

'GUSTAVO HENRIQUE LEMOS DE SOUZA

**CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS
TERMODINÂMICAS**

CARUARU

2017

GUSTAVO HENRIQUE LEMOS DE SOUZA

**CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS
TERMODINÂMICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Química-Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Angeiras
Batista da Silva

CARUARU

2017

Catálogo na fonte:

Bibliotecária – Marcela Porfírio – CRB/4-1878

S729c Souza, Gustavo Henrique Lemos de.
Categorização de erros em atividades avaliativas sobre as leis termodinâmicas. /
Gustavo Henrique Lemos de Souza. – 2017.
65f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Juliana Angeiras Batista da Silva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
Pernambuco, CAA, Química, 2017.
Inclui Referências.

1. Química – Estudo e ensino. 2. Termodinâmica. 3. Físico-química – Estudo e
ensino. I. Silva, Juliana Angeiras Batista da (Orientadora). II. Título.

371.12 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2017-101)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**Centro Acadêmico do Agreste
Núcleo de Formação Docente
Curso de Química - Licenciatura**



“Categorização de erros em atividades avaliativas sobre as leis termodinâmicas”

GUSTAVO HENRIQUE LEMOS DE SOUZA

Monografia submetida ao Corpo Docente do Curso de Química – Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco e **aprovada** em 05 de julho de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Juliana Angeiras Batista da Silva
Orientadora

Prof. Dra. Ana Paula de Souza de Freitas
Examinador 1

Prof. Dr. José Ayron Lira dos Anjos
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado, por terem se dedicado tanto na minha criação, por terem enfrentado todas as dificuldades da vida e por terem proporcionado o ambiente necessário para que eu pudesse estudar.

À minha noiva por toda a paciência tida durante esses anos de universidade e por compreender minha vida universitária, além de auxiliar-me nos muitos momentos em que precisei de sua ajuda, inclusive na execução deste trabalho.

À UFPE por proporcionar o ambiente necessário para que eu pudesse me desenvolver e me tornar uma pessoa insanamente mais madura e preparada para o contexto de vida ao qual estou inserido. *Virtus Impavida!*

À todos os professores que conduziram a relação docente-discente além da mera transmissão de conhecimento e, por isso, contribuíram de forma imensurável para a pessoa que me tornei.

À todos os amigos e pessoas que tornaram a experiência de estar na universidade tão agradável quanto ela foi. Guardarei no coração as lembranças!

Em conclusão, agradeço a Profa. Dra. Juliana Angeiras Batista da Silva, que além de aceitar ser minha orientadora, me ajudando no desenvolvimento deste trabalho, ainda me proporcionou a experiência da participação do desenvolvimento de pesquisas científicas, gerando em mim o desafio de entender o mundo a partir do olhar científico. Te agradeço por toda a disponibilidade, pela paciência, por todo carinho, pelas dicas e conselhos que levarei para o resto da vida. Obrigado por tudo!

RESUMO

Este trabalho teve por finalidade analisar e categorizar os erros encontrados em atividades avaliativas sobre as leis termodinâmicas, no contexto da disciplina de físico-química, considerando eles parte integrante do processo de ensino-aprendizagem e fundamental para a construção ou reconstrução do conhecimento. Há muito tempo se discute os principais motivos que levam ao não entendimento dos conceitos químicos de maneira eficaz. Nesse sentido, como o erro ainda é tido como algo punitivo e que gera a desmotivação no indivíduo, conseguir traçar metodologias que enfrentem e levem em consideração os equívocos mais comuns, mostra a evidente necessidade para o atual momento pedagógico da ciência Química. Assim, foi realizada uma pesquisa qualitativa de caráter documental tendo como objeto de estudo as provas dos alunos matriculados na disciplina de físico-química I do curso de Química/Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco nos semestres 2016.1 e 2016.2. Para análise dos resultados, foi feita a categorização dos erros a partir de uma adaptação da MADE (Modelo de Análise Didática dos Erros). Os resultados obtidos mostram que os discentes tem maior dificuldade na categoria de organização da informação, fato que evidencia o maior grau de dificuldade ao se analisar, sintetizar, ordenar e conectar os dados que os discentes possuem para recodificá-los na informação pertinente ao questionamento realizado.

Palavras-chave: Erro. MADE. Leis Termodinâmicas.

ABSTRACT

This work aimed to analyze and categorize the errors found in evaluative activities on thermodynamic laws, in the context of the Physical Chemistry discipline, considering them an integral part of the process and fundamental for the construction or reconstruction of knowledge. The main reasons for not understanding chemical concepts effectively have been discussed for a long time. In this sense, since error is still perceived as something punitive and that generates demotivation in the individual, to be able to draw methodologies that confront and take into account the most common misconceptions, shows the evident need for the current pedagogical moment of chemical science. Thus, a qualitative documentary research was carried out with the purpose of studying the evidence of the students who attended the course Physical Chemistry I of the Chemistry graduation course of the Agreste Academic Center of the Federal University of Pernambuco in the 2016.1 and 2016.2 semesters. For the analysis of the results, the categorization of the errors was made based on an adaptation of the Error Didactic Analysis Model (EDAM). The results show that students have greater difficulty in the category of information organization, a fact that shows the greatest degree of difficulty in analyzing, synthesizing, ordering and connecting the data that the students have to recode them in the information pertinent to the questioning carried out.

Keywords: Error. MADE. Thermodynamics Laws

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Categorias de erro na análise MADE	21
Figura 2 - Gráfico da entropia <i>versus</i> temperatura para uma substância hipotética, cuja observação foi realizada entre $T = 0$ e $T > T_{\text{ebulição}}$ do sistema	33
Figura 3 - Gráfico da quantidade de erros, divididos por categoria (Entrada, organização e execução), que ocorrem considerando-se a avaliação como um todo	37
Figura 4 - Divisão nas subcategorias análise e síntese, ordenação e conexão e interferência dos erros da categoria organização da informação classificados nesse trabalho	46
Figura 5 - Gráfico da distribuição dos erros analisados entre as subcategorias da categoria de erros de execução	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de trabalho para variados sistemas em termos da variação de diferentes variáveis extensivas.....	27
Quadro 2 - Exemplo de resposta errada a questão 4.....	40
Quadro 3 - Exemplo de resposta errada ao item “a” da questão 1.....	43
Quadro 4 - Exemplo de resposta errada da questão 3.....	44
Quadro 5 - Resposta errada ao item “a” da questão 1.....	47
Quadro 6 - Resposta errada ao item “a” da questão 1.....	48
Quadro 7 - Exemplo de resposta errada obtida para o item “a” da questão 1.....	49
Quadro 8 - Resposta errada ao item “b” da questão 2.....	51
Quadro 9 - Resposta errada a questão 3.....	52
Quadro 10 - Resposta errada ao item “a” da questão 2.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 ENSINO DE FÍSICO-QUÍMICA	14
3.2 DIFICULDADES COM OS CÁLCULOS	17
3.3 COMPREENSÃO DO ERRO NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	19
3.4 MODELO DE ANÁLISE DIDÁTICA DOS ERROS (MADE)	21
3.4.1 Categoria I: Erros de entrada ou desequilíbrio da informação	22
3.4.2 Categoria II: Erros de organização da informação	25
3.4.3 Categoria III: Erros de execução	26
3.5 AS LEIS TERMODINÂMICAS	27
3.5.1. Conceitos Básicos	27
3.5.2 A Primeira Lei	29
3.5.3 A Segunda Lei	31
3.5.4 Entropia	31
3.5.5 A Terceira Lei	32
4. METODOLOGIA	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 ANÁLISE GERAL DOS ERROS COMETIDOS PELOS DISCENTES.....	37
5.2 ANÁLISE DOS ERROS COMETIDOS PELOS DISCENTES EM CADA CATEGORIA	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERENCIAS	59
ANEXO A – PROVA DO SEMESTRE 2016.1	62
ANEXO B - PROVA DO SEMESTRE 2016.2	64

1. INTRODUÇÃO

O ensino tão precarizado no Brasil pelas ações históricas de governantes que aparentam visar como propósito a má qualidade desse serviço, criou barreiras e paradigmas que persistem até os dias atuais. Das consequências culturais, que assolam o senso comum e são resquícios dessas medidas, à convicção de que estudar é ruim por parte daqueles que nunca estudaram de fato, apenas frequentaram a escola, o cenário atual do Ensino no Brasil ecoa como um retrato da nossa situação atual enquanto sociedade.

Mesmo os que tentam estudar, rompendo diversas barreiras econômicas e sociais, esbarram nas dificuldades associadas à precariedade na execução dos serviços oferecidos, por parte dos governantes, da escola e dos professores. Com isso, diversas lacunas que não são supridas ao longo do processo de aprendizagem, tais como interpretação e produção de textos, resolução de problemas utilizando raciocínio lógico, cálculos básicos de matemática, aprendizagem de conceitos científicos etc., dificultam a aprendizagem de novos saberes.

Dessa forma, quando os discentes ingressam na universidade e iniciam cursando disciplinas de química, física e matemática, oferecidas nos cursos de graduação das áreas de exatas, tendem a enfrentar dificuldades ainda maiores, visto que os assuntos se tornam cada vez mais complexos no momento em que se mergulha no conteúdo e as dificuldades advindas da base matemática fraca impedem o devido desenvolvimento do entendimento dos conceitos (BRUCE, BLIEM E PAPANIKOLAS, 2008). Exemplo disso está na manipulação de funções logarítmicas, exponenciais, trigonométricas, equações, inequações etc., pois para se compreender muitos problemas, o aluno, que apresenta dificuldade quanto a esses aspectos básicos, não consegue progredir nas abordagens seguintes. Assim, como salienta Pietrocola (2002), a falta de uma base matemática sólida é um dos aspectos que contribuem negativamente para a construção dos conhecimentos que necessitem de certos conceitos fundamentais dessa matéria por parte dos alunos.

Nesse contexto, os problemas observados com o aprendizado de temas relacionados às ciências no ensino superior, se não devidamente sanados durante o curso, tendem a se agravar, como por exemplo, levando à retenção, abandono dos cursos, desmotivação, formação de profissionais de baixa qualidade etc. Nos cursos de química, em particular, esses problemas se tornam mais evidentes nas disciplinas

que envolvem cálculos, tais como as disciplinas de matemática (cálculo diferencial e integral, geometria analítica etc.), física, e, dentre as disciplinas de química, de forma mais pronunciada, nas disciplinas de Físico-Química.

Um exemplo típico na disciplina de físico-química pode ser encontrado no aprendizado das leis termodinâmicas, que, por possuir conceitos muito abstratos, são encontradas dificuldades adicionais no ensino do conteúdo por conta dos cálculos envolvidos que tornam a barreira para o aprendizado ainda maior (CARSON e WATSON, 2002). Entretanto, tal assunto é de extrema importância, visto que, além de ser, geralmente, o contato inicial dos alunos com a físico-química, o tema é de ampla aplicação em diversas áreas da ciência, tais como ciência de materiais (planejamento racional de novos materiais), ciências energéticas (combustíveis), astronomia, engenharia (por exemplo, nos processos industriais, nos quais transformam matéria-prima em produtos acabados usando máquinas e energia), farmácia, medicina etc.

A dificuldade de assimilar e compreender os conceitos e cálculos das leis termodinâmicas por parte dos discentes do curso de química da UFPE-CAA é evidente à medida que o professor se aprofunda no conteúdo. Com isso, na maioria das vezes, é atribuído à essas dificuldades à realização de cálculos, possivelmente pela formação deficiente no ensino básico ou pela falta de interesse e dificuldade no aprendizado de disciplinas de cálculo diferencial e integral, ou mesmo associada à interpretação de textos. Além disso, os conhecimentos já adquiridos pelos discentes em outras épocas, que deveriam servir de alicerce para a construção dos novos, muitas vezes não são utilizados para que sejam feitas as conexões necessárias entre os saberes para a concepção ideal.

Paralelamente, e adicionalmente, tem-se o erro como algo recorrente e com diversas origens, sendo relevantes no processo de ensino e aprendizagem. Nesse contexto, diferentes visões que buscaram explicações para seu acontecimento e fórmulas para combatê-los, por muitos anos, foram a tônica da abordagem perante esse fenômeno pedagógico (CURY, 2003). Contudo, essa visão punitiva que dá um caráter muito negativo ao erro, tende a contribuir com o fracasso escolar, desestimulando o indivíduo e pouco contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento.

Contudo, análises mais apuradas e pontos de vista que consideram o erro um fenômeno de perspectiva relativa, proporcionam um olhar minucioso da grande

quantidade de detalhes que podem ser observados para entender qual(ais) sua(s) origem(ns) e construir abordagens metodológicas que permitam usá-lo como parte do processo de ensino e aprendizagem (DE LA TORRE, 2007). Além disso, os erros podem ser usados de maneiras provocativas para transformarem o saber numa reelaboração de significados na aprendizagem, diminuindo, assim, os aspectos de desânimo que tanto distanciam os estudantes do aprendizado mais eficiente (FREITAS, 2016).

Tendo em vista o que foi exposto acima, esse trabalho propôs uma investigação das dificuldades apresentadas pelos alunos do curso de Química-Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco ao se depararem com questões e problemas que envolvem o conteúdo das Leis da Termodinâmica, baseada nos erros observados em provas realizadas nos semestres 2016.1 e 2016.2 na disciplina de Físico-Química 1.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e categorizar os erros encontrados em atividades avaliativas sobre as leis termodinâmicas, no contexto da disciplina de físico-química.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as dificuldades dos alunos associadas à compreensão e resolução de problemas relacionados às leis termodinâmicas;
- Refletir sobre as categorias do MADE em relação aos saberes pertinentes ao aprendizado de físico-química.
- Analisar sobre as classes de erros mais frequentes em atividades avaliativas sobre as leis termodinâmicas, no contexto da disciplina de físico-química.
- Propor metodologia(s) que possam ajudar a diminuir o erro e auxiliar a construção do conhecimento de maneira mais eficiente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ENSINO DE FÍSICO-QUÍMICA

Com o passar dos séculos, a humanidade conseguiu aumentar a sua qualidade de vida com o desenvolvimento da ciência, contudo as tentativas de tornar o ensino de ciências acessível aos cidadãos no século XX se mostraram insuficientes. Esse fato foi observado devido à incapacidade de fazer com que o conhecimento científico pudesse ser ensinado de maneira esclarecedora e contextualizado, não tanto abstrato. Dessa forma, novas maneiras de relacionar os saberes científicos para concretizar o entendimento da ciência estão no centro dos debates nos dias atuais (LEITE e ESTEVES, 2005).

Desse modo, inúmeras pesquisas sobre o real entendimento dos estudantes sobre os conceitos químicos foram e estão sendo realizadas pelo mundo. Esse fato é resultante das verdadeiras batalhas travadas entre os discentes e a aprendizagem dos conceitos químicos, desde os fundamentais até os mais complexos – valendo salientar que ambos estão conectados, visto que a construção dos conceitos mais complexos dependerá fortemente do entendimento dos conceitos básicos. Em particular, os conteúdos relacionados aos conceitos termodinâmicos se encaixam nessa perspectiva estrutural, reconhecida como difícil pelos alunos (THOMAZ e SCHWENZ, 1998).

De acordo com Carson e Watson (2002, p. 1, tradução nossa):

Há um grande número de estudos que explora o entendimento de diferentes tópicos de ciência em diferentes níveis dos sistemas de educação e que mostram desencontros entre o conceito cientificamente aceito e as concepções dos estudantes. [...] Quando os estudantes constroem seus próprios significados eles são influenciados pelos conceitos já existentes neles.

