar os aspectos energéticos envolvidos e estabelecer relações entre a intensidade das interações com a distância entre as moléculas e a polaridade das mesmas. Em outras palavras, seria uma interpretação qualitativa da equação 21. Com essa atividade visamos que os alunos continuem atribuindo relações entre as interações intermoleculares e propriedades fisicoquímicas das substâncias, nesse caso iremos explorar a propriedade viscosidade. De forma que os alunos possam relacionar essa propriedade com o uso funcional de algumas substâncias (lubrificantes). A atividade será apresentada ao aluno junto com a introdução qualitativa do conceito de viscosidade, com base no uso de lubrificantes.

Excluído: ¶

Nesse momento o aluno já foi introduzido nas aulas anteriores a certos conceitos de interações intermoleculares, o que facilitará sua compreensão sobre os aspectos envolvidos no estudo da viscosidade. O experimento deve ser conduzido pelo professor, para minimizar o gasto das substâncias usadas.

Excluído: ¶

O professor deve apresentar aos alunos três frascos (enumerados como 1, 2 e 3. Não será fornecido nem uma informação sobre os líquidos, além das possibilidades de que cada um dos líquidos possam ser propanona, álcool propílico ou glicerina), com o auxílio de um conta gotas o professor deve colocar uma gota de cada líquido em partes diferentes de um mesmo recipiente.

Excluído: n

Serão cronometrados os tempos de escoamento das gotas de cada substância. Em seguida os alunos deverão responder as perguntas a seguir, que balizarão a discussão do professor rumo ao fechamento parcial do conteúdo.

Excluído: da aula

Desenhe as estruturas moleculares das três substâncias propostas (propanona, álcool propílico e glicerina).

Expresse por meio de desenhos o que ocorre em escala submicroscópica o que ocorre com as moléculas das substâncias durante o escoamento.

Por meio dos tempos aferidos indique qual substância está presente em cada um dos frascos.

Ordene de forma crescente as substâncias de acordo com seu ponto de ebulição. Especificando qual das substâncias apresenta maior entalpia de vaporização (energia a pressão constante necessária para efetuar a mudança de fase do estado líquido para o gasoso).

Supondo que o experimento fosse realizado em uma faixa de temperatura superior a temperatura ambiente e inferior a temperatura de ebulição da substância mais volátil, o que se esperaria dos valores dos tempos gastos? Seriam maiores, menores ou iguais? Explique. A resposta dessa questão, bem como a ordem proposta na questão anterior estão de acordo com o modelo proposto na questão 2? Se não, faça alterações de modo a torna-las compatíveis.

De acordo com as observações feitas, qual das três substâncias poderia ser utilizada da melhor forma como lubrificante? Explique.

Em nossas articulações possuímos um líquido que atua como lubrificante, minimizando os desgastes dos ossos, proveniente do atrito gerado durante o movimento dos membros. Pesquise em fontes diversas (livros, sites, revistas etc.) o principal componente desse líquido e discuta com o professor em sala de aula sua estrutura molecular, relacionando-a com a propriedade que lhe confere a função de lubrificante.

Atividade 4.

Com base no desenvolvimento das atividades anteriores espera-se que os alunos sejam capazes de relacionar propriedades das substâncias com as interações intermoleculares, compreendendo também sua magnitude e a estabilidade por meio da energia envolvida.

O objetivo dessa atividade é trabalhar a estabilidade de soluções baseada nos aspectos energéticos envolvidos nas interações intermoleculares entre os componentes da solução. Introduzindo também o conceito de entropia de forma qualitativa.

A aula também será pautada em uma atividade experimental conduzida pelo professor. A atividade experimental consiste em adicionar cerca de 20ml de álcool gel em um recipiente aberto, em seguida será adicionado um cristal de NaCl ao álcool gel.

Quase que instantaneamente notamos que o gel perderá sua consistência formando um líquido menos viscoso. O álcool gel é composto basicamente por uma mistura de água, álcool etílico e carbopóis (substâncias ricas em ácidos carboxílicos, responsável pela característica gelatinosa do álcool).

Pensando na regra de solubilidade semelhante dissolve semelhante, espera-se que o sistema álcool gel puro seja mais estável que o sistema álcool gel mais cloreto de sódio. Pois as interações entre os grupos semelhantes no álcool gel (possibilidade de formação de interações ligações hidrogênio entre a água, álcool etílico e carbopóis) favoreça entalpicamente a estabilidade da mistura.

No entanto, pelo experimento, verificamos que a mistura do álcool gel com o cristal de cloreto de sódio ocorre espontaneamente, e como já vimos anteriormente, a energia envolvida na interação entre os íons Na^+ e Cl^- libera menos energia do que as interações entre as próprias moléculas de água. Nesse caso, a diferença ainda seria maior pois teríamos a energia envolvida entre as interações mútuas dos três componentes do álcool gel.

