



10

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

Categorization of errors in evaluative activities on thermodynamic laws using MADE

RESUMO

Gustavo H. Lemos de Souza

gustahlemossouza@gmail.com

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru, PE, Brasil

Juliana Angeiras Batista da Silva

juangeiras@yahoo.com.br

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru, PE, Brasil

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 e aprendizagem e fundamental para a construção ou reconstrução do conhecimento. Para isso, 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. For this, 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. EDAM. Thermodynamics Laws.



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, forma-se o cenário atual do Ensino no Brasil e ecoa como um retrato da nossa situação social atual.

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. Uma das maiores dificuldades é atribuída à fraca base matemática, que impediria 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. Entretanto, deve-se levar em conta que, embora seja atribuído à matemática o status de linguagem dos fenômenos físicos e químicos, a maior dificuldade está associada à falta de habilidade de estruturar o pensamento para apreender o mundo utilizando a matemática (PIETROCOLA, 2002). Ou seja, Pietrocola (2002) sugere que “não parece que um mero domínio operacional dos conteúdos matemáticos seja capaz de permitir a incorporação de tal habilidade”

Por conseguinte, um exemplo típico na disciplina de físico-química pode ser encontrado no aprendizado das leis termodinâmicas, as quais, além de possuir conceitos muito abstratos, são encontradas dificuldades no ensino do conteúdo por conta dos cálculos envolvidos, que tornam a barreira para a progressão na aprendizagem 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.

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).

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 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ensino de físico-química

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

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 contextualizada. 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. Em particular, os conteúdos relacionados aos conceitos termodinâmicos se encaixam nessa perspectiva, 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 (CARSON e WATSON, 2002).

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. Esse fato se reflete no decorrer da carreira profissional do indivíduo, já que é algo que provavelmente persistirá em ocorrer (THOMAZ e SCHWENZ, 1998).

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 devido 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”.

2.2 Dificuldades com os cálculos

Desde a antiguidade, o desenvolvimento de raciocínios lógicos para exercitar e compreender os fenômenos naturais era um passo além da física concreta – sendo uma das marcas do pensamento grego. Assim, a observação natural sustentava a compreensão a respeito da natureza de maneira metafísica (GIORDAN, 1999). Com isso, Arquimedes (287-212 a.C.) já usava ideias de Cálculo, contudo o Teorema Fundamental do Cálculo só veio a ser concebido 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 vistas no momento em que é preciso manipular cálculos básicos, cujas deficiências de um não-contato, mau contato ou contato insuficiente na aprendizagem desse conteúdo em níveis mais básicos se evidenciam.

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.

Vale ressaltar nesse ponto, que não apenas a operacionalização dos conteúdos matemáticos é capaz de fornecer um aprofundamento em conteúdos da físico-química. Pietrocola, em seu trabalho publicado em 2002, traz uma ampla discussão acerca da matemática no aprendizado de conteúdos de física, sugerindo que existe uma relação muito mais complexa entre essas disciplinas do que a operacionalização dos conteúdos matemáticos para a resolução e/ou entendimento de problemas físicos, e defendendo a tese de que a maior dificuldade está associada à falta de habilidade de estruturar o pensamento para apreender o mundo utilizando a matemática. Entretanto, nesse trabalho não há sugestões de propostas que passem a estruturar o pensamento do discente com base nas linguagens que a matemática, sendo, portanto, considerado pelo autor um objetivo-obstáculo a ser considerado nas áreas de ensino.

2.3 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 (CESTARI, 2013).

A busca pela compreensão do erro no processo de ensino e aprendizagem data do início do século XX, quando cientistas americanos ligados à corrente behaviorista o analisaram com maior interesse. Na Europa, paralelamente, pesquisadores trabalharam o erro baseados em Gestalt ou psicanálise. Por volta da década de 50, alguns métodos de análise de erro começaram a surgir. 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).

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

Segundo De La Torre (2007), o erro pode ser interpretado relativamente, visto que tanto pode ser negativo, pois não houve a construção do conhecimento, quanto positivo, já que pode servir de base para analisar os motivos que levaram o aluno a uma não compreensão. Assim, uma avaliação de aprendizagem eficiente deveria visar a qualidade do resultado que é buscado, 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 a proposição de 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, o professor pode realizar uma análise de erros efetiva, permitindo saber a que natureza ele pertence (SOUSA E SOUSA, 2012).