O trecho citado acima sugere que ao construir um conceito qualquer é necessário considerar a interação entre o que já existe na concepção do discente e o que se está apresentando a ele. Em geral, esses diferentes estímulos - interior e exterior – tendem a causar uma modificação na maneira como o indivíduo interpreta cada temática criando novos entendimentos. Do mesmo modo, como fator destaque para os problemas de entendimento dos alunos, encontra-se o fato de haver certo desencontro entre os conhecimentos já construídos por eles e os que são

apresentados pelo professor. Além disso, a falta de conceitos básicos torna a tarefa de construir o novo conhecimento ainda mais difícil. Ainda, existe um fator adicional que está relacionado com o fato de que as informações guardadas na memória do discente de maneira fragmentada significam, em muitos casos, outra barreira para o entendimento real do conceito científico abordado (CARSON e WATSON, 2002).

Outrossim, a dificuldade advinda na compreensão da físico-química pelos discentes também se encontra no alto grau de dissociação entre a teoria e o cotidiano do aluno. Dessa maneira, o problema encontrado na formulação de ideias sólidas sobre os conceitos precisa ser tratado com metodologias variadas que considerem o contexto escolar como um todo (MACÊDO, 2013).

Considerando o contexto desta discussão, o fato de ser necessário certo entendimento e uso correlacionado de cálculos matemáticos um pouco mais complexos traz mais dificuldade para os discentes. Segundo Bruce, Bliem e Papanikolas (2008, p. 1, tradução nossa):

[...] A preocupação que eles têm não é tanto com a parte química, mas sim com a matemática. Para vários estudantes, no curso de físico-química, é a primeira vez que eles precisam verdadeiramente aplicar conceitos matemáticos avançados para resolver problemas. Os professores até podem facilitar essa adaptação com exercícios que demandem habilidades com pensamentos críticos, mas esse tipo de atividade requer muito tempo e talento.

Dessa forma, por se tratar de um conteúdo considerado difícil, os estudantes tendem a ter dificuldades durante todo o curso – mesmo com muito tempo de estudo sobre o tema. Esse fato se reflete no decorrer da carreira profissional do indivíduo, já que é algo que provavelmente persistirá em ocorrer. Assim, nota-se o quanto a falta de conhecimentos fundamentais para gerar a base dos novos e mais complexos, interfere no desempenho do indivíduo (THOMAZ e SCHWENZ, 1998).

Contudo, as dificuldades na termodinâmica em vezes não são postas como mais difíceis do que outros ramos da química. Segundo Belt et al. (2005), muitos pesquisadores não têm convicção de que os conteúdos da termodinâmica estão num nível de dificuldade diferente dos demais. Com possível surpresa, o autor indica que possam existir outros fatores mais importantes que as habilidades matemáticas – mesmo que para o tema estas habilidades sejam requisitadas de maneira elevada. O fator ressaltado pode estar ligado à motivação do indivíduo, já que na literatura

professores tentaram por inúmeras metodologias enfrentar o problema, com pouco sucesso.

Em particular, os conceitos termodinâmicos são muito abstratos dificultando qualquer tipo de associação que os discentes possam fazer com algo do cotidiano deles. Segundo Dixon e Emery (1965 apud CARSON e WATSON, 2002, tradução nossa), que categorizaram sete níveis de abstração, em que quanto maior o número do nível mais o conceito é abstrato: “Nesta categorização, entropia se enquadrou no quarto nível e a energia livre de Gibbs no sexto”. Assim, a dificuldade de construir novos entendimentos se torna árdua devida a relativamente alta requisição cognitiva para os conteúdos das leis termodinâmicas, que tendem a manipular, simultaneamente, duas ou mais variáveis por definição ou problema. Segundo Rozier e Viennont (1991 apud CARSON e WATSON, 2002, tradução nossa, p. 5), “[...]os estudantes tratam os sistemas em passos sequenciais e não como efeito de troca de algumas variáveis ao mesmo tempo”.

Para tentar enfrentar essas dificuldades, muitas metodologias têm sido desenvolvidas ao longo dos anos. O uso de *softwares* é proposto por Oliveira et al. (2013, p. 1):

A utilização de softwares surge como recurso promissor. Esses programas podem incluir animações, visualizações e interativas experiências laboratoriais. As simulações aliadas ao ensino podem ser eficazes no desenvolvimento da interpretação e compreensão dos conteúdos, bem como na promoção de objetivos mais sofisticados de aprendizagem, tais como investigação e descoberta, construção de modelos e conceitos.

Além dessa estratégia, a experimentação também é uma alternativa para o ensino de físico-química, por seu apelo visual e que instiga os alunos a observarem o que está acontecendo e refletirem para tentar entender o que ocorre. Segundo Giordan (1999), ao falarem sobre o que as aulas experimentais acrescentava na sua compreensão, os alunos relataram que o envolvimento lúdico e dos sentidos trazia motivação extra para as aulas, assim como os professores percebem maior interação entre os alunos através das aulas experimentais.

Outra perspectiva metodológica é o uso de analogias, como destacam Raviolo e Garriz: “Em química, como em outras ciências e na vida cotidiana, são empregados analogias, metáforas ou modelos para conseguir explicar um fenômeno que não é observável” (p. 1, 2008). Dessa forma, o uso de comparação com coisas

já conhecidas pode levar a obtenção de mais significado do conhecimento obtido pelo discente. Entretanto, muito cuidado deve ser tomado com a utilização de outras palavras, e mesmo com a realização de comparações. Por exemplo, Raviolo e Garriz(2008), ressaltam que, na tentativa de visualização dos conceitos abstratos da química, os docentes adotam estratégias de analogias para uma associação dos conceitos com algo concreto e observável pelos alunos. Assim, as analogias sempre partem de dois domínios, um que leva em consideração o que o aluno já tem conhecimento e o outro que possui níveis diferentes de novidade.

Recentemente, foi defendido um Trabalho de Conclusão de Curso por uma estudante desta instituição, que trata dos equívocos relacionados ao processo de ensino e aprendizagem do conceito de entropia em um curso de química de nível superior. Neste trabalho, a autora traz uma revisão bibliográfica na qual pontua diversos problemas ocasionados pelo uso de tais palavras ou comparações, por exemplo, o uso da palavra desordem para definir entropia, e explica que entropia nada tem haver com tal conceito. Os resultados mostraram que muita confusão pode ser gerada na concepção dos estudantes, dificultando o processo de ensino e aprendizagem desse e de outros conceitos e ainda foi fornecida neste trabalho uma alternativa de abordagem para o caso específico de entropia, que foi empregada com sucesso a uma turma da disciplina de Físico-Química (LIMA, 2016).

De maneira mais geral, a utilização da química computacional tem se tornado uma ferramenta interessante na melhoria do processo de ensino e aprendizagem da físico-química. Bruce, Bliem e Papanikolas(2008), propõem o uso do *software* chamado de *Virtual Substance*, que usa simulação de dinâmica molecular para obter algumas propriedades de determinada substância – incluindo suas variadas fases para interpretar seu comportamento intramolecular. Devido à facilidade de aprendizagem e utilização, é possível identificar e relacionar as forças que atuam nos átomos e moléculas, auxiliando no processo de ensino e aprendizagem.

3.2 DIFICULDADES COM OS CÁLCULOS

Desde os tempos Aristotélicos e durante toda a idade média o desenvolvimento de raciocínios lógicos para exercitar e compreender os fenômenos naturais era um passo além da física concreta – sendo uma das características marcantes do pensamento grego. Esses fenômenos eram basicamente absorvidos

pelos sentidos humanos, o que direcionava para conclusões possíveis ao momento, visto que não existiam equipamentos sofisticados para tais observações. Assim, a observação natural sustentava a compreensão a respeito da natureza de maneira metafísica (GIORDAN, 1999). Mais especificamente, Arquimedes (287-212 a.C.) já usava ideias de Cálculo, contudo o Teorema Fundamental do Cálculo só veio a ser reconhecido no fim do século XVII, no momento em que se notou sua relação intrínseca com derivadas e integrais (ÁVILA, 2002).

Quanto à álgebra – relação entre as variáveis e operações realizadas com elas -, segundo Vale (p. 37, 2010), “falhas, no domínio e aprendizagem da álgebra, se deve a falta de experiências de aprendizagem promotoras da construção de significado das regras”. Assim, dificuldades latentes tendem a ser exteriorizadas no momento em que é preciso manipular produtos, potências, somas e suas inversas, cujas deficiências de um não-contato, mau contato ou contato insuficiente na aprendizagem desse conteúdo em níveis mais básicos se tornam mais evidentes. Com isso, a provável maior responsável pelas dificuldades dos discentes ao terem de resolver algum problema que possua incógnitas, relaciona-se ao deficiente conhecimento de aritmética básica.

Por conseguinte, a falta de infraestrutura adequada pode também ter impedido o desenvolvimento do conhecimento de cálculos básicos que precisam ser usados na resolução de problemas. Assim, mesmo após a correta interpretação da questão ou do problema científico ainda existe essa barreira para sua resolução. Muitas propostas tentam fomentar a resolução desse problema de aprendizagem, contudo a estruturação e reflexão desde o início da vida escolar parece ser o essencial (SOUSA, 2005). Além disso, o meio em que está inserido pode fazer com que o indivíduo se comporte e absorva ideias que estão presentes no ambiente. Por exemplo, como a escola é um ambiente que permite o contato de maneira ampla com indivíduos com diferentes comportamentos sociais, é natural que novos alunos sejam influenciados por “verdades” de senso comum a respeito de estudos, especificamente da matemática.

Assim, muito se discute a respeito do que realmente faz com que os discentes tenham dificuldades com cálculos matemáticos. Para Sanchez (2004 apud ALMEIDA, 2006) as dificuldades podem se apresentar de maneiras variadas desde cognitivas à experienciais, de conceitos fundamentais à resolução de problemas, ou da mecânica das operações e à compreensão do significado destas. Além disso, as

crenças populares do ambiente em que o indivíduo está inserido podem criar certa ansiedade ou frustração no discente. Soma-se a isso o fato da complexidade de determinados temas, tais como aqueles envolvidos nos cursos de cálculo diferencial e integral.

Numa visão interdisciplinar, Tsaparlis (2007) diz que, por sua complexidade, as operações matemáticas comprometem o desenvolvimento dos conhecimentos de físico-química, pois ambos se completam, sendo que a matemática é considerada como base para os conceitos termodinâmicos. Dessa forma, nota-se que um bom conhecimento matemático é um pré-requisito para se aprofundar no estudo da termodinâmica.

3.3 COMPREENSÃO DO ERRO NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

No contexto escolar, sucessivos erros tendem a rebaixar o indivíduo por causa da ainda existente cultura punitiva pelo não alcance de um resultado positivo, o que seleciona os alunos dentre os que atingem e os que não atingem o objetivo traçado. Assim, essa estratificação em nada acrescenta ao combate das causas do conhecimento mal construído, todavia tende a aumentar o desinteresse do indivíduo – sendo mais um fator associado ao fracasso escolar (CESTARI, 2013).

A busca pela compreensão do erro no processo de ensino e aprendizagem data por volta do início do século XX, em que cientistas americanos ligados à corrente behaviorista passaram a analisá-lo com maior interesse. Na Europa, no mesmo período, pesquisadores trabalharam o erro baseados em Gestalt ou psicanálise. Por volta da década de 50, alguns métodos de análise de erro começaram a surgir. Um desses métodos requeria que os alunos falassem em voz alta o que estavam respondendo para buscar alguma conexão sobre o processamento de informações. A fase seguinte se caracterizou pela absorção das ideias construtivistas como abordagem ao erro. Nesse momento, o erro deixou de ser observado como algo a ser eliminado e passou a ser visto como parte integrante e necessária do processo de aprendizagem (CURY, 2003).

Segundo De La Torre (2007), o erro pode ser interpretado de maneira relativa. Isso porque tanto pode ser visto como negativo, pois não houve a construção do conhecimento, quanto de maneira positiva já que pode servir de base para uma análise dos motivos que levaram o aluno a não compreender o conteúdo ou conceito

abordado. Assim, uma avaliação de aprendizagem eficiente deveria visar garantir a qualidade do resultado que está sendo buscado, que é a construção do conhecimento. Tendo em vista que o desenvolvimento dos educandos, seja de qual for a idade, consiste num processo de assimilação do conhecimento e da cultura que já foi produzido pela sociedade (LUCKESI, 1998).

Ainda é possível salientar que o erro é inerente a qualquer processo, já que pode ocorrer quando houver procedimento. A maneira de encará-lo é o que realmente define a sua relevância. Muito se discute sobre ele ser uma distorção, inadequação ou impropriedade. Contudo, ao se refletir sobre os fatores que o causam e como eles podem ser úteis para estratégias pedagógicas, vê-se que essa visão negativista tende a ficar no passado da pedagogia (DE LA TORRE, 2007). Isso porque, ao compreender os erros identificados, o professor pode realizar uma análise de erros efetiva, permitindo saber a que natureza ele pertence. Esse fato é de suma importância, visto que os muitos erros cometidos pelos discentes mostram o quanto é necessária uma abordagem diferenciada em relação a eles (SOUSA E SOUSA, 2012).

Nessa perspectiva, propõe-se que o erro tenha quatro direções semânticas: destrutiva, deturpativa, construtiva e criativa. As duas primeiras consideram o erro como o resultado do processo e as últimas o consideram como parte do procedimento. Assim, parte-se de uma visão de falha irreversível para possíveis caminhos didáticos a serem explorados em busca da mais eficiente construção do conhecimento. Dessa forma, pode-se dizer que quando o erro está associado ao resultado, há conotação negativa e quando se passa a considerá-lo como parte integrante do processo, há conotação positiva (DE LA TORRE, 2007).

Ainda que possam ser tratados algumas vezes como sinônimos, erro e ignorância são duas concepções diferentes, como aborda De La Torre (2007, p. 40-41):

Para a filosofia, o erro é um julgamento falso e um estado subjetivo da mente que consiste na ilusão da verdade. O erro, portanto, reside apenas no julgamento. Os conceitos, os dados dos sentidos ou a memória somente são errôneos enquanto elaboramos com eles julgamentos falsos. A diferença entre “erro” e “ignorância” é que esta implica o desconhecimento total da coisa de que se trata, enquanto que aquele a desconhece só em parte. O erro constitui uma ignorância parcial e a ignorância constitui um erro quando é motivo de um ato.

Dessa forma, considerando o erro como algo parcial, pode-se observar que no desenvolvimento da ciência buscou-se uma eliminação de erros pouco a pouco, no qual uma teoria seguinte derrubava a que estava em vigor ou sendo aperfeiçoadas por outras menos “absurdas”. Como exemplo, vê-se a relatividade de Einstein que engloba Newton que englobara Galileu (DE LA TORRE, 2007).

Portanto, ao refletir sobre o contexto, é simples notar que o erro é um fator construtivo que facilita a reflexão em torno das falhas. Sua análise representa o processo que tende a criar novas estratégias pedagógicas para lidar com os atributos cognitivos de cada indivíduo. Assim, constata-se que no ensino e aprendizagem de conteúdos, conceitos ou procedimentos não se deve focar no aprendizado mediante resultados, mas sim pelo que se diz respeito a todo o processo em que está inserido, e o erro deve ser interpretado como parte do processo lógico, psicológico ou mecânico do discente (DE LA TORRE, 2007).

Por conseguinte, em muitos momentos, errar é um requisito para acertar e isso se deve ao fato de que as razões que levaram ao erro serem passos que fundamentam a construção do conhecimento correto. Assim, uma avaliação do erro pode proporcionar o progresso do indivíduo naquele determinado tema, enquanto ignorar ou simplesmente corrigir, atestando se está certo ou errado, tende a criar ciclos onde o discente estará fadado a cometer o mesmo equívoco. Com isso, a percepção ou reflexão sobre o que causou ele promove a construção da aprendizagem além de desenvolver a consciência crítica (VILLAS, 2013).