Dessa forma usaremos o conceito de entropia para explicar o fenômeno observado. É muito importante que o professor atue como moderador na atividade, conduzindo a aula processualmente até o fechamento, em que será apresentado de forma qualitativa o conceito de entropia. As questões propostas podem auxiliar na condução da aula, porém é necessário a intervenção do professor e a utilização de conhecimentos prévios por parte dos alunos.

O professor pode usar figuras (1, 7 e 8 apresentadas anteriormente) para comparar com as proposições feitas pelos alunos. A seguir algumas sugestões de questões para aplicação do professor.

Expresse por meio de desenhos a estrutura do álcool gel em nível submicroscópico.

O que você notou após a adição do cristal de cloreto de sódio? Faça um desenho agora mostrando como se arranjam as substâncias após a adição do cloreto de sódio.

Como você justifica a alteração observada no sistema? Utilize os modelos para explicar

Excluído: ,

Excluído: n

Excluído: ainda

Sabendo que o álcool gel é composto basicamente por álcool etílico, água e ácidos carboxílicos (o professor pode fornecer as estruturas moleculares dessas substâncias) vocês alterariam a resposta da questão anterior? Justifique usando o modelo proposto, se necessário faça alterações no modelo para justificar sua proposta.

Após a realização do experimento podemos realizar a separação dos compostos da seguinte maneira: esperar algumas horas para o álcool volatilizar, realizar uma filtração para a separação dos carbopóis e destilação para a separação do cloreto de sódio e água. Obtemos dessa forma, todos os compostos presentes no sistema inicial. Dessa forma, vocês alterariam as respostas e os modelos propostos para explicar o fenômeno ocorrido? Justifique.

Qual dos dois sistemas é mais estável, álcool puro ou álcool gel mais cloreto de sódio? Explique usando os modelos propostos.

Com base nos modelos propostos, mostre qual dos dois sistemas apresenta uma maior organização aparentemente.

Acreditamos que as atividades bem como as questões propostas, podem servir de suporte para o desenvolvimento de um ensino de interações intermoleculares, alicerçado nos aspectos energéticos envolvidos de forma qualitativa. As atividades também exploram o florescimento das capacidades de representação, proposição de explicações para fenômenos baseadas em modelos, estabelecendo relações entre os níveis submicroscópico e macroscópico. Favorecendo um ensino de química em que o aluno possui um papel ativo no desenvolvimento das aulas.

7.4 - Eletroquímica

7.4.1 - A abordagem tradicional de ensino e as dificuldade de aprendizagem, em relação à eletroquímica.

No ensino de eletroquímica, de um modo geral, o conhecimento por parte dos alunos, sobre os conceitos relacionados a este tema é muitas vezes vago e superficial. Por este motivo, os alunos podem não conseguir associar a eletroquímica a fenômenos que acontecem em seu cotidiano, dificultando a compreensão do tema e a construção do conhecimento científico.

Excluído: concepções

Excluído: alternativas

Excluído: em

Em geral o ensino tradicional de eletroquímica se baseia na memorização de termos como, agente oxidante e redutor, anodo e cátodo e suas relações com a estrutura física de células eletrolíticas e pilhas. Uma das dificuldades encontradas no ensino de eletroquímica é a superação de certos obstáculos epistemológicos. Bachelard (1947 apud Lopes, 1991) denominou de obstáculos epistemológicos os entraves que causam dificuldade no desenvolvimento e construção do conhecimento científico de um modo geral, seja pelo cientista, pelo aluno ou qualquer outro indivíduo. Outra dificuldade muito recorrente no ensino de eletroquímica é a superficialidade como é tratado o potencial padrão de hidrogênio. Em uma pesquisa feita por Osorio, Cecchini, Tiedemann e Oliveira (2009), foi feito um levantamento nos livros de Química nos capítulos de eletroquímica e pôde-se mostrar que o eletrodo de hidrogênio é tratado com pouco aprofundamento e, às vezes, até incorretamente nos livros.

Acreditamos que o ensino de eletroquímica pautado nos aspectos energéticos envolvidos pode contribuir para superação desses obstáculos epistemológicos, em como favorecer um entendimento físico de termos como, potencial padrão e espontaneidade dos processos eletroquímicos.

7.4.2 - Aspectos energéticos envolvidos em processos eletroquímicos

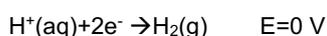
Fenômenos envolvendo transferência de elétrons são muito comuns no cotidiano, reações em pilhas, baterias e alguns processos metabólicos de reação acopladas, podem ser estudados utilizando arcabouços teóricos provenientes da eletroquímica. Compreender energeticamente os processos eletroquímicos é fundamental para se fazer previsões ou inferências a respeito da espontaneidade e reversibilidade desses processos. Estabelecer relações entre a potencial padrão das reações e sua energia livre, também é muito importante para se analisar criticamente a demanda energética envolvida nos processos eletroquímicos. Como por exemplo os processos industriais de siderurgia.