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 englobava Galileu (DE LA TORRE, 2007). Por conseguinte, 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. 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 em que o discente estará fadado a cometer o mesmo equívoco (VILLAS, 2013).

2.4 Modelo de análise didática dos erros (MADE)

Para De La Torre (2007, p. 107), 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 pedagogicamente. Ao sistematizar os tipos de erro, De La Torre (2007) propôs uma categorização para discriminar o erro. Essa classificação chama-se MADE (Modelo de Análise Didática dos Erros) e explicita, sistematicamente, uma maneira de comparar o resultado esperado e o obtido, pois o exame dos dados de entrada, os dados de organização da informação e a execução de tarefas, pode ter utilidade preditiva e corretiva. No Quadro 01, estão descritos os erros associados com o MADE por categoria.

Quadro 1: Tipos de erros por categoria

ERROS DE ENTRADA	ERROS DE ORGANIZAÇÃO	ERROS DE EXECUÇÃO
Erros no Plano de Intenção – Advindos da maneira como o docente expressa a informação. Os erros são divididos nas seguintes classes: indefinição de metas, incompreensão do objetivo e conflitos de objetivos.	Erros de Análise e Síntese – Acontecem 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.	Erros Mecânicos – São cometidos no procedimento, 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.

<p>Erros no Plano de Intenção – Surgem de ambiguidades no momento de expressão do questionamento. As classes desse plano são: Omissão de informação (esta com três subclasses: Sobrecarga de informação, distração e insuficiente percepção), redundância e distorção.</p>	<p>Erros de Ordenação – São as 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.</p>	<p>Erros Operacionais – São gerados por esquecimentos que causam omissões ou confusões. É comum ocorrer quando há nervosismo ou ansiedade por parte do indivíduo. Normalmente, reconhecido por atribuir sentidos diferentes aos caracteres.</p>
<p>Erros no Plano de Compreensão – Consistem no não entendimento das palavras que são expressas no questionamento, sendo o motivo léxico, conceitual ou lógico</p>	<p>Erros de Conexão e Interferências – 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.</p>	<p>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 passos errados para a resolução de problemas.</p>

Fonte: De La Torre (2007).

O Quadro 2 e o Gráfico 1 ilustram a quantificação

2.5 As leis termodinâmicas

2.5.1 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 pela realização de trabalho. No caso de um sistema isolado, nenhuma dessas alternativas é possível. A partir dessa lei, observa-se que as paredes (ou limites) do sistema se destacam por delimitarem o contato com a vizinhança. Assim, constata-se os dois tipos de paredes: adiabáticas e diatérmicas. As primeiras não permitem a transferência de calor entre sistema e vizinhança, e a última 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, apenas dependendo do estado atual do sistema. Essa função ainda pode ser categorizada como propriedade intensiva, que independem da quantidade de massa ou de matéria do sistema, ou extensiva, que são proporcionais à massa e a quantidade de matéria do sistema (ATKINS e JONES, 2006).

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

$$H = U + PV, \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que H é a entalpia, U é a energia interna, P é a pressão e V é o volume, e, cuja variação de entalpia ΔH , de um determinado processo, para processos a pressão constante, corresponde numericamente ao calor liberado/absorvido pelo 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).

2.5.2 A segunda lei

A segunda lei é expressa de diferentes formas, contudo, uma das mais enunciadas é a do Lorde Kelvin, cujo livro para ensino superior de cursos de Química e áreas afins, Físico-Química, dos autores Atkins e De Paula (p. 68, 2008) cita: “Não é possível a realização de um processo que tenha como único resultado a absorção de calor de um reservatório térmico e a sua completa conversão em trabalho”.

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).

2.5.3 Entropia

A entropia (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 enunciada 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:

$$dS = \frac{dq_{rev}}{T}, \quad (\text{Eq. 2})$$

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:

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dq_{rev}}{T}, \quad (\text{Eq. 3})$$

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 (considerando sistema + vizinhança) 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.