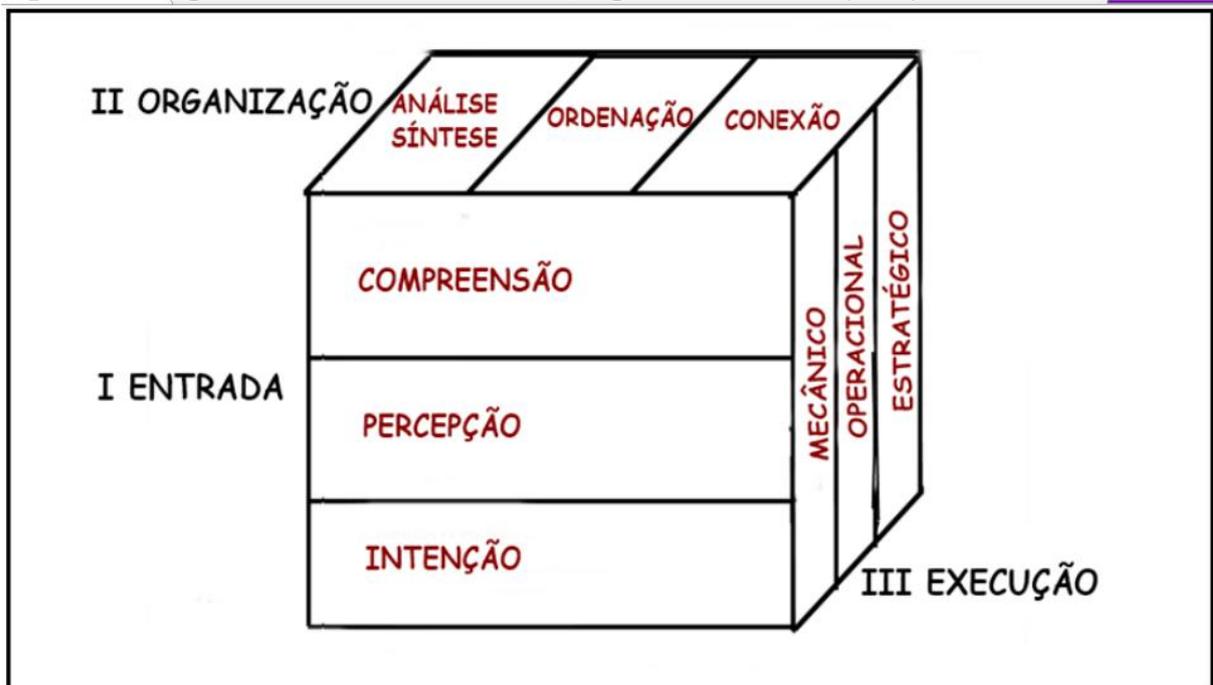
3.4 MODELO DE ANÁLISE DIDÁTICA DOS ERROS (MADE)

Para De La Torre (2007, p. 107), ter noção da categoria do erro encontrado facilita o processo de diagnóstico e de tratamento para saná-lo. Dessa forma, o autor ressalta a importância do papel do professor na identificação das deficiências do raciocínio ou da má formação básica, afirmando que “A esse argumento de evitamento acrescentamos o da utilização sistemática, à maneira de vacina, para impedir que a pessoa caia em erros posteriores”. Adicionalmente, enfatiza que quanto melhor for feito o diagnóstico do erro, maiores são as chances de usá-lo como forma de compreensão dos mecanismos pedagógicos.

Ao categorizar os diversos tipos de erro, De La Torre(2007) propôs um esquema para dimensionar e categorizar o erro (Figura 1). Essa categorização foi

denominada de MADE (Modelo de Análise Didática dos Erros) e explicita de forma sistemática uma maneira de comparar o resultado esperado e o obtido, pois o exame dos dados de entrada, sua percepção e compreensão e os dados de organização da informação e a realização ou a execução de tarefas, pode ter utilidade preditiva e corretiva. Abaixo estão descritos os erros associados com o MADE por categoria.

Figura 1 - Categorias do erro na análise MADE, segundo De La Torre (2007).



Fonte: (DE LA TORRE, 2007).

3.4.1 Categoria I: Erros de entrada ou desequilíbrio da informação

Este tipo de erro, de acordo com essa classificação, consiste no desequilíbrio entre a informação que já foi obtida pelo aluno e o problema a ser resolvido por ele, que poderia ser atribuído a uma insuficiência em algum dos três planos: intenção, percepção e compreensão.

I.1 Erros no plano das intenções

Neste plano, se enquadram erros que em sua maioria são favorecidos pela forma como o docente se expressa no questionamento acerca do problema. Há três

classes, nesse plano, que serão destacadas a seguir:

- Indefinição de metas – Seria o não entendimento do que se pede em determinada atividade, devido à ambiguidade de enunciado ou de concepção, já que alguns indivíduos têm dificuldades em desenvolver o raciocínio sem que lhe seja dado o sentido deste. Típico erro de questões semi-abertas onde a falta de clareza na elaboração das questões não auxilia no entendimento do por parte do discente.
- Incompreensão ou confusão do objetivo ou da intenção – Trata do desconhecimento do que trata o problema, ou seja, o que deve ser respondido para a resolução do problema. Esse tipo de erro é comum em problemas nos quais se constata que há conclusões sucessivas, ou seja, é necessária uma conclusão num primeiro momento para poder prosseguir para a próxima resposta ou naqueles problemas que possuem dois objetivos paralelos.
- Conflito de objetivos – Acontece quando o sujeito entende que o objetivo requerido é diferente do que realmente foi pedido, podendo a existência de mais de um objetivo dificultar o entendimento do discente.

I.2 Erros no plano das percepções da informação

Origina-se da má percepção da informação, provavelmente por ambiguidade na forma como a informação é apresentada pelo docente. Resulta de fraca interação entre as características da informação e os processos cognitivos do sujeito – principais responsáveis é a metodologia docente e/ou capacidade discente. Nesse plano, há três classes: omissão, redundância e distorção.

- ✓ Omissão de informação suficiente – Advém de uma omissão baseada no pressuposto de prévio conhecimento de determinado conceito ou técnica necessárias para a resolução do problema. Possui três causas, que são organizadas em subclasses: sobrecarga de informação, distração e insuficiente percepção ou análise.
 - Sobrecarga de Informação – Impede de captar alguns pontos relevantes e

significativos. Acontece por capacidade insuficiente para integrar e recodificar abundante quantidade de informação.

- Distração – Falta de atenção do discente às aulas. É a causa mais apontada pelos docentes. É óbvio que menor atenção aos conteúdos apresentados pelo professor rende em menor nível de interpretação do problema. Contudo, a atenção costuma aumentar com a idade.
 - Insuficiente percepção ou análise – Acontece pelo perfil do indivíduo, visto que um estilo globalizador tende a atentar as características gerais, enquanto o perfil analítico observa mais os detalhes. Assim, pode-se haver respostas gerais ou específicas demais.
- ✓ Redundância – relacionado à necessidade de reflexão sobre o melhor ponto de desequilíbrio entre as informações já assimiladas e as que são completamente novas, pois para uns o uso da redundância é necessário e para outros pode atrapalhar. Ressalta-se que já é conhecido que excesso o de repetição não leva ao objetivo, necessariamente; e muitas informações podem dificultar uma melhor assimilação das informações pelos alunos.
 - ✓ Distorção – Acontece quando há algum problema com o entendimento da informação passada, podendo as causas serem atribuídas à ambiguidade, falta de interesse dos alunos pelo conteúdo, falta de clareza da informação suficiente para o entendimento do aluno, assim como a falta de conhecimento dele sobre o assunto. Essa distorção também pode ser motivada por diferentes expectativas do fato em si. Assim, o sujeito tende a adequar as informações a uma linha de pensamento que seja a correta para ele, entretanto, existe falha de interpretação do problema. Além disso, a complexidade e a tentativa de simplificar a informação causa dificuldade no momento de definir o que é essencial e o que é secundário para o entendimento do conceito.

I.3 Erros no plano de compreensão

Esse erro consiste no não entendimento das palavras que são expressas no questionamento, sendo o motivo léxico, conceitual ou lógico. Isso é motivado pela ausência da informação expressada. Assim, a eliminação dos problemas a respeito da incompreensão de termos anular-se-ia inúmeros erros desde a educação infantil

a superior. Contudo, existem muitos fatores que influenciam a não compreensão, desde limites cognitivos às falhas nos processos de ensino e aprendizagem anteriores. Além disso, esse tipo de equívoco tende a repercutir no processo de desenvolvimento dos processos cognitivos dos discentes, fato que deveria chamar a atenção dos educadores para o que pode ter originado essa carência.

3.4.2 Categoria II: Erros de organização da informação

Após o processo de percepção ou contato com as informações, o indivíduo tende a organizar as diversas observações em forma de conhecimento. É a partir desse ponto que se requer a capacidade cognitiva do discente. Assim, os erros de organização se dão por uma tentativa de mudança da informação já organizada na sua mente para elaborar como resposta a um questionamento. Nessa categoria existem as seguintes subdivisões de erro: análise e síntese, ordenação, e conexão e interferências.

- 1) Erros de análise e síntese: Os problemas com a análise se dão pelo fato de nem sempre o indivíduo conseguir perceber detalhes que fazem diferença para a correta compreensão da informação. Para a síntese, é necessário identificar as características relevantes e definir os passos que levarão à resolução do problema de maneira clara. A tarefa de organizar as informações prévias, que se diferenciam como complementar ou acessórias, tornam a organização algo relativamente complexo. O uso dos critérios para tornar os dados coerentes gerando a informação desejada requer uma série de passos que nem sempre o indivíduo os conhece ou consegue realizá-los. Assim, frequentemente a aprendizagem relacionada a essa organização de informações e a importância em se reconhecer os elementos-chave que auxiliaria em tal tarefa.
- 2) Erros de ordenação: Esse erro acontece por falhas ao conectar as informações para alcançar determinado objetivo ou responder determinado questionamento, tal como uma correta sequenciação da informação prévia do indivíduo ser necessária para a facilitação da compreensão da mensagem. Esses erros tendem a influenciar a maneira de resolver os questionamentos, assim como a tomada de decisões. Normalmente o que ocorre é uma

alteração da ordem coerente da informação que se tenta expressar, globalizando as estruturas morfossintáticas na tentativa de tornar a informação compreensiva. Pode estar intimamente relacionado com algum tipo de erro de entrada.

- 3) Erro de conexão e interferências: Esses erros ocorrem quando, mesmo sabendo o conceito, o discente entra em contato com uma situação em que não consegue conectar os seus conhecimentos prévios para a resolução do problema. Assim, uma interferência causa a falta de coesão do entendimento teórico e empírico por parte do indivíduo. Pode ocorrer quando o indivíduo se utiliza de padrões já incorporados por ele e rejeita qualquer variação que se apresente, persistindo num ajuste que não o leva a resposta objetivada. Assim, esse problema ao não conseguir se adaptar as novas situações propostas é o que gera o resultado errôneo.

3.4.3 Categoria III: Erros de execução

Esses erros podem ser definidos como equívocos. Existem quando o discente tenta chegar a uma solução por meio de diferentes procedimentos não comuns. Portanto, são os erros que ocorrem no decorrer da resolução da tarefa. Erros desta categoria requerem menos atenção do que os das duas anteriores, isso porque para saná-los basta fazer indicações durante o processo, pois os discentes não cometem esses erros por não saberem do assunto ou do procedimento. Essa categoria pode ser dividida em três subcategorias: mecânica ou lapsos, operacionais e estratégicos.

- a) Erros mecânicos ou lapsos – são erros de procedimento, como troca de letras ou símbolos – ou omissões destes -, normalmente advindos de situação de *stress*, como urgência. Foi um tipo de erro muito analisado na perspectiva psicanalítica, mas na didática tendem a requerer menor relevância.
- b) Erros operacionais – São erros oriundos de esquecimentos gerando omissões ou confusões, como interpretar um sinal erradamente. É comum ocorrer quando há nervosismo ou ansiedade por parte do indivíduo. Normalmente, reconhecido por atribuir sentidos diferentes aos caracteres. Soma-se a isso, a falta de interiorização do procedimento por parte do

indivíduo o que acarreta numa possível não-mecanização do procedimento.

- c) Erros estratégicos – Ocorre quando há um equívoco na decisão da estratégia que será usada para chegar à solução do problema. Usualmente acontece quando são utilizados procedimentos inadequados para a resolução de problemas.

Recentemente, foi defendido um trabalho de conclusão de curso na UFPE-CAA e publicado em revista da área de Ensino de Química, que utilizou jogos das reações orgânicas como uma ferramenta para se promover o ensino e a aprendizagem a partir do erro. Os erros foram analisados baseados na MADE. Neste caso, o ambiente livre de pressão, promovido pelo jogo, favoreceu a utilização do erro como um caminho para a reconstrução dos conhecimentos químicos envolvidos (FREITAS et al., 2016).

3.5 AS LEIS TERMODINÂMICAS

3.5.1 Conceitos básicos

A termodinâmica preocupa-se em estudar as transformações de energia observadas na natureza. Dessa forma, é possível salientar duas leis naturais: a primeira, que detalha as variações de energia e permite o cálculo da quantidade de calor e trabalho envolvido em determinado processo, e a segunda, a qual busca explicar os motivos de algumas reações ocorrerem espontaneamente e outras não. No passado, acreditava-se que o calor era meramente uma passagem de um fluido, chamado de calórico, entre duas substâncias, sendo no sentido da mais quente para a mais fria. Contudo, após décadas de estudo de diversos cientistas, a concepção mais aceita nos dias atuais é a que James Joule propôs no início do século XIX, na qual trabalho e calor são duas formas de energia (ATKINS e JONES, 2006).

Nesse contexto, vale salientar os conceitos de sistema e vizinhança. Sistema é a região de interesse, que está sendo observada, enquanto vizinhança é tudo o que está nos arredores do sistema. Ao conjunto dessas duas regiões delimitadas no espaço atribui-se o nome de universo. Além disso, o sistema pode ser classificado como aberto, que permite trocas de energia e matéria com a vizinhança, fechado,

que não permite a troca de matéria com a vizinhança, e isolado, em que não há nem troca de matéria nem de energia com o exterior (ATKINS e JONES, 2006).

Apenas variações de energia entre determinados estados termodinâmicos são de interesse. Uma das formas de alterar a energia de um sistema é através da realização de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema. Trabalho foi definido por Joule como sendo o movimento feito contra uma força oposta. Matematicamente,

$$W = F \times D, \quad (\text{Eq. 1})$$

ou seja, trabalho (W) é igual à força resultante (F) multiplicado pelo deslocamento provocado na direção da força resultante (D). Essa grandeza, no Sistema Internacional de Unidades, tem unidade básica como sendo o Joule(J), sendo $1 \text{ J} = 1 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-2}$. A capacidade de realizar trabalho por parte do sistema é chamada de energia interna, U, sendo uma variável termodinâmica muito importante que pode ser expressa em termos de volume, pressão, temperatura e número de mols. O trabalho pode ser também classificado como de expansão/compressão, no qual há mudança de volume do sistema, e o de não-expansão, onde não há mudança de volume, tais como elétricos, magnéticos etc. (ATKINS E JONES, 2006).

Definições mais gerais de trabalho são dadas no quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de trabalho para variados sistemas em termos da variação de diferentes variáveis extensivas.