No estudo de eletroquímica usamos muitas vezes termos como, diferença de potencial (d.d.p), força eletromotriz (fem.) e potencial padrão de

Excluído: O

redução oxidação (E). Podemos entender o potencial elétrico como a energia que uma carga elétrica está submetida sob a ação de um campo elétrico, e a diferença de potencial como a diferença entre duas áreas ou corpos com potenciais elétricos diferentes.

Em reações químicas não podemos medir o potencial elétrico de uma reação, porém podemos medir a diferença de potencial entre duas semi-reações que compõem a reação global. Como os processos eletroquímicos são reações de óxido-redução, podemos dividir a equação global em duas outras reações, uma de oxidação e outra de redução. Como mencionado anteriormente, o potencial de uma dessas semi-reações não pode ser medido isoladamente, assim como medimos em uma reação química as variações de entalpia e energia livre. Porém, se atribuirmos um valor arbitrário a uma dessas reações e medirmos a diferença de potencial da reação global, podemos obter valores de potencial para cada semi-reação usando sua reação complementar fixa como um padrão. Nesse caso, utiliza-se a semi reação de redução dos íons H^+ como padrão.



A redução de íons $H^+(aq)$ à $H_2(g)$ é derivada do eletrodo padrão de hidrogênio proposto por Walther H. Nernst, em 1897, para se medir acidez de soluções aquosas. Entretanto, acabou sendo usada como padrão para se medir potenciais padrões de outras semi-reações. O potencial padrão então de qualquer semi-reações, pode ser definido como a diferença de potencial entre a semi-reações de interesse e o potencial padrão de Hidrogênio (Oliveira, 2009).

A diferença de potencial pode ser medida utilizando-se, por exemplo, um aparelho denominado multímetro ou Voltímetro² como mostrado na figura. No caso de uma reação de oxirredução, a diferença de potencial entre as espécies oxidante e redutora (espécie redutora Zn, aquela que oxida e espécie oxidante Cu, aquela que reduz) é calcula pela soma dos dois potenciais padrões de cada semi-reação. O valor também poderá ser medido desde que a reação possa ser arranjada na forma que as espécie oxidante e redutora possam ser conectadas pelo multímetro. Nesse caso, os agentes oxidantes e redutores

Excluído: 1

Excluído: ões

² Aparelho utilizado para medir voltagem.

serão denominados eletrodos e se a reação ocorrer espontaneamente o aparato poderá ser chamado de pilha, como mostra a figura 9.

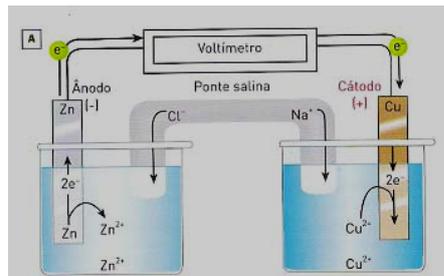


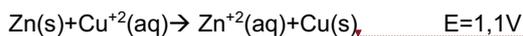
Figura 9: Representação esquemática de uma pilha

Muitas vezes utilizamos o termo fem. (força eletromotriz) como sinônimo de diferença de potencial, porém há uma diferença entre esses dois termos. Segundo Kotz (2010), a diferença de potencial entre os eletrodos é definida quando eles estão conectados, ocorrendo assim um fluxo de elétrons. **Por outro lado**, o termo fem. é atribuído quando os eletrodos não estão conectados, não havendo portanto fluxo de elétrons.

Excluído: é usado

Feita algumas considerações conceituais e definições da estrutura de uma pilha, vamos agora relacionar a diferença de potencial com a espontaneidade e energia livre de Gibbs. Tomamos como exemplo a oxidação do zinco pelo cobre, como representado pela equação química a seguir:

Excluído: Já o



Excluído: re

Excluído:

O valor de E foi obtido somando-se os valores de potencial padrão das duas semi-reações. Se montamos a pilha referente a equação representada anteriormente, notaremos que a reação de oxidação do zinco pelo cobre, ocorre espontaneamente. Como foi visto na seção 7.1, um processo espontâneo ocorre com uma variação negativa da energia livre de Gibbs do sistema (ΔG). Termodinamicamente ΔG pode ser compreendido fisicamente como a energia livre para exercer trabalho além do de expansão, no caso de um processo eletroquímico espontâneo, podemos dizer que $-W_{(\text{ele})} = \Delta G$, em que $-W_{(\text{ele})}$ é o trabalho elétrico que a pilha realiza na vizinhança (Kotz, 2010). Para continuar nosso raciocínio é necessário compreendermos fisicamente o significado da unidade "Volts". Se a d.d.p de uma reação é "E" volts significa que cada carga de X coulomb recebe (E.X) joules de energia, pois Volts= Joule

Excluído: r

Excluído: é

Excluído:

Excluído:

Excluído: "

por Coulomb. Como a carga de um elétron é dado por $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$, temos que cada elétron nessa reação hipotética possui $1,6 \times 10^{-19} \text{E}$ joules de energia. No entanto, nem todas reações de oxirredução possuem apenas um elétron envolvido na diferença entre o elemento oxidado e reduzido e vice versa. Vamos então chamar esse número de elétrons envolvidos de n . Essa energia calcula é a responsável por realizar o trabalho elétrico na vizinhança. Dessa forma podemos expressar a energia livre como $\Delta G = -n \cdot 1,6 \times 10^{-19} \cdot E$. Como estamos interessados na energia livre da reação devemos calculá-la para um mol, logo devemos considerar a energia para $6,02 \times 10^{23}$ elétrons, assim concluímos que:

$\Delta G = -n \cdot 6,02 \times 10^{23} \cdot 1,6 \times 10^{-19} \text{E}$, o produto $6,02 \times 10^{23} \cdot 1,6 \times 10^{-19}$ é chamado de constante de Faraday (F). Dessa forma para uma pilha hipotética temos que:

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E^0$$

(31)

Agora podemos verificar matematicamente a espontaneidade de um processo eletroquímico, usando a energia livre de Gibbs como parâmetro termodinâmico para espontaneidade (de acordo com o que foi mostrado na seção 7.1). Além disso, podemos estabelecer a espontaneidade dos processos eletroquímicos em função do potencial padrão da reação através da equação 7, pois:

Se $E^0 > 0$, então ΔG é negativo e o processo é espontâneo

Se $0 > E^0$, então ΔG é positivo e o processo não é espontâneo

Se $E^0 = 0$, então ΔG é zero e o sistema entrou em equilíbrio, ou seja, não há mais energia livre para se realizar trabalho elétrico.

Para o caso de nossa reação específica entre zinco e cobre, temos que:

$\Delta G = -2 (96320 \text{C}) 1,1 \text{V} = -211,904 \text{KJ}$, logo a reação é espontânea.

Nas explicações e definições de conceitos feitos anteriormente, relacionamos o estudo da eletroquímica com os fundamentos da termodinâmica. Obtendo dessa forma uma designação energética para os termos como diferença de potencial. Para o ensino de eletroquímica trabalhar com essas relações pode ser interessante. Pois além de ligar conceitos abstratos com o nível fenomenológico, pode evitar o ensino por memorização

Excluído: ,

Excluído: c

de reações eletroquímicas. Como por exemplo, tomar como critério de espontaneidade de uma reação eletroquímica somente o sinal do potencial padrão da reação, não se estabelecendo nenhuma relação com energia de Gibbs. Devido à escassez de textos que trabalhem a interface desses dois conteúdos, propomos posteriormente um material que possa auxiliar o professor a trabalhar em sala de aula com atividades didáticas que favorecem uma compressão mais dinâmica calcada em bases energéticas, podendo evitar assim diversas concepções distorcidas dos processos eletroquímicos.

7.4.3 - Estratégia de ensino.

Em objeção ao ensino tradicional de eletroquímica, sugerimos uma abordagem pautada em atividades investigativas. Essas atividades podem contribuir para um entendimento processual do aluno em relação ao tema de eletroquímica. De forma que as relações entre diferença de potencial e energia livre, possa ser estabelecida de maneira mais autônoma pelos alunos, a partir das atividades propostas. O principal objetivo é que os alunos compreendam fisicamente as relações estabelecidas na equação (31).

O ensino por investigação visa contribuir para a aprendizagem por meio de estratégias que promovam a discussão, levando-se em conta as ideias prévias dos alunos. No ensino expositivo o aluno acaba por seguir a linha de raciocínio do professor e tende a não ser o agente do pensamento, fazendo com que, deste modo, o papel do aluno na escola seja de acumulador de conhecimento. O ensino não deve ser fundamento na transmissão de conhecimento, portanto, é necessário que se conheça as ideias iniciais dos alunos. Nenhum novo tópico deve ser proposto sem procurar saber o que os alunos já conhecem ou como eles entendem da proposta que será realizada (Carvalho, 2013).

Uma sequência de ensino investigativa poderá ter algumas atividades básicas para o seu desenvolvimento. Inicialmente, geralmente, se apresenta um problema (seja ele experimental ou teórico) contextualizado. Após a resolução do problema é preciso uma atividade de organização do conhecimento construído pelos alunos. Esta organização poderá ser por meio, por exemplo, da leitura. Uma terceira atividade é importante para que promova a contextualização do conhecimento no dia-a-dia do aluno, para que ele possa aplicar seu conhecimento (Carvalho, 2013).

Excluído: ¶

Excluído: (

Excluído: (

Para a condução das atividades investigativas é necessário que o professor esteja ciente que o erro do aluno possui grande influência na construção dos novos conhecimentos. Deste modo, é importante lembrar que a sequência de atividades deverá ter como objetivo construir conhecimento a partir do que o aluno sabe. O professor deverá conduzir o aluno intelectualmente por meio de questionamentos que o levará a resolver o problema inicial Carvalho (2013).