2.5.4 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: Para uma substância cristalina perfeita, ou seja, todos os átomos ou íons estão uniforme e regularmente distribuídos, em $T = 0 \text{ K}$ toda a energia do movimento térmico foi extinta, sugerindo que nessas condições a entropia da substância seja nula (ATKINS e DE PAULA, 2008).

Isso significa que quando se está próximo ao zero absoluto de temperatura (0 K), 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:

$$S(T) = S(0) + \Delta S(\text{de aquecimento de } 0 \text{ para } T) \quad (\text{Eq. 4})$$

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

$$S(T) = \int_0^T \frac{C_p dT}{T} \quad (\text{Eq. 5})$$

3 METODOLOGIA

Para analisar as contribuições do ensino de Ciências CTS para a apropriação de conceitos científicos o percurso deste trabalho consistiu em: (i) viabilizar um contexto de pesquisa adequado aos nossos objetivos; (ii) desenvolver uma sequência didática fundamentada nos pressupostos do ensino CTS; (iii) produzir e analisar os dados acerca das contribuições dessa sequência didática para os estudantes.

3.1 O contexto da pesquisa e os sujeitos investigados

Este trabalho foi realizado no Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco localizado no município de 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.

Por envolver análise de material escrito, esta pesquisa foi qualitativa, visto que foram obtidos dados descritivos acerca 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

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

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).

Para a coleta dos dados, foi feita uma seleção documental das avaliações escritas realizadas com os discentes da disciplina Físico-Química I, as quais totalizaram o número de 35 (17 do semestre 2016.1 e 18 do semestre 2016.2), cujas questões avaliadas envolveram os conteúdos de termodinâmica.

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. Para a categorização dos erros, foram usadas todas as categorias, subcategorias, classes e subclasses propostos pelo autor, dessa forma, cada erro encontrado nas questões foi analisado e classificado mediante as suas características e agrupado da melhor maneira possível na MADE. Nesse contexto, foram encontrados erros em todas as categorias e para quase todas as subdivisões, contudo, na seção “Resultados e Discussão” foram discutidos apenas aqueles que melhor representavam a categorização ilustrada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise geral dos erros cometidos pelos discentes

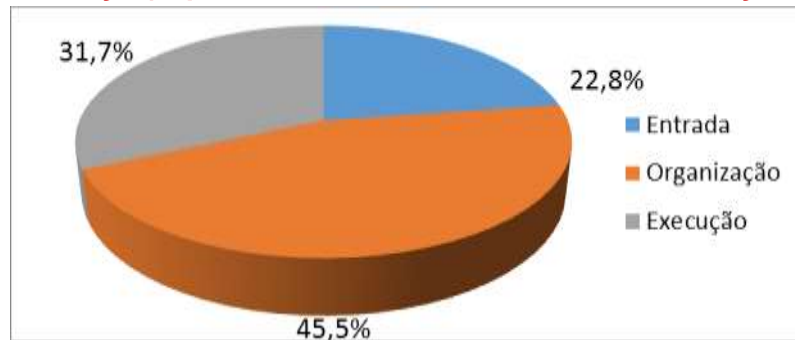
Os tipos de provas avaliadas foram realizados nos semestres 2016.1 e 2016.2 e contemplam conteúdos relativos à primeira e à segunda lei da termodinâmica, tais como entalpias padrão, entalpias de mudança física (transição de fase), entalpias de reação, entalpias padrão de formação, equações termoquímicas, Lei de Hess, variação de entalpia com a temperatura, entropia e espontaneidade de processos químicos e físicos. Esses temas 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 do semestre 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 neste trabalho, foi utilizada uma adaptação da 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 questões analisadas 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 equivocados. O gráfico da Figura 01 fornece 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 1: Gráfico da quantidade de erros, divididos por categoria (Entrada, organização e execução), que ocorreram considerando-se a avaliação como um todo.