Tipos de Trabalho			
Sistema	Variável Intensiva	Variável Extensiva	Trabalho realizado sobre o sistema
Fluido ou fronteiras móveis	Pressão(p)	Volume(V)	$-\int p dV$
Superfície(filme)	Tensão superficial (σ)	Área(A)	$\int \sigma dA$
Fio	Tensão(F)	Comprimento(l)	$\int F dl$
Capacitor e Cella eletroquímica	Potencial e potencial de redução(ϵ)	Carga(Q)	$\int \epsilon dQ$
Sólido paramagnético	Campo magnético(H)	Momento magnético(m)	$\mu_0 \int H dm$

Fonte: Adaptado das notas de aula do prof. Ricardo L. Longo, UFPE.

Outra variável que influencia a variação da energia interna é o calor (q), que surge devido à diferença de temperatura entre diferentes regiões. Assim, a variação da energia interna (ΔU) é numericamente igual à energia transferida como calor, caso não esteja sendo realizado trabalho sobre o sistema ou pelo sistema. Quando há absorção ou liberação de calor pelo sistema os processos são ditos endotérmico,

aquele no qual o sistema absorve calor da vizinhança, aumentando sua energia interna ou exotérmico, aquele no qual o sistema libera calor para a vizinhança, diminuindo sua energia interna (ATKINS e JONES, 2006).

Para medir a quantidade de calor que é transferido entre substância usa-se um dispositivo chamado de calorímetro, que é um aparelho isolado termicamente do meio ambiente – podendo ser sofisticado ou meramente rústico. Exemplo deste último são aqueles construídos apenas com vidro (béquer) e papel, e, portanto, não muito eficientes, mas bastante utilizados em práticas experimentais em ensino de química. Diferentes substâncias e/ou dispositivos (tal como calorímetros) absorvem quantidades diferentes de calor para uma mesma variação de temperatura. Essa propriedade é característica do material e é denominada de capacidade calorífica. Assim, o calorímetro pode ser utilizado para medir quantidades transferidas de calor quando se conhece sua capacidade calorífica. A partir do conceito de capacidade calorífica, define-se a capacidade calorífica específica – ou calor específico – que é a razão entre a capacidade calorífica e a massa do sistema, e a capacidade calorífica molar que é a capacidade calorífica dividida pela quantidade de matéria do sistema (em número de mol), mais utilizados para substâncias do que para dispositivos calorímetros.

3.5.2 A Primeira Lei

O enunciado da primeira lei da termodinâmica diz: A energia de um sistema isolado é constante. Isso porque apenas é possível alterar a energia interna de um sistema por transferência de energia como calor ou realização de trabalho. No caso de um sistema isolado, nenhuma dessas alternativas é possível. A partir dessa lei, pode-se observar que as paredes (ou limites ou fronteiras) do sistema tem um destaque por delimitarem o contato com a vizinhança. Assim, constata-se que há dois tipos de paredes: adiabáticas e diatérmicas. As primeiras são as que não permitem a transferência de calor entre sistema e vizinhança – a energia interna só pode ser modificada pela realização de trabalho – e a última que permite a transferência de calor através da fronteira (ATKINS e JONES, 2006).

Outro conceito importante é o de função de estado, que deriva do fato da variável ou propriedade ser uma diferencial exata, pois seu valor não depende do processo que foi realizado - ou seja, das etapas intermediárias entre o começo e o

fim do processo -, apenas dependendo do estado atual do sistema. Como exemplo, temperatura e energia interna são funções de estado, pois só dependem do estado atual do sistema, já o trabalho e o calor não são, pois dependem de como o processo foi realizado para produzi-los. Essa função ainda pode ser categorizada como propriedade intensiva ou extensiva. As propriedades intensivas independem da quantidade de massa ou de matéria do sistema e as extensivas são proporcionais à massa e a quantidade de matéria do sistema (ATKINS e JONES, 2006).

Conseqüentemente, em química, muitos processos são investigados a pressão constante. Assim, outra variável termodinâmica é definida, a entalpia, que é uma função de estado definida a partir de variáveis do sistema:

$$H = U + PV, \quad (\text{Eq. 2})$$

em que H é a entalpia, U é a energia interna, P é a pressão e V é o volume. A partir dessa definição e da variação de entalpia, ΔH , para processos a pressão constante, encontra-se que o calor liberado/absorvido à pressão constante é numericamente igual à variação de entalpia do sistema. Esta variável merece destaque, visto que a maioria das reações químicas ocorre em sistemas abertos para a atmosfera, então, o calor devido à reação pode ser usado para a obtenção da variação de entalpia de maneira direta. Para um processo endotérmico, a variação de entalpia é maior que zero – já que a entalpia aumenta com a transferência de energia. Para um processo exotérmico, a variação da entalpia é menor que zero, já que a entalpia diminui quando a energia sai do sistema (ATKINS e JONES, 2006).

No decorrer da história, convencionou-se expressar a entalpia como sendo função da temperatura, pressão e composição do sistema, tendo como diferencial total a função:

$$dH = \left(\frac{dH}{dT}\right)_{p,n} dT + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_{T,n} dp + \sum_i \left(\frac{dH}{dn_i}\right)_{T,p} dn_i, \quad (\text{Eq. 3})$$

em que T é a temperatura e n_i é a quantidade em mols de matéria da componente i do sistema.

3.5.3 A Segunda Lei

A segunda lei pode ser expressa de diferentes formas, contudo uma das mais enunciadas é a do Lorde Kelvin, cujo livro didático para o ensino superior de cursos de Química e áreas afins, Físico-Química, dos autores Atkins e De Paula (p. 68, 2008) cita: “Não é possível um processo que tenha como único resultado a absorção de calor de um reservatório térmico e a sua completa conversão em trabalho”. O conteúdo dessa frase está relacionado ao reconhecimento da existência dos processos espontâneos e não-espontâneos (ATKINS e DE PAULA, 2008).

Para que um processo seja espontâneo, a principal característica a ser observada é a maneira como a energia é dispersa. Isso porque é necessário notar o sentido da dispersão da energia (maior distribuição de probabilidade de ocupação de estados acessíveis ao sistema), que permite indicar o sentido no qual o processo é espontâneo, visto que o processo reverso é praticamente impossível de ocorrer espontaneamente, nas mesmas condições (ATKINS e DE PAULA, 2008).

3.5.4 Entropia

A entropia (representada por S) é a variável termodinâmica que quantifica a dispersão de energia em um sistema, ou melhor, a distribuição de probabilidade de ocupação de estados acessíveis ao sistema. Transferências de calor estimulam o movimento aleatório, diferentemente, o trabalho produz modificações ordenadas que não devem variar e, portanto, não devem variar a entropia do sistema (ATKINS e DE PAULA, 2008).

Assim, a segunda lei da termodinâmica pode ser escrita em termos da entropia: A entropia total de um sistema isolado aumenta numa mudança (processo) espontânea(o). A entropia total é considerada como sendo a soma das entropias do sistema e da vizinhança. A entropia também é uma função de estado, ou seja, ela não depende das etapas intermediárias do processo. Assim, uma integração de dS ao longo de um ciclo arbitrário é igual a zero (ATKINS e DE PAULA, 2008).

Como o calor estimula aleatoriamente o movimento molecular, esta quantidade deveria estar relacionada à entropia. Entretanto, calor não é uma diferencial exata, e não poderia, portanto, ser uma função de estado. Um fator de integração pode tornar uma expressão que dependa do calor em uma diferencial

exata. O fator de integração mais simples é o inverso da temperatura (ATKINS e DE PAULA, 2008). Assim, a definição termodinâmica da entropia, S , está baseada na expressão:

$$dS = \frac{dq_{rev}}{T} \quad (\text{Eq. 4})$$

em que dq_{rev} é o calor associado a um processo reversível e T é a temperatura na qual esse processo evolui. Para uma variação mensurável entre dois estados i e f , esta expressão se torna:

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dq_{rev}}{T} \quad (\text{Eq. 5})$$

ou seja, para se calcular a variação de entropia entre dois estados quaisquer de um sistema, deve-se encontrar um caminho reversível e integrar a energia fornecida ao sistema como calor em cada estágio do caminho dividido pela temperatura na qual ocorre o aquecimento. Assim, pode-se salientar que o exame de processos espontâneos de um ponto de vista microscópico ou molecular, leva à conclusão que tais processos ocorrem com aumento da distribuição de energia ou aumento da probabilidade de ocupação de diferentes estados.

3.5.5 A Terceira Lei

A lei que trata sobre os fenômenos que ocorrem em processos próximos do zero absoluto é a Terceira Lei da Termodinâmica, que não introduz uma nova variável termodinâmica, mas fornece uma referência para o cálculo do valor absoluto da entropia para o sistema em um determinado estado termodinâmico. De Atkins e De Paula (2008, p. 83),

“Em $T=0$ toda a energia do movimento térmico foi extinta, e, num cristal perfeito, todos os átomos ou íons estão uniforme e regularmente distribuídos. A localização da matéria [...] e a ausência de movimento térmico [...] sugerem que, naquela temperatura, a entropia da substância seja nula.”

Isso significa que quando se está próximo a 0 Kelvin, a localização da matéria e a ausência de movimento térmico sugerem que a entropia do sistema observado também seja zero – tendo apenas uma única maneira de distribuir a energia no

microestado fundamental. Com isso, diferentemente das 1ª e 2ª Leis, a 3ª Lei não introduz uma nova função de estado, mas providencia uma escala numérica para a entropia. A interpretação molecular de entropia justifica o valor de $S = 0$ em $T = 0$, visto que Boltzmann propôs uma fórmula, conhecida como a fórmula de Boltzmann, $S = \ln W$, em que W é o número de microestados acessíveis e, de acordo com essa fórmula, a entropia é zero se existe apenas um microestado acessível ($W = 1$), isso sendo possível para um cristal perfeito a zero Kelvin. Na maioria dos casos, $W = 1$ em $T = 0$ porque existe apenas uma forma de alcançar a energia total mais baixa. Assim, $S = 0$ em $T = 0$, de acordo com a 3ª Lei da Termodinâmica (ATKINS e DE PAULA, 2008).

Dessa forma, pode-se dar uma nova interpretação para o valor da entropia de uma substância em uma temperatura T , baseada na 3ª Lei da termodinâmica, que é dada por:

$$S(T) = S(0) + \Delta S(\text{de aquecimento de } 0 \text{ para } T) \quad (\text{Eq. 6})$$

Utilizando a 3ª Lei e para processos a pressão constante e com capacidade calorífica a pressão constante, C_p , depende de T , o valor da entropia de uma substância em uma temperatura T passa a ser dado por:

$$S(T) = \int_0^T \frac{C_p dT}{T} \quad (\text{Eq. 7})$$

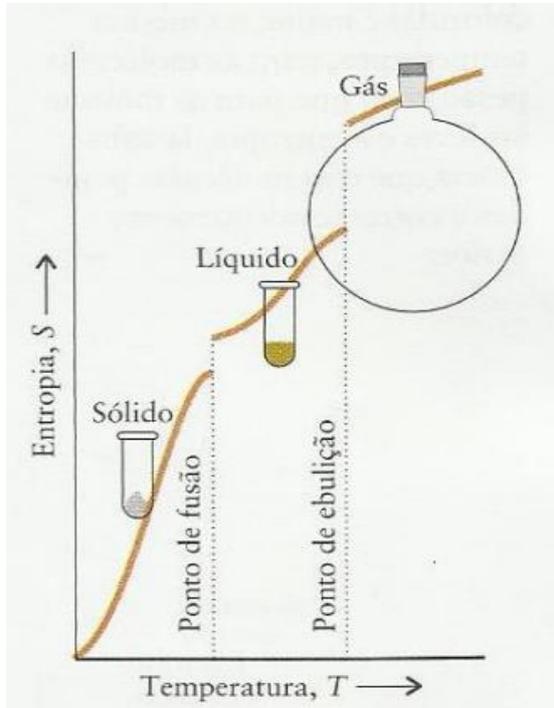
Paralelamente, as entropias absolutas podem ser determinadas calorimetricamente através da equação 8, conforme ilustra a Figura 2.

$$S(T) = \int_0^{T_{fus}} \frac{C_p(s)dT}{T} + \frac{\Delta_{fus}H}{T_{fus}} + \int_{T_{fus}}^{T_b} \frac{C_p(l)dT}{T} + \frac{\Delta_{vap}H}{T_b} + \int_{T_b}^T \frac{C_p(g)dT}{T}, \quad (\text{Eq. 8})$$

em que $\Delta_{fus}H$ e $\Delta_{vap}H$ correspondem, respectivamente, às variações de entalpia durante fusão e vaporização e T_{fus} e T_{vap} , às temperaturas de transição de fase, fusão e vaporização, respectivamente. Entropias calculadas através desta

expressão com a convenção de $S(0\text{ K}) = 0$, são chamadas entropias calorimétricas ou de 3ª Lei.

Figura 2 - Gráfico da entropia versus temperatura para uma substância hipotética, cuja observação foi realizada entre $T = 0$ e $T > T_{\text{ebulição}}$ do sistema.



Fonte: Atkins e De Paula, 2008.

4. METODOLOGIA

Nesta seção estão descritos o campo de pesquisa e os sujeitos, classificação da pesquisa, instrumento de coleta de dados e como foi realizada a análise dos resultados.

- Campo de pesquisa e os sujeitos

A pesquisa foi realizada no Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco/Caruaru-PE, tendo como sujeitos de pesquisa os discentes que cursaram as disciplinas Físico-Química I nos períodos 2016.1 e 2016.2. A pesquisa foi baseada na análise das questões de provas que envolveram os conteúdos de leis termodinâmicas, respeitando a privacidade ocultando-se o nome de cada aluno.

- Classificação da Pesquisa

Por envolver análise de material escrito, esta pesquisa foi qualitativa, visto que foram obtidos dados descritivos a cerca do tema da pesquisa, por exemplo, sobre as pessoas, lugares e processos interativos, através do contato direto do pesquisador, procurando compreender os fenômenos do ponto de vista dos envolvidos na situação estudada (GODOY, 1995). Quanto ao método de pesquisa, foi utilizada a pesquisa documental, por ter como objeto de análise as avaliações (provas escritas) dos discentes. Assim, a utilização desse procedimento implicou em um contato prolongado e direto do pesquisador com a área a ser observada.

Com relação à pesquisa documental, esta metodologia é muito difundida nas ciências sociais, já que ameniza a interferência do pesquisador no objeto avaliado – anulando à atividade do sujeito (SÁ-SILVA, 2009). Neste trabalho, essa pesquisa foi utilizada com o intuito de classificar documentos, embora ela também possa ser utilizada para ordenar documentos (PIMENTEL, 2001 apud SÁ-SILVA, 2009), e as etapas para tal foram baseadas naquelas descritas por Sá-Silva (2009, p. 4) em seu trabalho:

Quando um pesquisador utiliza documentos objetivando extrair deles informações, ele o faz investigando, examinando, usando técnicas apropriadas para seu manuseio e análise; segue etapas e procedimentos; organiza informações a serem categorizadas e posteriormente analisadas;

por fim, elabora sínteses, ou seja, na realidade, as ações dos investigadores, - cujo objetos são documentos – estão impregnadas de aspectos metodológicos, técnicos e analíticos [...].

O registro da pesquisa foi feito a partir de observação e anotações. Segundo Godoy (1995), este tipo de pesquisa passou a se difundir pelas áreas de educação, psicologia e administração de empresas nos últimos cinquenta anos apesar de sempre ter sido usado por sociólogos e antropólogos. Sendo assim, fortemente relevante para a área de ensino, em particular, que trata dos processos de ensino e aprendizagem das ciências.

- Instrumento de coleta de dados

Para a coleta dos dados, foi feita uma seleção documental das avaliações escritas realizadas com os discentes da disciplina Físico-Química I nos períodos 2016.1 e 2016.2, cujas questões avaliadas envolveram os conteúdos de termodinâmica.