Excluído: já

Uma das formas para que o aluno seja capaz de abandonar os conceitos espontâneos trazidos do cotidiano é deixar com que ele elabore hipóteses a partir de suas concepções prévias e tenham condições de testar e tentar resolver o problema (a atividade) a partir dessa visão inicial. Desta maneira, o aluno poderá eliminar as hipóteses que a realidade mostrou não interferir no problema.

A seguir, apresentaremos algumas atividades para trabalharmos as relações entre energia livre de Gibbs, potencial padrão e espontaneidade. Nossa proposta de ensino está baseada na investigação, com intuito de ajudar o aluno a superar algumas das dificuldades citadas, como a arbitrariedade do potencial padrão de hidrogênio e assim, contribuir para fundamentar um entendimento físico dos aspectos energéticos envolvidos nos processos eletroquímicos.

7.4.4 ATIVIDADES

Atividade 1.

Tendo em vista a superficialidade com que se aborda o potencial padrão de Hidrogênio nos livros, esta atividade tem como objetivo instigar os alunos a pensarem sobre a natureza arbitrária do valor dos potenciais de eletrodo.

Inicialmente, o professor deverá fornecer duas tabelas aos alunos. A tabela 1 irá se referir aos valores de diferença de potencial (d.d.p) obtidos, tendo como base o potencial padrão de Hidrogênio (d.d.p=0) e a tabela 2 serão os valores obtidos tomando-se como base o eletrodo de Cobre como padrão (d.d.p=0). Posteriormente haverá a construção de uma pilha composta por Cobre e Zinco para que os alunos possam medir através do voltímetro a diferença de potencial da pilha. O professor poderá inserir uma lâmpada entre os dois eletrodos. Em seguida, o aluno deverá fazer o cálculo da d.d.p entre

Cobre e Zinco utilizando a tabela 1. e em seguida Posteriormente, deverá realizar o mesmo cálculo utilizando a tabela 2. O professor deve conduzir a aula de forma que os alunos argumentem sobre os valores obtidos a partir do uso das duas tabelas.

Atividade 2.

Esta atividade tem como objetivo discutir a espontaneidade ou não de alguns processos eletroquímicos. Primeiramente o professor irá montar um aparato semelhante ao da atividade 1, porém o eletrodo de Zinco será substituído pelo de grafite (que ficará imerso na solução contendo íons Zn^{2+}). A solução contendo os íons de Cobre ficará imersa em uma placa de Cobre metálico, com intuito do aluno perceber que não se processa a reação espontânea. Da mesma forma como realizado na atividade anterior, o aluno irá medir através do voltímetro a diferença de potencial do sistema comparando novamente os valores obtidos com os dados das tabelas para posterior discussão. Este momento da atividade será oportuno para que o professor trabalhe a diferença entre pilha e célula eletrolítica, bem como, a caracterização conceitual de cada parte de ambos os sistemas. Ademais, o professor deverá pedir os alunos que justifiquem o motivo do voltímetro não estar registrando nenhum valor e relaciona-los com os cálculos obtidos com o uso das duas tabelas. Para iniciar uma discussão mais palpável sobre a espontaneidade o professor deverá explorar a reação que se processou na pilha da atividade 1 de modo comparativo ao sistema desenvolvido nessa atividade.

Atividade 3.

A atividade se fundamenta basicamente em instigar os alunos a estabelecerem relações entre a diferença de potencial e a energia liberada em uma pilha. Cada grupo receberá em sua mesa uma resistência feita de fio enrolado que deverá ser conectada a uma bateria de 9v. Em seguida, a resistência será colocada em um béquer de 50ml contendo água e um termômetro. Após 15 minutos, será solicitado que os alunos anotem o valor de uma possível variação de temperatura. O procedimento será realizado novamente porém com uma pilha de 1,5v. O professor deve expor as

discussões em torno das diferentes temperaturas anotadas após decorrido os 15 minutos. Essa primeira abordagem se refere à relação qualitativa de proporcionalidade entre a energia produzida (evidenciada pelo aumento da temperatura) com a diferença de potencial das respectivas pilhas. Após feita essa relação, será trabalhado uma aproximação qualitativa da relação entre a diferença de potencial de cada pilha com a energia produzida. Nessa parte o professor deve recorrer a equação $Q=m.c.\Delta t$, assim os alunos poderão mensurar aproximadamente o calor fornecido para se elevar a temperatura da água no bquer e relacioná-los com o valor da diferença de potencial da pilha. Em um terceiro momento dessa atividade o professor pode aproximar cada vez mais a relação da diferença de potencial de uma pilha com a energia livre de Gibbs, como expresso na equação (31). Para isso os alunos deverão associar baterias de 9V em paralelo de modo que se obtenha valores de d.d.p como mostrados na primeira coluna da tabela a seguir:

d.d.p	Tempo	Δt	Q	(Q/d.d.p)
9v	5min			
18v	5min			
27v	5min			
36v	5min			

Caso ocorra dificuldades em associar as baterias o professor deve intervir e indicar as associações corretas em paralelo, explicando também que quando configuradas dessa forma as baterias operam com d.d.p equivalentes a soma das d.d.p de cada bateria na associação. Posteriormente o procedimento será idêntico ao realizado nos dois primeiros momentos dessa atividade. No entanto os alunos deverão agora efetuar o cálculo da razão entre o calor envolvido em cada processo com as respectivas diferenças de potencial. Espera-se obter valores iguais para cada razão calculada. Pois como o tempo foi fixado, o valor da energia liberada em cada associação de baterias será proporcional a tensão equivalente obtida. Parte dessa energia liberada (energia livre) será responsável pelo aquecimento da água refletindo em valores de Q também proporcionais aos valores de cada d.d.p. Em outras palavras, o valor da constante ($Q/d.d.p$) é proporcional aos termo $-n.F$ da equação (31). Vale

frisar que nem toda energia liberada pelas associações das baterias será usada para aquecer água, por isso não podemos igualar a equação (31) com a equação $Q=m.c.\Delta t$. Essa atividade pode contribuir para que os alunos percebam a relação quantitativa entre a energia livre de Gibbs de cada bateria em função de sua d.d.p, multiplicada por uma constante nesse caso $-n.F$, (o sinal negativo faz referência a liberação de energia). Dessa forma o professor poderá apresentar ao aluno a equação (31) de uma maneira mais contextualizada.

Atividade 4.

Esta atividade possui objetivo de fundamentar através da termodinâmica os aspectos energéticos envolvidos na espontaneidade dos processos.

O experimento consiste de dois sistemas compostos por água, cloreto de sódio e fenolftaleína. Sendo que o primeiro sistema será submetido a aquecimento com auxílio de uma vela ou bico de Bunsen e o segundo será utilizado uma bateria como fonte de energia. Um aspecto para se iniciar a discussão da atividade é a necessidade de se fornecer energia para que um dos processos ocorra. Assim o professor poderá discutir sobre processos eletroquímicos que não ocorrem espontaneamente. Posteriormente a atividade deverá ser conduzida de maneira que os alunos fiquem instigados a pensarem no motivo da mudança de cor do segundo sistema, com a bateria e a razão pela qual o mesmo não ocorreu no primeiro sistema.

Esse momento é muito oportuno para o professor traçar uma analogia entre os sistemas e o organismo humano, podendo introduzir se achar conveniente a definição de reações acopladas. Em nosso organismo as reações químicas como, por exemplo, a decomposição da glicose para gerar energia, ocorre de forma a se aproveitar o máximo da energia livre liberada nessas reações. Somente a decomposição da glicose é dividida em três etapas, a glicólise, o ciclo de Krebs e a fosforização oxidativa. Se a oxidação da glicose ocorresse de forma direta em nosso organismo a maior parte da energia livre envolvida nessa reação provavelmente não seria aproveitada para realização de trabalho, como por exemplo o trabalho necessário para realizar as contrações musculares necessárias para efetuar nossos movimentos básicos. Com o acoplamento das diversas reações nesses três processos bioquímicos citados anteriormente, o organismo “direciona” o fluxo de energia

Excluído: e

Excluído:

produzido em uma reação (a oxidação da glicose em água e gás carbônico) para se processar outros processos que não são espontâneos e que necessitam dessa energia para se realizar, como no nosso corpo as próprias reações envolvidas para se processar a contração muscular. Guardadas as devidas proporções, o que ocorre no sistema dois é semelhante ao “direcionamento” do fluxo de energia no nosso organismo para maior aproveitamento da mesma. No sistema dois, a maior parte da energia livre produzida pela pilha é usada para se processar outro processo eletroquímico que não é espontâneo. No sistema um a fonte de energia (queima da parafina da vela) é bem dispersiva sendo transformada praticamente toda em calor. De forma análoga seria como se a glicose fosse oxidada diretamente no nosso corpo, o que ocorreria seria uma elevação de nossa temperatura corporal levando à desnaturação de proteínas, desestabilizando todo organismo podendo causar até morte. Dessa forma, no sistema 2, podemos dizer que houve um acoplamento entre a reação ocorrida na pilha com a reação ocorrida no béquer, pois a energia foi liberada de forma direcionada. Diferentemente no sistema 1 não ocorreu um acoplamento entre a reação de combustão da parafina com a possível reação no béquer. Vale lembrar nessa parte os conceitos de calor e trabalho definidos na seção 1.1 desse trabalho, já que na reação da pilha a energia é liberada em forma de trabalho e na queima da parafina em forma de calor. Abaixo seguem algumas questões sugeridas, que podem ajudar o professor a efetuar um direcionamento de caráter investigativo sobre os processos observados.