Fonte: Própria (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, cujos períodos 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. 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 principais tipos de erros cometidos são descritos em detalhe e discutidos. É importante ressaltar que, na análise de todas as questões de todas as provas, foram encontrados vários exemplos de erros distribuídos na maior parte das categorias e subcategorias destacadas por De La Torre (2007), contudo, em virtude de não tornar esse trabalho muito extenso, serão explicitados os que se mostraram mais representativos das características que os distinguem das demais divisões.

4.2 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 possivelmente por faltar conhecimento ou experiência suficiente para entender o que se pede. Esse fato está de

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

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 acerca de uma 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%). Os 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 de forma adequada 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. Nesse sentido, abordagens que possam estimular a interpretação do questionamento pelo aluno – como problematização e contextualização - podem auxiliar a diminuição desse tipo de erro, pois tendem a exercitar a cognição do indivíduo para relacionar os dados apresentados de maneira mais eficiente.

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. Assim, o exemplo desse tipo de equívoco foi escolhido para representar a categoria e está ilustrado no Quadro 02, mostrando que este deve ocorrer por má interação entre a informação e o processo cognitivo do indivíduo, de acordo com De La Torre (2007).

Quadro 2: Exemplo de 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: 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 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 os valores de entalpia das mudanças de fases dependem apenas dos estados inicial e final, visto que esta variável é uma função de estado. Com isso, quando ele se refere a dissipação da energia, apresenta uma resposta que diverge daquilo que foi questionado. 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 inicial e final – cuja variação está representada pelo delta (Δ) -, e as entalpias de transição de fases estavam apenas de forma secundária representando essa característica mencionada dessa variável termodinâmica.

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. Para essa categoria, os erros encontrados permearam as três subcategorias, com as seguintes concentrações: 82,6% na de análise e síntese, 10,9% na de ordenação e 6,5% na de conexão e interferência.

Nessa classificação, 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, tiveram 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.

Desse modo, no Quadro 03, é ilustrado um exemplo de análise errônea classificado na subcategoria análise e síntese, o qual foi escolhido para ilustrar a categoria de organização da informação por ter sido o de maior incidência. Esses erros 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.

Quadro 3: Resposta errada ao item “a” da questão 1

<p>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?</p>
<p>Resposta errada: É uma função exata, pois há estados final e inicial.</p>
<p>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.</p>

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 pelo discente, que começou atribuindo uma característica. Além disso, observa-se que o discente tinha certa noção do que deveria responder, já que usou as palavras “estado final e inicial”, o que indica que ele entendeu o questionamento, não sendo, assim, um erro de entrada. Isso porque a questão da prova

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

2016.2 simplesmente questionava se era possível que a entalpia pudesse ser escrita como adição das entalpias de mudança de fase. Portanto, 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 leva 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. Com isso, para auxiliar na diminuição desse tipo de erro, estratégias de problematização que visem a construção de respostas podem ser eficientes, pois estimular o indivíduo a produzir respostas, tende ajudar na análise, síntese, ordenação e conexão das informações que ele possui de maneira clara e articulada.

Para categoria de erros de execução, a segunda em termos de quantidade de erros cometidos, 32 dos 101 erros encontrados (31,7% do total). Nesse sentido, constatou-se erros distribuídos entre as três subcategorias, sendo que a divisão proporcional foi: 62,5 % mecânico, 31,2% operacional e 6,3% estratégico. Nesta categoria, estão classificados os erros cometidos basicamente por equívocos e desatenções, não necessariamente porque o indivíduo não sabia responder.

Nessa classificação, observa-se que a subcategoria dos erros mecânicos corresponde à 62,5% do total de erros. Nesta categoria, os erros são atribuídos à erros acidentais e 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, os quais 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 anteriores, pois não representam necessariamente um desconhecimento da maneira a qual deve ser respondida a questão, mas devido à deslizes no procedimento de resolução, que implicam em mera falta de revisão por parte do indivíduo, tal como ao não fornecimento da quantidade pedida na unidade correta (a quantidade de matéria produzida no processo em massa), como ilustrado na Quadro 04, em que há uma ilustração do erro cometido e classificado neste trabalho na categoria de execução, na subcategoria dos erros mecânicos (a qual teve a maior quantidade de erros da categoria), referente a questão 2 da prova 2016.2.