- Análise dos resultados

A análise dos resultados foi realizada com o uso de uma adaptação do Modelo de Análise Didática dos Erros (MADE), proposto por Saturnino De La Torre (2007) e discutido na seção “Revisão da Literatura”. Esse método visa à categorização do erro proporcionando uma visão mais ampla e completa da tipologia do erro para análise, investigação e tratamento. A adaptação referida permitiu uma maior reflexão sobre as falhas, proporcionando um melhor entendimento sobre os diferentes aspectos do erro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE GERAL DOS ERROS COMETIDOS PELOS DISCENTES

Os tipos de provas que foram avaliadas estão no ANEXO A e B. Elas foram realizadas nos semestres 2016.1 e 2016.2 e contemplam os conteúdos relativos às primeira e segunda leis da termodinâmica, tais como entalpias padrão, entalpias de mudança física (transição de fase), entalpias de reação, entalpias padrão de formação, equações termoquímicas, Lei de Hess, variação de entalpia com a temperatura, entropia e espontaneidade de processos químicos e físicos. Esses conteúdos geralmente são ministrados na segunda unidade (de três unidades) do semestre letivo da disciplina de Físico-Química I ministrada no Curso de Química-Licenciatura do NFD/CAA.

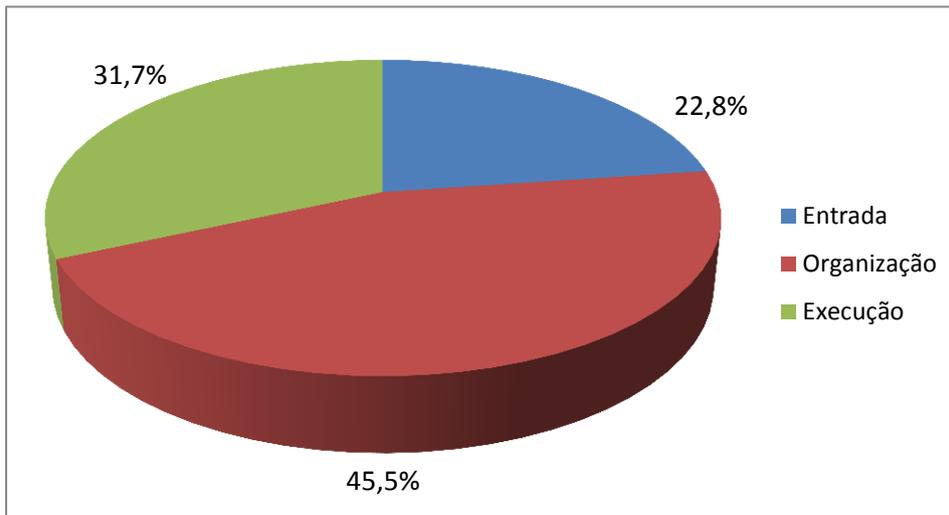
Foram analisadas 35 provas no total, sendo 17 do semestre 2016.1 e 18 de 2016.2, com média de quatro questões cada, algumas delas contendo subquestões, com o intuito de investigar qual o tipo de erro mais recorrente, visto que a presença do erro no processo de ensino e aprendizagem é tratada como algo inerente e natural para a construção do conhecimento. Sendo assim, conhecer os erros e agrupá-los em tipos ou categorias pode auxiliar o docente a traçar estratégias pedagógicas para abordar tais conteúdos, visando melhorar o processo de construção de conhecimento, tornando mais eficiente sua aprendizagem.

Para a categorização dos erros, foi adaptada a MADE. Contudo, apesar do quantitativo total das questões analisadas, só foram computadas para a finalidade desta pesquisa aquelas nas quais foram cometidos erros pelos discentes. Vale ressaltar que algumas possuíam mais de um tipo de erro.

A análise dessas provas permitiu verificar erros tanto conceitual, quanto de cálculo, visto que ambos os focos são abordados durante a segunda unidade da disciplina de Físico-química I. Com isso, foi possível verificar os tipos de erros mais recorrentes, seja por uma expressão errada ou por um cálculo equivocado.

O gráfico da figura 3 dá uma ideia geral da quantidade proporcional dos 101 erros encontrados, divididos por categoria (Entrada ou desequilíbrio da informação, organização da informação e execução), que ocorreram considerando-se a avaliação como um todo.

Figura 3 - Gráfico da quantidade de erros, divididos por categoria (Entrada, organização e execução), que ocorreram considerando-se a avaliação como um todo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Pode-se perceber uma maior incidência de erros na categoria de organização da informação, 45,5% do total. Nesse ponto, partindo de uma análise geral, destacamos que o discente pode ter uma maior parcela de responsabilidade, por não realizar um estudo suficiente do conteúdo, buscando textos em bibliografias variadas, exercitando seu conhecimento através da resolução de problemas, e buscando sanar dúvidas com o docente que venham a surgir ao longo desse processo, assim como os problemas relacionados ao uso dos atributos cognitivos ressaltados nas subcategorias como: não conseguir encontrar os pontos-chave da questão para analisar e sintetizar, dificuldades ao organizar de maneira coerente a informação ou, numa situação diferente da entendida como padrão, o discente não conectar seus conhecimentos prévios. Vale ressaltar ainda que, por ser um curso de graduação, o grau de exigência de dedicação dos discentes em estudos individualizado deve ser bem maior do que no Ensino Médio e Básico, períodos que se caracterizam por um papel do discente mais passivo e o papel do docente é mais decisivo para a formação do estudante.

Os erros de execução, ou seja, aqueles que não estão relacionados, necessariamente, à falta do conhecimento, possuem 31,7% do total dos erros. Relatos da docente afirmam que fatores como pressa e stress podem contribuir para que os discentes cometam tais erros. Entretanto, segundo De La Torre(2007), o conhecimento desse tipo de erro tem menores repercussões cognitivas e o aluno

deve ser alertado do acontecimento desse tipo de erro para aumentar a atenção na resolução das questões.

Por último, os erros de entrada, com 22,8% do total, foram os de menor incidência, mesmo tendo ainda um quantitativo expressivo. De La Torre (2007) atribui ao fato desses erros serem comuns a um desequilíbrio entre as informações que o discente dispõe e o problema que tem que resolver. Nessa categoria, é comum haver problemas na maneira como o docente explicita a questão, contudo não parece ser o caso da maior parte dos erros encontrados nesse estudo, já que permearam a subcategoria da distorção, que está relacionada com a falta de domínio do conteúdo por parte dos discentes.

A seguir as análises dos erros cometidos em cada categoria são descritos em detalhe e discutidos.

5.2 ANÁLISE DOS ERROS COMETIDOS PELOS DISCENTES EM CADA CATEGORIA

Para a categoria I (entrada ou desequilíbrio da informação) foram observados 23 erros dos 101 encontrados. Estes ocorreram provavelmente pelo mau entendimento do discente ao entrar em contato com o enunciado da questão, isso por lhe faltar conhecimento ou experiência suficiente para entender o que se pede. Esse fato está de acordo com as constatações de Freitas e colaboradores (2016) ao analisar a maneira como os discentes erraram quando consideraram os elementos envolvidos para a efetivação da reação orgânica questionada. Dos três planos que dividem essa categoria, só houve constatação de respostas erradas em dois deles: plano das percepções da informação (82,6%) e plano da Compreensão (17,4%). Erros no plano da percepção, responsável por quase todos os erros dessa categoria, os quais são atribuídos principalmente à falta de domínio do conteúdo por parte do discente que o impede de interpretar a questão direito ou mesmo o que está escrito, por puro desconhecimento. Já quanto ao plano da compreensão, os erros foram atribuídos pelo fato de não se conseguir assimilar alguma informação que estava propositalmente omitida para forçar o indivíduo a raciocinar e associar o que deveria levar em consideração para responder. Erros no plano das intenções, em maior parte, representariam problemas na forma como o docente expressa a questão. Segundo De La Torre (2007), essa falta de clareza da questão confrontada pelo

discente tenderia a gerar uma indefinição de metas, confusão ou conflito de objetivos, o que tornaria árdua a tarefa de compreender o que se está sendo solicitado. Entretanto, não foram identificados erros nesse plano. Relatos da docente que ministrou tal disciplina nos semestres em questão, corroboram com essas análises, visto que, frequentemente, a docente auxilia os estudantes no entendimento das questões quando há a percepção por parte dela de que os mesmos não conseguem nem mesmo iniciar suas resoluções.

Alguns exemplos erros no plano de percepções da informação baseados nas respostas dos discentes, ilustrados a seguir, mostram que devem ocorrer por má interação entre a informação e o processo cognitivo do indivíduo, de acordo com De La Torre(2007).

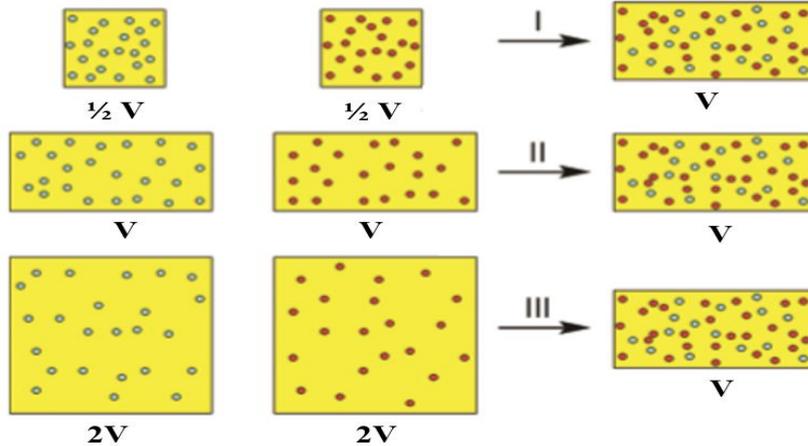
O quadro 2 mostra o único erro da categoria entrada, no plano de percepção da informação, na classe omissão de informação suficiente, na subclasse de sobrecarga de informação.

Quadro 2 – Exemplo de resposta errada a questão 4

(continua)

Questão: 4. (2,5) Calcule a variação de entropia associada a cada processo representado abaixo, considerando que os processos são isotérmicos reversíveis e os gases se comportam como gases ideais.

Ponto Extra: *Discuta* o resultado obtido.



Figuras adaptadas da referência: A. Ben-Naim. Entropy: Order or Information. *J. Chem. Educ.* 88, 594, 2011.

Resposta errada:

$\Delta S_{tot} = \Delta S_1 + \Delta S_2$ Ponto Extra: *Discuta* o resultado obtido.

$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$

$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$

$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$

8/11 pontos

Podemos observar de acordo com Volume do recipiente e os gases comportamentos dos gases que ã se misturam mas tem a tendência de está ou não mais próximos uma moléculas das outras.

(continuação)

GABARITO: $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$

Considerando que existem n mol de partícula em cada recipiente e sabendo que a variação de entropia quando devido a um processo isotérmico em que há apenas variação de volume e dada por:

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

Caso I:

$$\Delta S_1 = nR \ln \left(\frac{V}{1/2V} \right) \text{ e } \Delta S_2 = nR \ln \left(\frac{V}{1/2V} \right)$$

$$\text{Assim, } \Delta S = nR \ln \left(\frac{V}{1/2V} \right) + nR \ln \left(\frac{V}{1/2V} \right)$$

$$\Delta S = 2 \times nR \ln \left(\frac{V}{1/2V} \right) = 2 \times nR \ln(2)$$

E, portanto, há aumento da entropia quando ocorre uma mudança para essa nova situação.

Caso II:

$$\Delta S_1 = nR \ln \left(\frac{V}{V} \right) \text{ e } \Delta S_2 = nR \ln \left(\frac{V}{V} \right)$$

$$\text{Assim, } \Delta S = 0$$

Ou seja, não há variação de entropia

Caso III:

$$\Delta S_1 = nR \ln \left(\frac{V}{2V} \right) \text{ e } \Delta S_2 = nR \ln \left(\frac{V}{2V} \right)$$

$$\text{Assim, } \Delta S = nR \ln \left(\frac{V}{2V} \right) + nR \ln \left(\frac{V}{2V} \right)$$

$$\Delta S = 2 \times nR \ln \left(\frac{V}{2V} \right) = 2 \times nR \ln \left(\frac{1}{2} \right)$$

E, portanto, há diminuição da entropia quando se passa para essa nova situação.

(conclusão)

Ponto extra: Como os gases são ideais, ao misturá-los, eles não interagem, de modo a variação de entropia se dá exclusivamente devido à variação de volume. Como a entropia está relacionada com o número de estados acessíveis naquele estado termodinâmico, ou seja, $S = k_B \ln W$, em que W é o número de estados acessíveis, se houver uma variação de volume, a entropia irá variar.

Fonte: Prova realizada no semestre 2016.2.

Nessa questão, constante na prova de 2016.2 (ANEXO B) foi solicitado que o discente analisasse três processos e calculasse a variação de entropia associada a cada processo representados nos esquemas da figura na prova, considerando que os processos são isotérmicos reversíveis e os gases se comportam como gases ideais. Além disso, foi solicitado que o discente discutisse o resultado obtido. Observa-se a interferência das figuras na formulação da resposta por parte do indivíduo, pois este atribui a variação da entropia como causa ao fato dos gases diferentes não se misturarem. Esse fato coincide com o desequilíbrio de informação da categoria de entrada e a abundante quantidade de informação, que induz o entendimento de forma ambígua pelo indivíduo, o que representa o plano de percepção da informação. O discente não discute que no modelo de gases perfeitos as partículas que compõem os gases não interagem. Ainda, não discute que a variação de entropia ocorreu por conta da mudança do volume à qual os gases estão confinados no processo. Isso corrobora com a visão de De La Torre (2007) quanto à esse tipo de erro, que ressalta que o problema na sobrecarga ocorre quando o indivíduo dispõe de informação em excesso, fato que cria obstáculos à reflexão sobre a questão e leva à falha na construção do conhecimento. Dessa forma, pode-se observar o quanto a questão impõe de informação para que o indivíduo a resolva, contribuindo para o cometimento do erro pelo discente.

Ainda na categoria de entrada e no plano de percepção da informação, notou-se a presença da maior parte dos erros na classe de distorção, sendo 18 erros, 94,7% do total. Um exemplo desse tipo de equívoco está ilustrado no quadro 3.

Quadro 3 – Exemplo de resposta errada ao item “a” da questão 1**Questão: 1.** Resposta:(a) **(1,0)** As entalpias de mudança são aditivas, como em $\Delta_{\text{sub}}H^\circ = \Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ$? Por quê?**Resposta errada:**(a) **(1,0)** As entalpias de mudança são aditivas, como em $\Delta_{\text{sub}}H^\circ = \Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ$? Por quê?*Sim, por conta da dissipação de energia.***GABARITO:**

Sim, pois como a entalpia é uma função de estado, a variação de entalpia só deve depender dos estados inicial e final, e não de como o sistema foi preparado ou chegou naquele estado.

Fonte: Prova realizada no semestre 2016.2.

Esse questionamento, presente na prova de 2016.2 (ANEXO B) necessitava de uma resposta positiva ou negativa e de uma explicação para ela. Com isso, a partir da observação da justificativa dada pelo discente a essa questão, nota-se que ele não possui o domínio do conhecimento que foi requerido, corroborando com o desequilíbrio entre as informações que caracteriza erros da categoria de entrada. Isso porque a questão simplesmente questionava a respeito de que as mudanças de fases consistem apenas do estado final e do inicial, sendo uma função de estado. Além disso, outro fator que pode ter contribuído para a resposta errada foi a presença da letra grega delta (Δ), a qual representa a variação das entalpias. Nesse tópico, é comum os discentes não conseguirem visualizar essa variação, visto que está associada ao cálculo de integrais, necessárias para se compreender a variação numa função de estado. Dessa forma, nota-se que o não conhecimento desses conceitos relacionados aos cálculos evidencia a fraca interação entre a informação requerida e os processos cognitivos dos alunos que são erros do plano das percepções da informação. De La Torre (2007) discute que a complexidade do assunto pode gerar esse erro, já que o indivíduo muitas vezes pode ter dificuldade em conseguir discriminar o essencial e o secundário de determinado conceito ou conteúdo. Nessa questão, pode-se notar que o essencial é que a entalpia é uma função de estado, pois só depende dos estados iniciais e finais - representada essa variação pelo delta -, e as entalpias de transição de fases estavam apenas de forma secundária representando essa característica mencionada dessa variável termodinâmica.