Excluído: processarem

Excluído: Já

Excluído: n

Excluído: ss

Excluído: um

Quais mudanças vocês perceberam em ambos os sistemas após os procedimentos?

As possíveis mudanças observadas podem ser evidência de uma reação química? Justifique

Caso tenham observado alguma mudança em um dos dois sistemas, vocês acham que essas mudanças ocorreriam se não houve a vela em combustão no sistema 1 e a pilha ligada ao sistema 2?

Qual a necessidade e o papel da vela em combustão no sistema 1 e a pilha ligada ao sistema 2?

As possíveis modificações nos dois sistemas seriam observadas se a vela e a pilha fossem trocadas por uma vela menor e uma pilha de menor d.d.p respectivamente?

Excluído: s

Excluído: s

Qual os possíveis produtos formados em cada sistema.

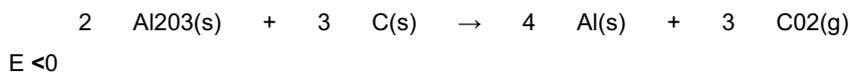
Atividade 5.

Esta última atividade tem como objetivo relacionar os aspectos conceituais de eletroquímica com o contexto social e ambiental. Instigando os alunos a aplicarem seus conhecimentos de forma crítica para tomada de atitudes e posicionamento diante de questões sociais e ambientais. O problema central é a questão da importância da reciclagem do alumínio. As questões propostas estão relacionadas com a interpretação crítica do texto abaixo e da capacidade do aluno em transpor o conhecimento do âmbito conceitual para situações reais. As questões exploram verificar se o aluno consegue cruzar informações obtidas do texto como a alta demanda energética para produção de alumínio com a não espontaneidade da reação para obtenção do mesmo. Além de explorar o caráter crítico do aluno sobre os motivos da utilização da reciclagem do metal em detrimento à sua extração do seu mineral. Para verificar essa alta demanda de energia pela equação mostrada de eletrólise é necessário que o aluno saiba utilizar as relações entre energia livre e d.d.p como efetuado na atividade 4, utilizando também as variáveis da equação (9) para o caso específico da obtenção do alumínio metálico.

O Alumínio é um dos metais mais utilizados pelo homem, sendo utilizado em cabos, embalagens e utensílios domésticos. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de bauxita (principal mineral de alumínio), detentor da terceira maior reserva mineral mundial, no entanto só ocupa o sétimo lugar na produção mundial do alumínio metálico. Situação que vem se agravando devido às questões relacionadas ao custo de energia que afeta a competitividade global de nossa indústria. Um segmento ou estágios de produção de alumínio que tem crescido no Brasil é a reciclagem, além de gerar postos de trabalho, proporcionar reaproveitamento de recursos a reciclagem do alumínio tem um impacto positivo ambientalmente, reduzindo o consumo de energia e recursos naturais não renováveis. (Texto adaptado de “ A sustentabilidade da indústria Brasileira do alumínio” Encontro da indústria para

sustentabilidade, disponível em <http://www.abal.org.br/downloads/abal-rio20.pdf>, acessado em 05-06-2014).

A bauxita é basicamente composta por $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{S})$, o alumínio metálico (usado comercialmente) é extraído do óxido de alumínio por um processo eletroquímico descrito pela equação abaixo:



Com base na eletrolise do dióxido do alumínio, Como vocês relacionariam o fato do Brasil estar ranqueado mundialmente somente na sétima posição da produção de alumínio, possuindo ao mesmo tempo a terceira maior reserva mundial de Bauxita?

Excluído: e

Excluído: C

O que pode se esperar sobre a magnitude do potencial padrão E da reação de eletrolise representada acima?

Quais impactos ambientais podem ser gerados pela extração do alumínio via $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$?

Como o processo de reciclagem pode minimizar os custos na produção de alumínio e diminuir os impactos ambientais na produção de alumínio?

Quais outros produtos utilizados no dia a dia também podem passar por esse processo de reciclagem?

8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Formatado: Fonte: Negrito

Quando decidimos ser professores assumimos um papel de imensa responsabilidade diante da educação e da sociedade, por fomentarmos que os alunos desenvolvam novas perspectivas e questionamentos. Podemos contribuir para torná-los mais participativos e preparados para entender os fenômenos que permeiam sua vida. Portanto julgamos que o professor deve estar sempre se atualizando e pensando em novas formas de ensinar.

Julgamos que a proposta desse trabalho possa ser aplicada em sala de aula de forma a instigar uma maior participação dos alunos, promovendo uma relação de ensino aprendizagem fundada na maior interação entre professor e aluno. A estrutura das atividades propostas foi pensada de modo que se leve em consideração as ideias prévias dos alunos, de forma que o ensino seja realizado processualmente. Quando trabalhamos com os aspectos energéticos envolvidos da forma como apresentada nesse trabalho, notamos um

favorecimento em se trabalhar os âmbitos representacionais e fenomenológicos, explorando a capacidade de abstração dos alunos. As propostas de atividades investigativas bem como a representação por modelos também exercitam a capacidade do aluno em transitar entre os níveis de representação da química. Além disso, os temas fundamentados nos processos energéticos podem contribuir também para o estabelecimento de interdisciplinaridade, como em uma das atividades na seção de eletroquímica, em que se sugere que o professor trabalhe a espontaneidade das reações no metabolismo. Podendo também favorecer o debate em relação a questões ambientais e sociais, influenciando no caráter reflexivo e crítico do aluno.