Quadro 4: Resposta errada ao item “b” da questão 2

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



Dados: MM(C) = 12 g/mol; MM(CH₄) = 16 g/mol

(b) Se o calor *liberado* na reação foi de 35,64 kcal, qual a quantidade (em massa) de CH₄ foi produzida?

Resposta incompleta:

16 g/mol → -17,82 kcal

$$X \rightarrow -35,64 \text{ kcal} \Rightarrow -17,82 \text{ kcal} \times x = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times (-35,64) \rightarrow x = \frac{16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot (-35,64 \text{ kcal})}{(-17,82 \text{ kcal})} = 32 \text{ g}$$

1 mol metano \rightarrow 16 g

$$Y \rightarrow 32 \Rightarrow 16y = 32 \text{ mol} = 2 \text{ mol de metano produzido}$$

GABARITO:

b) A quantidade de energia envolvida em um processo é uma propriedade extensiva, ou seja, depende da quantidade de matéria. Assim, se 1 mol de metano libera 17,82 kcal, a liberação de outra quantidade de energia se relaciona de forma direta com a quantidade de matéria envolvida nesse outro processo. Assim, pode-se utilizar uma “regra de três” para determinar a quantidade de matéria:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de CH}_{4(g)} \text{ -----} - 17,82 \text{ kcal} \\ x \text{ -----} - 35,64 \text{ kcal} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ mol} \times (-35,64 \text{ kcal})}{(-17,82 \text{ kcal})} = 2 \text{ mols de metano}$$

Para encontrar a quantidade de massa em gramas, utiliza-se a relação entre número de mols e massa molar:

$$n = \frac{m}{MM} \Rightarrow m = n \times MM \Rightarrow m = 2 \text{ mol} \times 16 \text{ g/mol} = 32 \text{ g de CH}_{4(g)}$$

Fonte: Prova realizada no semestre 2016.2.

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, pressa ou ao stress causado pelo contexto avaliativo. Para diminuir esse tipo de erro, abordagens como a realização de feedback podem ajudar o discente a perceber seus equívocos advindos de pressa ou distração, o que pode ajudar o discente a aumentar sua atenção e concentração em situações semelhantes futuras.

5 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 Curso de Química-Licenciatura 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 o erro é significativo e informativo acerca do motivo pelo qual o indivíduo o comete em determinada etapa da resolução de um problema, o que pode ser acessado por meio de uma análise detalhada. Assim, o docente passa a ter meios para propor alterações nas estratégias adotadas para o ensino de tais conteúdos no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que o erro é parte integrante e extremamente necessária neste processo, mesmo que o senso comum ainda o trate como algo passível de punição ou de desvalorização.

Nessa perspectiva e observando os resultados obtidos, foi possível 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

CATEGORIZAÇÃO DE ERROS EM ATIVIDADES AVALIATIVAS SOBRE AS LEIS TERMODINÂMICAS UTILIZANDO MADE

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.

Assim, ao se abordar os conteúdos ligados às leis da termodinâmica, o docente deve procurar 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, o que deve incluir também aspectos relacionados à habilidade de estruturar o pensamento científico por meio da matemática, aspecto já considerado por Pietrocola (2002). 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 e discussão do conteúdo apreendido 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 de ela 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, o que pode contribuir para um maior significado aos conhecimentos químicos adquiridos.

Portanto, 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

- 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. **Revista Matemática Universitária**, São Paulo, n.33, p. 83-95, dezembro de 2002.
- 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**, v. 2, n. 2, 2016.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação do ensino de química. **Química Nova Na Escola**, n. 10, 1999.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa científica e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 2, p 57-63, 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.
- 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.
- PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v.19, n.1: p.89-109, ago. 2002.
- 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, G. R. B. de.; SOUSA, M. P. O erro no processo de construção da aprendizagem. IV Fórum Internacional da Pedagogia. **Anais...**, 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.
- VILLAS, S. S. **A construção da aprendizagem a partir do erro.** Disponível em < <https://pedagogiaaopedaletra.com/a-construcao-da-aprendizagem-a-partir-do-erro/> >. Acesso em 04 de Janeiro de 2017.