No plano da compreensão, que faz parte da categoria de entrada, observou-se que os 17,4% dos erros cometidos pelos discentes ocorreram pelo fato dos

mesmos não entenderem a questão por uma proposital omissão de informação na questão, que visava estimular o raciocínio crítico por parte dos discentes. Um exemplo de tal erro está mostrado no quadro 4.

Quadro 4 – Exemplo de resposta errada da questão 3

Questão: 3. (2,5) Estime a entalpia padrão de formação de hexano líquido a 298 K, a partir da entalpia padrão de formação do hexano gasoso e entalpia de vaporização do hexano ($\Delta_{\text{vap}}H^\circ = 28,9 \text{ kJ/mol}$), ambas a 298 K. Sugestão: Decomponha a molécula de hexano em grupos termoquímicos, tal como proposto pela figura 1. Utilize os dados da tabela abaixo.

Group	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$C_{p,m}^\circ / \text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
C(H) ₃ (C)	-42.17	25.9
C(H) ₂ (C) ₂	-20.7	22.8
C(H)C ₃	-6.19	18.7
C(C) ₄	+8.16	18.2

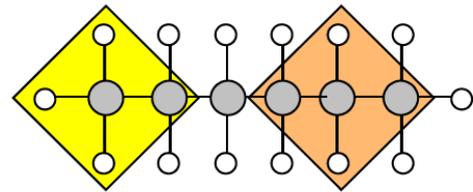
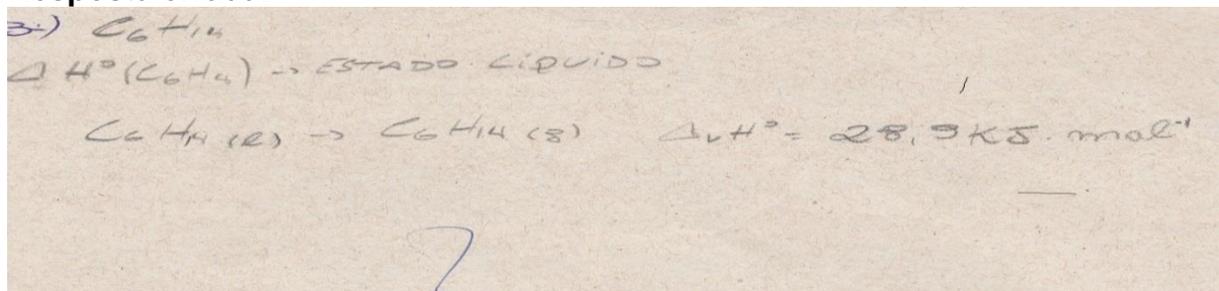


Tabela 1: Dados termodinâmicos das contribuições dos grupos termoquímicos de Benson.

Figura 1: modelo proposto para tratamento da molécula de hexano utilizando grupos termoquímicos

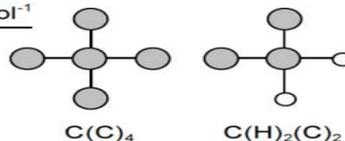
Resposta errada:



GABARITO:

Contribuições do Grupo Benson

Group	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$C_{p,m}^\circ / \text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
C(H) ₃ (C)	-42.17	25.9
C(H) ₂ (C) ₂	-20.7	22.8
C(H)C ₃	-6.19	18.7
C(C) ₄	+8.16	18.2



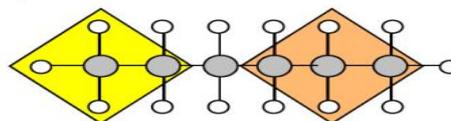
Exemplo: Estimativa de entalpia padrão de formação de hexano (g→l) a 298 K:
Decomposição: dois C(H)₃(C) e quatro grupos C(H)₂(C)₂

$$\Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{14}, \text{g}) = 2(-42.17) + 4(-20.7) = -167.1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_{\text{vap}} H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{14}) = 28.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{14}, \text{l}) = -167.1 - 28.9 = -196.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

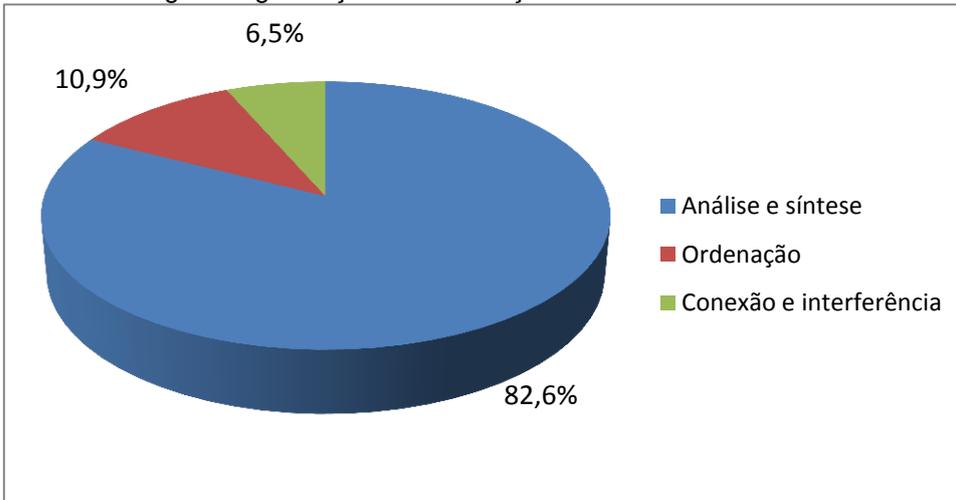
$$\text{Experimental: } -198.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$



Nessa resposta, observa-se que o discente provavelmente não conseguiu interpretar de forma correta o que se perguntava, isso porque a questão 3 da prova realizada no período 2016.2 (ANEXO B) trazia uma figura e uma tabela como parte integrante para se resolver a questão. Esta tratava de usar as entalpias de parte da molécula para encontrar a entalpia do hexano líquido. Os indivíduos que erraram essa questão, em geral, não conseguiram interpretar, organizar e utilizar os dados fornecidos no problema, de maneira que não foi possível para eles construir uma linha de raciocínio que fosse seguida para a sua resolução. Isso está de acordo com a análise de De La Torre (2007) para erros cometidos na categoria de entrada, pois nota-se o desequilíbrio entre o que se pergunta e o que o discente interpreta para responder. Além disso, há ausência de explícita recomendação da maneira de como utilizar a tabela de entalpia de ligação de grupos, o que corrobora com erros no plano de compreensão, visto que o não entendimento do que estava intencionalmente omitido é uma das características desse tipo de erro. Esse pesquisador ainda chama a atenção para o fato de esses erros serem recorrentes e possuírem um alto grau de repercussão nos processos cognitivos do indivíduo e ressalta que o problema pode se originar de diversas formas, que vão desde ao discente não entender detalhes sobre o conteúdo até uma metodologia não-adaptada ao sujeito pelos docentes.

Na segunda categoria, organização da informação, foram constatados 46 erros, dos 101 erros encontrados, divididos entre as três subcategorias (análise e síntese, ordenação e conexão). O momento da organização da informação é basicamente aquele em que o indivíduo usa seus atributos cognitivos, visto que impõe ao sujeito a necessidade de orientar os dados pré-adquiridos para gerar uma informação. Assim, os erros que se enquadram nessa categoria tendem a ocorrer em mudança de alguns elementos nesse processo. Freitas e colaboradores (2016) também registraram um desvio da meta pelos discentes, mesmo quando eles demonstraram ter o conhecimento sobre o conteúdo. O gráfico da figura 4 mostra como os erros desta categoria classificados e analisados neste trabalho estão subdivididos.

Figura 4 - Divisão nas subcategorias análise e síntese, ordenação e conexão e interferência dos erros da categoria organização da informação classificados nesse trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Nesse gráfico, é possível observar que o maior problema dos discentes em relação às questões analisadas foi a análise e síntese, que teve 82,6% do total de erros para a categoria de organização da informação. A complexidade de se analisar uma situação e extrair desta uma síntese faz com que seja natural o aparecimento deste tipo de erro. Assim, como este é parte integrante do processo de ensino e aprendizagem, o exercício e a observação constante das produções dos discentes tende a traçar estratégias que possam superar ou amenizar as falhas que venham a ocorrer no ensino aprendizagem das leis termodinâmicas. Os erros na subcategoria da ordenação foram menos expressivos (com 10,9% dos erros) que na subcategoria análise e síntese. Esses erros mostram certa inexperiência por parte do indivíduo na tentativa de representar da melhor forma possível a informação que está tentando expressar. Já os erros de conexão e interferência, com 6,5% do total, ficaram com muito pouco destaque entre as outras duas subcategorias - principalmente diante a de análise e síntese -, esse tipo de equívoco demonstra o efeito de uma situação problema a qual o discente não consegue fazer a ligação entre os conhecimentos prévios e o conceito em questão para dar coerência a informação que tenta expressar.

Os erros observados e classificados da categoria de organização da informação na subcategoria análise e síntese demonstram a dificuldade de analisar e isolar as propriedades requeridas pelo enunciado das questões. Além disso, o sujeito tem dificuldade de lidar com a complexidade de sintetizar algo, pois existe

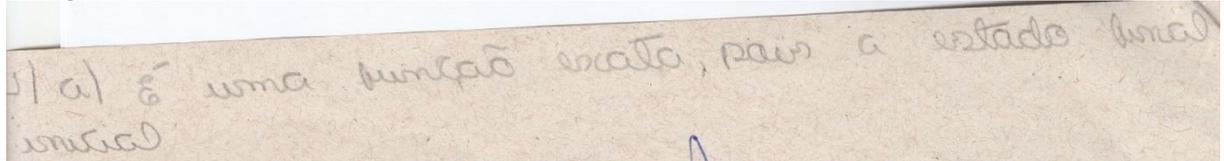
implicação de julgamento avaliativo de diferenciação e escolha. Um exemplo desse tipo de análise errônea está ilustrado no quadro 5.

Quadro 5 - Resposta errada ao item “a” da questão 1

Questão: 1. Responda:

(a) **(1,0)** As entalpias de mudança são aditivas, como em $\Delta_{\text{sub}}H^{\circ} = \Delta_{\text{fus}}H^{\circ} + \Delta_{\text{vap}}H^{\circ}$?
Por quê?

Resposta errada:



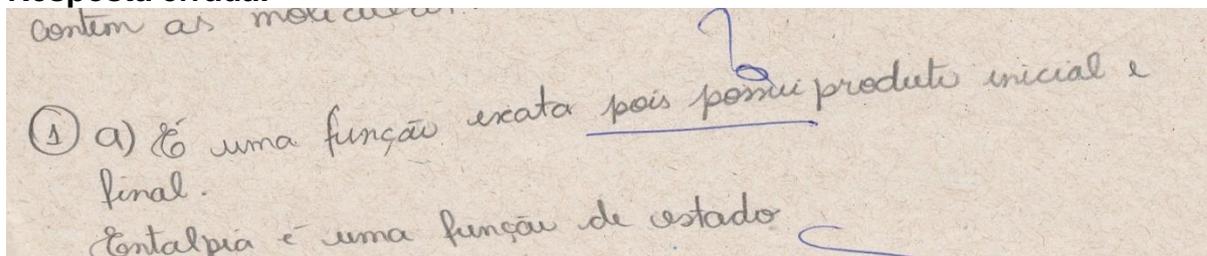
GABARITO:

Sim, pois como a entalpia é uma função de estado, a variação de entalpia só deve depender dos estados inicial e final, e não de como o sistema foi preparado ou chegou naquele estado.

Fonte: Prova realizada no semestre 2016.2.

Nessa resposta, observa-se que primeiramente deveria ser respondido se a sentença estava correta ou falsa, mas essa etapa foi pulada. Também se pode observar que o discente tinha certa noção do que deveria responder, já que usou as palavras “estado final e inicial”, pois a questão da prova 2016.2 (ANEXO B) simplesmente questionava se era possível que a entalpia pudesse ser escrita como adição das entalpias de mudança de fase, então precisava de uma resposta positiva ou negativa e uma explicação, cuja base está no fato da entalpia ser função de estado, não importando qual o processo realizado para se atingir o mesmo determinado estado final a partir de um mesmo estado inicial. Para De La Torre (2007), a necessidade de organizar a informação já adquirida para expressá-la parte de algum critério que é um ponto-chave no contexto, que levam em consideração a identificação das características relevantes e os passos a seguir para elaborar a solução. Assim, ao analisarmos tal resposta, vemos que o indivíduo até encontrou o ponto-chave, mas não conseguiu se expressar para responder completamente tal questão.

Exemplo de erro da categoria da organização da informação na subcategoria de ordenação está ilustrado no quadro 6. Pode-se mostrar a confusão no momento da sequenciação da informação, em que o discente não conectou adequadamente os dados que objetivam a construção de uma informação plausível a questão a qual ele está se deparando.

Quadro 6 - Resposta errada ao item “a” da questão 1**Questão: 1.** Responda:(a) **(1,0)** As entalpias de mudança são aditivas, como em $\Delta_{\text{sub}}H^\circ = \Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ$?
Por quê?**Resposta errada:****GABARITO:**

Sim, pois como a entalpia é uma função de estado, a variação de entalpia só deve depender dos estados inicial e final, e não de como o sistema foi preparado ou chegou naquele estado.

Fonte: Prova realizada no semestre 2016.2.

Nessa resposta, mais uma relativa ao item “a” da questão 1 da prova de 2016.2 (ANEXO B), também o estudante deveria primeiramente ter respondido sim ou não, e explicado o motivo. Observa-se que o estudante não conseguiu fazer as conexões adequadas para dar uma ordem coerente à resposta que estava tentando expressar. Sendo assim, apesar de conhecer o conceito e se referenciar aos estados inicial e final do sistema para a obtenção da variação de entalpia, o que a caracteriza como função de estado, ele usou a expressão “pois possui” o que deu outro significado a frase. Por fim, o discente acrescentou que entalpia é função de estado, atitude que corrobora com a hipótese de um domínio da informação e certa dificuldade de ordenar os dados obtidos na memória para organizar a informação a ser expressa. De La Torre (2007) explica que a ordenação adequada das informações é imprescindível para resolver a questão, visto que dão sentido ao que deseja construir e facilita a compreensão da mensagem. Além disso, o autor salienta que por trás desse tipo de desvio há um erro conceitual de entrada que contribui para que a ordem conveniente da informação não consiga ser expressa pelo indivíduo.

Quanto aos erros da categoria da organização da informação na subcategoria de conexão e interferência, que foram os de menor ocorrência, com apenas 6,5% do total, há um exemplo está ilustrado no quadro 7.

Quadro 7 - Exemplo de resposta errada obtida para o item “a” da questão 1

Questão: 1. (3,0) Marque com um "X" a(s) afirmação(ões) correta(s) e justifique corrigindo as falsas:

(a) A entalpia padrão de variação (ou mudança) é a entalpia para um processo no qual as substâncias inicial e final envolvidas estão em seus estados padrão. O estado padrão é aquele em que a substância é pura e está a 1 bar.

Resposta errada:

1ª) a) Falsa. O estado padrão é aquele em que a substância é pura está na pressão atmosférica de 1 atm.