Destacamos também que aparentemente a aplicação dos temas como propostos aqui demandam um tempo bem maior e relação a perspectiva tradicional de ensino, no entanto esse não devemos tomar esse agravante como pretexto. É necessário que o professor leve em consideração as particularidades e características, de forma que possa dividir bem o tempo das aulas e atividades de acordo com a demanda dos alunos.

Outros temas podem ser desenvolvidos de forma semelhante ao apresentado nesse trabalho, no entanto é necessário que ocorra um estudo mais aprofundado sobre cada tema em específico e também em relação às estratégias didáticas utilizadas.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINS, P. PAULA, J. de. *Físico-Química*. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BENVENUTTI, E. V. *Química inorgânica: átomos, moléculas, líquidos e sólidos*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2006.

CARVALHO, A. M. P. *O ensino de ciências e a proposição de sequência de ensino investigativo*. In. Ensino de ciências por investigação. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CASTRO, L. P. de S. *Energia: levantamento das concepções alternativas*. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas

Formatado: Fonte: Negrito

Formatado: Recuo: Primeira linha: 1,25 cm

Excluído: eter

Excluído: ulio

Excluído: dilson

Excluído: almir

apresentado ao Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2012.

KOTZ, J. C. *Química Geral e reações químicas*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

Excluído: John

LEHNINGER, A. L. *Princípios de Bioquímica*. São Paulo: Sarvier, 1984.

Excluído: Albert

Excluído: ester

Excluído: ¶

Excluído: ¶

MENDONÇA, P. C. C. 'Ligando' as ideias dos alunos a ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem. Dissertação de mestrado apresentado a Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. JUSTI, Rosária. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentada em modelagem – Parte I. Educação Química, México, 2009, p. 282-292.

MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. JUSTI, Rosária. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentada em modelagem – Parte II. Educação Química, México, 2009, p. 373-381.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, mudança, conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?. Investigações em Ensino de Ciências. 1996, p. 20-39.

MOZZER, N. B.; QUEIROZ, A. S.; JUSTI R. Proposta de ensino para introdução ao tema interações intermoleculares via modelagem. Apresentado no VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências (ENPEC), Florianópolis, 2007.

SILVA, Carlos Neco da. *A energia e suas implicações no ensino aprendizagem da química*. Tese de doutorado apresentado ao Centro de Ciências Exatas e da Terra programa de pós-graduação em química Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

▼ SOUZA, Vinicius C. de A. S. *Os desafios da energia no contexto da termodinâmica: modelando uma nova ideia para aquecer o ensino de química*. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

▼ VASCONCELOS, Carla. *Teorias de aprendizagem e o ensino /aprendizagem das ciências: da introdução à aprendizagem*. Publicado na revista *Psicologia Escolar e Educacional*, v.7, 2003, p. 11-19.

▼

▼

▼

▼

▼

▼

Excluído: Teses e Dissertações

† CASTRO, Leonardo Pires de Santana. *Energia: levantamento das concepções alternativas*. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas apresentado ao Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2012. †

† CATÃO

Excluído: .

Excluído: †

Excluído: MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. *'Ligando' as ideias dos alunos a ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem*. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. †

Excluído: SILVA, Carlos Neco da. *A energia e suas implicações no ensino aprendizagem da química*. Tese de doutorado apresentado ao Centro de Ciências Exatas e da Terra programa de pós-graduação em química Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. †

Excluído: Artigos

Excluído: MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. JUSTI, Rosária. *Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentada em modelagem – Parte I*. Artigo publicado na revista didática de La Química, México, 2009, p. 282-292. †

Excluído: MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. JUSTI, Rosária. *Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentada em modelagem – Parte II*. Artigo publicado na revista didática de La Química, México, 2009, p. 373-381. †

Excluído: MORTIMER, Eduardo Fleury. *Construtivismo, mudança, conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?*. Publicado na revista *Investigações em Ensino de Ciências*. 1996, p. 20-39. †

† MOZZER, N. B.; QUEIROZ, A. S.; JUSTI R. *Proposta de ensino para introdução ao tema interações intermoleculares via modelagem*. Apresentado no VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências (ENPEC), Florianópolis, 2007. †

† VASCONCELOS, Carla. *Teorias de aprendizagem e o ensino /aprendizagem das ciências: da introdução à aprendizagem*. Publicado na revista *Psicologia Escolar e Educacional*, v.7, 2003, p. 11-19.

▪

▲