GABARITO: Verdadeiro.

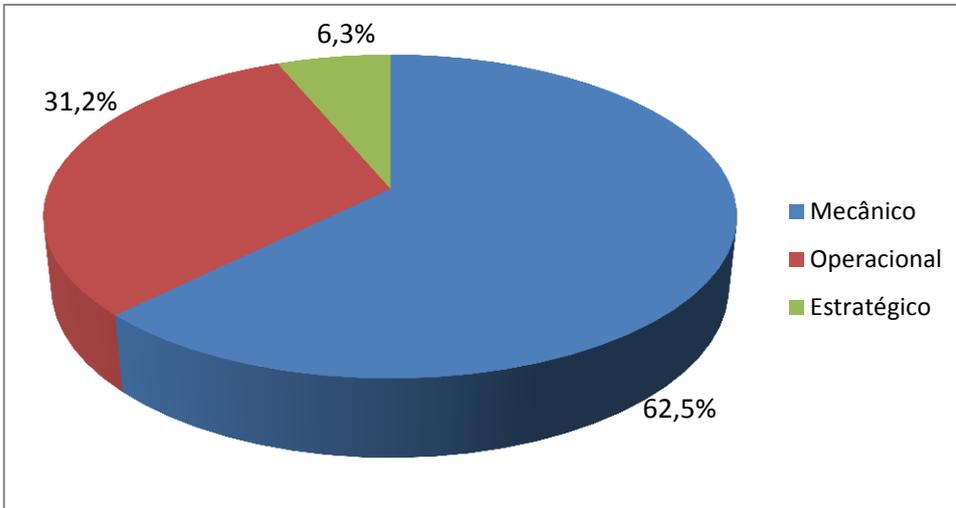
Fonte: Prova realizada no semestre 2016.1.

Na figura 10 está mostrada a resposta errada ao item “a” da questão 1 do período 2016.1 (ANEXO A). Nessa questão, sobre o que determinava o estado padrão de uma substância, havia a possibilidade da assertiva ser verdadeira ou falsa. No caso de falsa, o discente deveria modificá-la para que ela se tornasse correta. Contudo, a assertiva era verdadeira e o aluno considerou-a falsa. Ao modificá-la, ele trocou por 1 atm, cuja unidade de medida é comumente utilizada em ciência e no cotidiano para quantificar pressão. Dessa forma, a confusão pode ter ocorrido, visto que muitas unidades de pressão são usadas para quantificar essa grandeza – como as unidades que são usadas na disciplina de Físico-Química 1: atmosfera(atm), Pascal(Pa), bar(bar), Torriceli(torr) e milímetros de mercúrio(mmHg). De la Torre (2007) argumenta que um fato que contribui para esse tipo de equívoco vem do fato do discente usar de seu conhecimento empírico em detrimento do lógico. Isso porque existe uma forte ligação com padrões já adquiridos e uma consequente dificuldade para transferência de tais parâmetros para uma situação diferente da que está acostumado. Assim, o uso das unidades de medida comumente utilizadas pelo discente causa o equívoco.

Para categoria de erros de execução, a segunda em termos de quantidade de erros cometidos, 32 dos 101 erros encontrados (31,7% do total), o gráfico da figura 5 apresenta como os erros analisados estão distribuídos entre as subcategorias desse erro (Mecânico, Operacional e Estratégico). Nesta categoria estão classificados os erros cometidos basicamente por equívocos, não necessariamente porque o indivíduo não sabia responder. Esse fato também foi observado por Freitas e colaboradores (2016) ao analisar durante a realização do jogo os erros causados por

falta de reflexão ou excesso de confiança por parte dos discentes ao resolverem uma questão.

Figura 5 - Gráfico da distribuição dos erros analisados entre as subcategorias da categoria de erros de execução.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Nesse gráfico, observa-se que a subcategoria dos erros mecânicos, com 62,5% do total de erros, foi aquela na qual os erros analisados foram mais incidentes, correspondem ao dobro da que veio em segundo, a subcategoria operacional. Atribui-se a grande ocorrência desse tipo de erro às intemperes passadas pelo estudante durante a resolução da prova, caracterizados por momentos em que há trocas de símbolos ou omissões, por exemplo. Ainda assim, pode ser constatado que, na maioria das respostas, o discente apresenta certo caráter de confiança ao responder a questão, mas termina cometendo o erro. 31,2% dos erros nessa categoria foram classificados na subcategoria operacionais, erros que ocorrem devido à omissão de informações ou confusões, que normalmente são atribuídos a não revisão do que foi feito, seja por excesso de confiança ou por *stress* devida à pressão do tempo para resolução da prova. Os erros estruturais foram os de menor ocorrência, totalizando apenas 6,3%, que são atribuídos ao alto nível de dependência do discente ao que o professor ensinou, pois se caracteriza pela falta de iniciativa para se buscar meios alternativos de resolver o problema, assim como acertar o uso de estratégias diferenciadas.

Os erros que ocorrem nessa categoria, conforme já discutido acima, De La Torre (2007), salienta que não merecem tanta atenção quanto às outras duas

Pode-se observar que ocorreu uma mera troca de unidades no espaço circulado de caneta azul: Onde está escrito mol deveria estar a unidade “g”, referente a grama. Esse erro, provavelmente não significa que o aluno não tinha conhecimento da unidade, pois os cálculos foram resolvidos de maneira correta. Entretanto, pode-se perceber que a influência nessa resposta equivocada pode ter sido devido à distração, à pressa ou ao *stress* causado pelo contexto avaliativo

Exemplo de erro encontrado na subcategoria de erro operacional da categoria de execução está ilustrado no quadro 9, resposta dada a questão 3 da prova 2016.2 (ANEXO B), em que se observa que o discente omite a unidade ao lado do valor -28,9 que deveria ter sido expresso como kJ/mol.

Quadro 9 - Resposta errada a questão 3

(continua)

Questão: 3. (2,5) Estime a entalpia padrão de formação de hexano líquido a 298 K, a partir da entalpia padrão de formação do hexano gasoso e entalpia de vaporização do hexano ($\Delta_{\text{vap}}H^\circ = 28,9 \text{ kJ/mol}$), ambas a 298 K. Sugestão: Decomponha a molécula de hexano em grupos termoquímicos, tal como proposto pela figura 1. Utilize os dados da tabela abaixo.

Group	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$C_{p,m}^\circ / \text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
$\text{C(H)}_3\text{(C)}$	-42.17	25.9
$\text{C(H)}_2\text{(C)}_2$	-20.7	22.8
C(H)C_3	-6.19	18.7
C(C)_4	+8.16	18.2

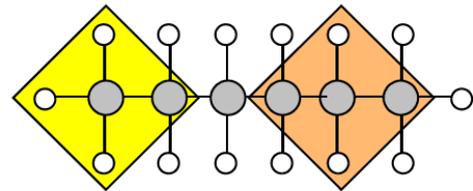
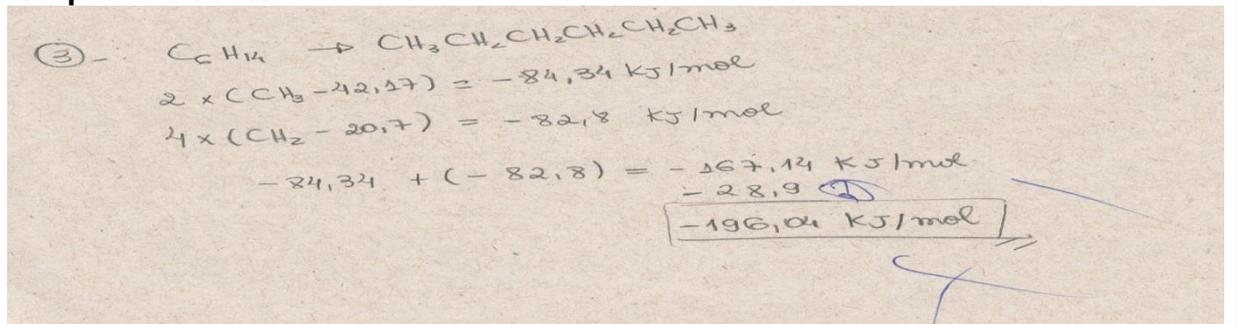


Tabela 1: Dados termodinâmicos das contribuições dos grupos termoquímicos de Benson.

Figura 1: modelo proposto para tratamento da molécula de hexano utilizando grupos termoquímicos

Resposta errada:

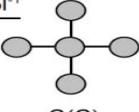
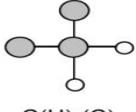


(conclusão)

GABARITO:

Contribuições do Grupo Benson

Group	$\Delta_r H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$C_{p,m}^\circ / \text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
$\text{C(H)}_3\text{(C)}$	-42.17	25.9
$\text{C(H)}_2\text{(C)}_2$	-20.7	22.8
C(H)C_3	-6.19	18.7
C(C)_4	+8.16	18.2

C(C)_4 $\text{C(H)}_2\text{(C)}_2$

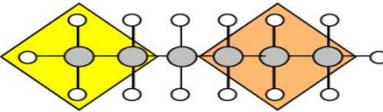
Exemplo: Estimativa de entalpia padrão de formação de hexano (g→l) a 298 K:
 Decomposição: dois $\text{C(H)}_3\text{(C)}$ e quatro grupos $\text{C(H)}_2\text{(C)}_2$

$$\Delta_r H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{14}, \text{g}) = 2(-42.17) + 4(-20.7) = -167.1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_{\text{vap}} H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{14}) = 28.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_r H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{14}, \text{l}) = -167.1 - 28.9 = -196.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Experimental: $-198.7 \text{ kJ mol}^{-1}$



Fonte: Prova realizada no semestre 2016.2 e notas de aula da Profa. Dra. Rita de Cássia L. B. Rodrigues.

Este fato corrobora como um mero esquecimento por um lapso qualquer, já que o indivíduo provavelmente estava mais preocupado com cálculo em si. Segundo De La Torre (2007), uma causa comum para esse tipo de equívoco é o nervosismo que possivelmente bloqueia a evocação cognitiva para a atenção ao detalhe, assim como não ter interiorizado o procedimento para que este seja mecanizado. Em ambientes livres de pressão, esse tipo de erro pode ser minimizado, como constatado por Freitas et al. (2016), visto que no caso em questão, o uso do jogo, favoreceu a utilização do erro como um caminho para a reconstrução dos conhecimentos químicos envolvidos.

Exemplo de erro encontrado na subcategoria de erro estratégico da categoria de execução, erro de menor incidência, está ilustrado no quadro 10, numa resposta dada a questão 2 da prova de 2016.1 (ANEXO A).

Quadro 10 - Resposta errada ao item "a" da questão 2

(continua)

Questão: 2. (2,5) A equação termoquímica para a síntese do metano a partir do C(grafite) e gás hidrogênio está mostrada abaixo:



Dados: $\text{MM}(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $\text{MM}(\text{CH}_4) = 16 \text{ g/mol}$

(a) Quanto de calor é *liberado* na reação de 1,75 mol de C na forma grafite?

(conclusão)

Resposta errada:

$MMc = 12g/mol$
 $mC = 1,75 mol$
 $q = ?$
 $n = \frac{1,75}{12} = 0,145 mol$
 $\Delta H = \frac{q}{n}$
 $-17,82 = \frac{q}{0,145 mol} \Rightarrow q = -2,59 mol$

 $b) \frac{35,17,82}{366 g/mol} = \frac{35,64}{n} \Rightarrow$

GABARITO:

2º)a) Se 1 mol de grafite ----- -17,82 kcal
 1,75 mol de grafite ----- x

$$x = \frac{1,75 mol \times (-17,82 kcal)}{1 mol}$$

$$X = - 31,19 kcal$$

Assim, são liberados 31,19 kcal de calor na reação.

Fonte: Prova realizada no semestre 2016.1.

Pode-se notar que o erro cometido pelo discente ocorreu devido a um erro de estratégia para a resolução do problema, ou seja, o aluno tentou resolver a questão por um caminho diferente do que normalmente é realizado ou ensinado pelo professor, mas, ao fazer isso, percebeu que não chegaria a resposta esperada com o desvio cometido, concluindo com um desacerto e término da questão, pois a resposta seguinte dependia dessa conclusão. Durante a resolução, além do discente não conseguir obter quantidade de massa em gramas, ainda escreveu a unidade de quantidade de matéria para representar um número obtido para a variável de calor. Isso pode ter ocorrido por ter associado que todas as questões que envolvessem cálculos deveriam ser resolvidas com uma das muitas fórmulas constantes no conteúdo das leis termodinâmicas. Assim, não permitiu que o discente pudesse enxergar que para a correta resolução a utilização de uma regra de três simples seria suficiente. Isso é corroborado por De La Torre (2007), que, com relação à subcategoria dos erros estratégicos, há um equívoco na decisão de como resolver o problema, já que o aluno tentou usar uma estratégia inadequada para a resolução da questão.

Estudar os erros cometidos pelos discentes, classificá-los e analisá-los são parte de um processo de avaliação do ensino e aprendizagem fundamentais para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem. Assim, espera-se que esse trabalho possa favorecer o desenvolvimento de abordagens específicas para orientar as metodologias necessárias para enfrentar os erros e integrá-los como parte necessária do processo de ensino e aprendizagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa desenvolvida neste trabalho envolveu a análise de erros nas provas realizadas pelos discentes dos semestres 2016.1 e 2016.2 na disciplina de Físico-Química I do NFD/CAA/UFPE. Este trabalho, sendo um dos primeiros trabalhos no qual se tem registro da utilização da análise MADE em Ensino de Química e o primeiro na área de Físico-Química, apresenta resultados preliminares e, portanto, ainda precisam ser feitos muitos refinamentos para uma melhor adaptação desse tipo de análise para tal conteúdo. Entretanto, essa análise já permitiu verificar o quanto é significativo e rico de detalhes o erro, e, através de uma análise detalhada do motivo pelo qual o indivíduo o comete em determinada etapa da resolução de um problema, mostra que o docente passa a ter meios para propor alterações nas estratégias adotadas para o ensino de tais conteúdos no processo de ensino e aprendizagem, visto que, o erro é parte integrante e extremamente necessária do processo de ensino e aprendizagem, mesmo que o senso comum o trate como algo passível de punição ou de desvalorização.

Nessa perspectiva e observando os resultados obtidos, conseguimos perceber em que ponto do processo de formulação da resposta mais se concentram os erros quando se ensina as leis termodinâmicas. Assim, mesmo sendo constatado que os erros permeiam as três categorias sintetizadas por De La Torre(2007) na sua MADE, houve uma concentração na categoria de organização da informação. Isso é compreensível já que os discentes em curso de graduação possuem níveis cujo os erros de entrada já estão razoavelmente tratados e os de execução repercutem menos no processo cognitivo, pois se espera que o raciocínio para a construção da resposta tenha muito mais impacto que um mero erro de lapso, atenção ou revisão. Assim, os erros de organização da informação, que são os que usam os atributos cognitivos dos discentes (tais como percepção, atenção, associação, linguagem, juízo, pensamento, raciocínio, imaginação etc.) mostram onde é necessária maior atenção do docente.

Paralelamente, destaca-se o quão significativo é categorizar os erros, ratificando-se a relevância da análise MADE ao qualificar o erro e ser um instrumento de desenvolvimento de metodologia que auxiliem de maneira eficiente o processo de ensino e aprendizagem dos indivíduos.

Dessa forma, ao se abordar os conteúdos ligados às leis da termodinâmica o docente deveria desenvolver atividades que estimulem os atributos cognitivos dos alunos para que estes estejam mais adaptados a construir argumentos e relacionar informações que ajudem a construir a compreensão sobre os conceitos abordados. Além disso, ao se analisar os erros de entrada também destacamos a parcela de responsabilidade exclusiva do discente, que é o não conhecimento do tema abordado, cuja quase totalidade dos erros dessa categoria estão concentrados na distorção da informação, caracterizada pela falta de domínio no assunto. Isso é atribuído ao pouco tempo destinado aos estudos por parte do discente. Já em relação aos erros de execução, o foco deveria ser no estímulo a uma cultura da revisão para que se possa corrigir os meros e simples equívocos que venham a ocorrer.

Dessarte, dentre as muitas abordagens metodológicas que podem ser usadas como propostas pedagógicas para um melhor uso do erro, encontram-se o feedback e o uso de problematizações das questões. O primeiro, de forma geral, consiste em permitir que os alunos entrem em contato com as atividades onde cometeram erro e que estas tenham o retorno do professor no sentido de questionar o motivo da resposta, além de mostrar o porquê dela estar errada. A abordagem com foco na problematização das questões envolvendo as leis termodinâmicas pode permitir que o discente perceba de uma forma mais contextualizada o conteúdo estudado, visto que este está presente na realidade, mesmo de forma abstrata. Portanto, o maior contato com problemas que envolvam principalmente fenômenos do seu cotidiano tende a deixá-lo mais familiarizado com o assunto e, assim, atribuir maior significado aos conhecimentos químicos adquiridos.

Assim, espera-se que os resultados obtidos nesse trabalho possam auxiliar no desenvolvimento de abordagens específicas que possam ser utilizadas na proposição de estratégias ou metodologias necessárias para enfrentar os erros e integrá-los como parte necessária do processo de ensino e aprendizagem e que venham a melhorar este processo como um todo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. S. de. **Dificuldades de Aprendizagem em Matemática e a percepção dos professores em relação a fatores associados ao insucesso nessa área.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Católica de Brasília. 2006.
- ATKINS, P. e JONES, L. **Princípios de Química.** Questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3ª ed. Editora Artmed-Bookman, 2006.
- ATKINS, P. e PAULA J. de. **Físico-Química.** 8ª ed. Volume 1. Editora LTC, 2008.
- ÁVILA, G. **O ensino do cálculo e da análise.** Matemática Universitária. P 83-95. 2002.
- BELT, S. T. LEIVISK, M. J. HYDE, A. J. e OVERTON, T. L. **Using a context-based approach to undergraduate chemistry teaching – a case study for introductory physical chemistry.** The Royal Society of Chemistry. 2005.
- BRUCE, C. D. BLIEM, C. L. & PAPANIKOLAS, J. M. **“Partial Derivates: Are You Kidding”:** Teaching thermodynamics using Virtual Substance. University of North Carolina. American Chemical Society. 2008.
- CARSON, E. M. e Watson, J. R. **Undergraduate student’s understandings of entropy and Gibbs free energy.** School of Chemistry, University of Leeds. 2002.
- CESTARI, M. L. **Erro na avaliação da aprendizagem: Desvelando concepções.** Universidade Estadual de Londrina. Paraná. 2013.
- CURY, H. N. **Análise de erros em cálculo diferencial e integral: Resultados de investigação em cursos de engenharia.** COBENGE. Porto Alegre. 2003.
- DE LA TORRE, S. **Aprender com os erros: o erro como estratégia de mudança.** Porto Alegre: Artmed, 2007, p. 128-240.
- FREITAS. M. R. V. de. ANJOS, J. A. L. dos. GUIMARÃES, R. L. **O jogo das Reações Orgânicas: Um caminho para a reelaboração do conhecimento a partir do erro.** Revista de Debates em Ensino de Química. Vol. 2, Nº 2. 2016.
- GIORDAN, M. **O papel da experimentação do ensino de química.** Química Nova Na Escola. Nº 10, 1999.
- GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa científica e suas possibilidades.** Revista de Administração de Empresas. Vol. 35, nº 2, p 57-63. São Paulo. 1995.
- LEITE, L. e ESTEVES, E. **Ensino orientado a aprendizagem baseada na resolução de problemas na licenciatura em ensino de física e ciência.** Actas do VIII congresso galaico-português de psicopedagogia. Porto, Portugal. 2005.

LIMA, N. C. G. de. **Análise dos equívocos relacionados ao processo de ensino e aprendizagem do conceito de entropia em curso de química do nível superior.** Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação), Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru. 2016.

LONGO, R. L. **Notas de Aula da disciplina Físico-Química 11.** Departamento de Química Fundamental. UFPE. 2014.

LUCKESI, C. C. **Verificação ou Avaliação: O que pratica a escola?** Centro de Referência em Educação Mario Covas. Série Ideias. Nº 8. P. 71-80. São Paulo: FDE. 1998.

MACÊDO, G.M.E. **A abordagem do ensino de físico química no ensino médio: utilizando uma situação de aprendizagem.** 11º Simpósio Brasileiro de Educação Química. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA. 2013.

OLIVEIRA, S. F. MELO, N. F. SILVA, J. T. da. e VACONCELOS, E. A. de. **Softwares de simulação no ensino de atomística: Experiências computacionais para desvendar micromundos.** Química Nova na Escola. Volume 35. Nº 1. 2013.

PIETROCOLA, M. **A matemática como estruturante do conhecimento físico.** Caderno brasileiro de ensino de física. Volume 19. Nº 1. p. 89-109. Santa Catarina. 2002

RAVIOLO, A. GARRITZ, A. **Analogias no ensino de equilíbrio químico.** Química Nova na Escola. Nº 27. 2008.

RODRIGUES, R, C. L. B. **Notas de aula** da disciplina Físico-Química do Departamento de Biotecnologia disponibilizadas em <http://bizuando.com/material-apoio/fisico-quimica/FQ4-Termoquimica.pdf>

SÁ-SILVA, J. R. ALMEIDA, C. D. DE e GUINDANI, J. F. **Pesquisa documental: Pistas teóricas e metodológicas.** Revista Brasileira de História & Ciências Sociais. 2009.

SOUSA, A. B. **A resolução de problemas como estratégia didática para o ensino da matemática .** Universidade Católica de Brasília. 2005.

SOUSA, G. R. B. de.; SOUSA, M. P. **O erro no processo de construção da aprendizagem.** IV Fórum Internacional da Pedagogia. Parnaíba, Piauí. 2012.

THOMAZ, P. L. e SCHWENZ, R. W. **College Physical Chemistry student's Conceptions of Equilibrium and Fundamental Thermodynamics.** Department of Chemistry and Biochemistry, University of Colorado, United States of America. 1998.

TSAPARLIS, G. **Teaching and learning physical chemistry: A review of educational research.** Department of Chemistry, University of Ioannina, Grécia, 2007.

VALE, M. L. DE S. **O erro como ponte para a aprendizagem matemática: um estudo com alunos do 7º ano do ensino básico.** 169 f. Universidade de Lisboa. Lisboa. 2010.

VASCONCELOS, C. C. **Ensino-aprendizagem de matemática: Velhos problemas e novos desafios.** Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2015.

Villas, S. S. **A construção da aprendizagem a partir do erro.** Disponível em < d >. Acesso em 04 de Janeiro de 2017.

ANEXO A - PROVA DO SEMESTRE 2016.1



UFPE/CAA/NFD
 Química-Licenciatura
 Disciplina: Físico-Química I
 Prof.: Juliana Angeiras

2ª Prova

Nome: _____

1. (3,0) Marque com um "X" a(s) afirmação(ões) correta(s) e justifique corrigindo as falsas:

(a) A entalpia padrão de variação (ou mudança) é a entalpia para um processo no qual as substâncias inicial e final envolvidas estão em seus estados padrão. O estado padrão é aquele em que a substância é pura e está a 1 bar.

(b) Entalpias de mudança são aditivas, como em $\Delta_{\text{sub}}H^\circ = \Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ$

(c) A entalpia padrão de combustão é a entalpia padrão de reação para a completa oxidação de um composto orgânico à CO_2 gasoso e H_2O gasosa, se o composto contém apenas C, H e O, e gás N_2 , se N também está presente.

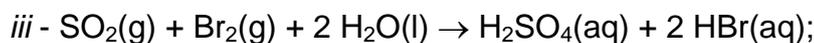
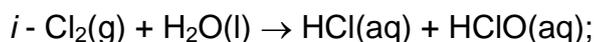
(d) A dependência da entalpia de reação com a temperatura é dada pela lei de Kirchhoff:

$$\Delta_r H^\circ(T_2) = \Delta_r H^\circ(T_1) + \int_{T_1}^{T_2} \Delta_r C_p^\circ dT$$

$$\Delta_r C_p^\circ = \sum \nu C_{p,m}^\circ(\text{produtos}) - \sum \nu C_{p,m}^\circ(\text{reagentes})$$

(e) Uma diferencial exata é uma quantidade infinitesimal que, quando integrada, dá um resultado que é independente do caminho entre os estados inicial e final. Uma diferencial inexata é uma quantidade infinitesimal que, quando integrada dá um resultado que depende do caminho entre os estados inicial e final.

(f) É verdade que para as reações abaixo entropia do sistema aumenta, diminui e diminui, respectivamente durante cada um dos seguintes processos:



2. (3,0) A equação termoquímica para a síntese do metano a partir do C(grafite) e gás hidrogênio está mostrada abaixo:



Dados: $\text{MM}(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $\text{MM}(\text{CH}_4) = 16 \text{ g/mol}$

(a) Quanto de calor é *liberado* na reação de 1,75 mol de C na forma grafite?

(b) Se o calor *liberado* na reação foi de 35,64 kcal, qual a quantidade (em massa) de CH_4 foi produzida?

3. (3,0) Estime a entalpia padrão de formação de hexano líquido a 298 K, a partir da entalpia padrão de formação do hexano gasoso e entalpia de vaporização do hexano ($\Delta_{\text{vap}} H^\circ = 28,9 \text{ kJ/mol}$), ambas a 298 K. Sugestão: Decomponha a molécula de hexano em grupos termoquímicos, tal como proposto pela figura 1. Utilize os dados da tabela abaixo.

Group	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$C_{p,m}^\circ / \text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
$\text{C}(\text{H})_3(\text{C})$	-42.17	25.9
$\text{C}(\text{H})_2(\text{C})_2$	-20.7	22.8
$\text{C}(\text{H})\text{C}_3$	-6.19	18.7
$\text{C}(\text{C})_4$	+8.16	18.2

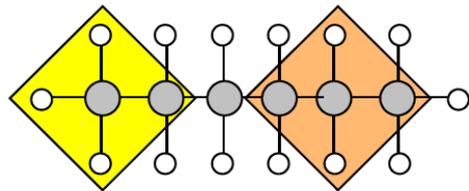


Tabela 1: Dados termodinâmicos das contribuições dos grupos termoquímicos de Benson.

Figura 1: modelo proposto para tratamento da molécula de hexano utilizando grupos termoquímicos

4. (1,0) + Ponto Extra: A capacidade calorífica a pressão constante molar do $\text{O}_2(\text{g})$ de 300 K a 1200 K é dada por:

$$C_{p,m} = 25,72 + 12,98 \times 10^{-3} T - 38,62 \times 10^{-7} T^2. \quad C_p \text{ dado em } \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

em que T é a temperatura em kelvins. Calcule o valor de ΔS_m quando um mol de $\text{O}_2(\text{g})$ é aquecido a pressão constante de 300 K a 1200 K. *Discuta* o resultado obtido.

ANEXO B - PROVA DO SEMESTRE 2016.2



UFPE/CAA/NFD
 Química-Licenciatura
 Disciplina: Físico-Química I
 Prof.: Juliana Angeiras

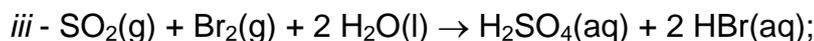
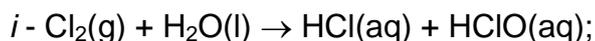
2ª Prova

Nome: _____

1. Responda:

(a) **(1,0)** As entalpias de mudança são aditivas, como em $\Delta_{\text{sub}}H^\circ = \Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ$?
 Por quê?

(b) **(1,5)** Para as reações abaixo, com relação à entropia, diga se deve ocorrer um aumento, diminuição ou permanecer constante.



2. **(2,5)** A equação termoquímica para a síntese do metano a partir do C(grafite) e gás hidrogênio está mostrada abaixo:



Dados: $\text{MM}(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $\text{MM}(\text{CH}_4) = 16 \text{ g/mol}$

(a) Quanto de calor é *liberado* na reação de 1,75 mol de C na forma grafite?

(b) Se o calor *liberado* na reação foi de 35,64 kcal, qual a quantidade (em massa) de CH_4 foi produzida?

3. **(2,5)** Estime a entalpia padrão de formação de hexano líquido a 298 K, a partir da entalpia padrão de formação do hexano gasoso e entalpia de vaporização do hexano ($\Delta_{\text{vap}}H^\circ = 28,9 \text{ kJ/mol}$), ambas a 298 K. Sugestão: Decomponha a molécula de hexano em grupos termoquímicos, tal como proposto pela figura 1. Utilize os dados da tabela abaixo.

Group	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$C_{p,m}^\circ / \text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
$\text{C(H)}_3(\text{C})$	-42.17	25.9
$\text{C(H)}_2(\text{C})_2$	-20.7	22.8
C(H)C_3	-6.19	18.7
C(C)_4	+8.16	18.2

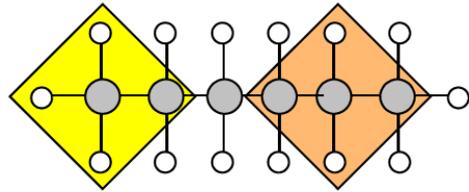
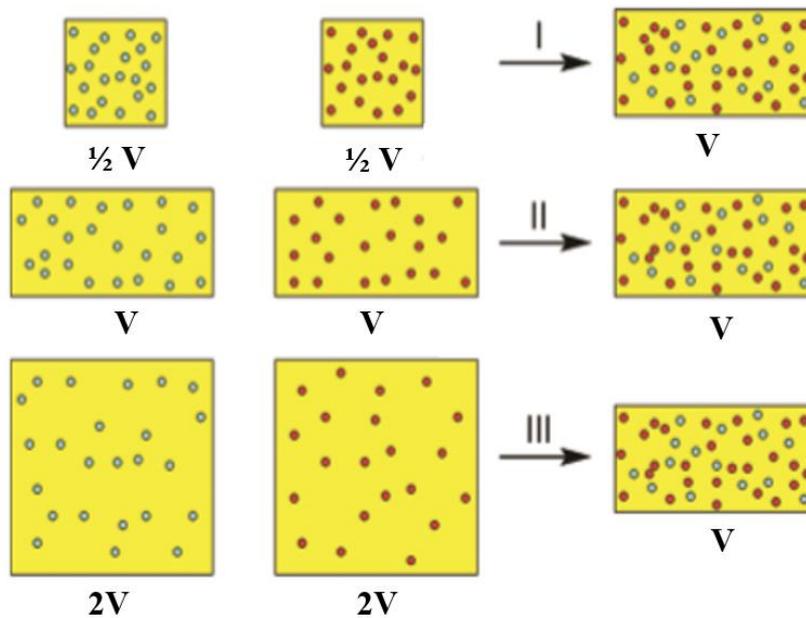


Tabela 1: Dados termodinâmicos das contribuições dos grupos termoquímicos de Benson.

Figura 1: modelo proposto para tratamento da molécula de hexano utilizando grupos termoquímicos

4. (2,5) Calcule a variação de entropia associada a cada processo representado abaixo, considerando que os processos são isotérmicos reversíveis e os gases se comportam como gases ideais.

Ponto Extra: *Discuta* o resultado obtido.



Figuras adaptadas da referência: A. Ben-Naim. Entropy: Order or Information. *J. Chem. Educ.* 88, 594, 2011.