



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
Centro Acadêmico do Agreste
Núcleo de Formação Docente
Curso de Química - Licenciatura



JORDHAN WILLAMYS BEZERRA CAVALCANTI

**ERRO COMO ESTRATÉGIA DE MUDANÇA: UMA ANÁLISE DAS
ATIVIDADES AVALIATIVAS DO COMPONENTE CURRICULAR
FÍSICO-QUÍMICA II**

**Caruaru
2017**

JORDHAN WILLAMYS BEZERRA CAVALCANTI

**ERRO COMO ESTRATÉGIA DE MUDANÇA: UMA ANÁLISE DAS
ATIVIDADES AVALIATIVAS DO COMPONENTE CURRICULAR
FÍSICO-QUÍMICA II**

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

Orientadora: Prof^a Dr^a Gilmara Gonzaga Pedrosa

**Caruaru
2017**

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

C376e Cavalcanti, Jordhan Willamys Bezerra.
Erro como estratégia de mudança: uma análise das atividades avaliativas do componente curricular Físico-química II. / Jean Martins de Arruda Santos. – 2017.
65f. : 30 cm.

Orientadora: Gilmara Gonzaga Pedrosa.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Química, 2017.
Inclui Referências.

1. Química – Estudo e ensino. 2. Físico-química. 3. Erro. 4. Avaliação. I. Pedrosa, Gilmara Gonzaga (Orientadora). II. Título.

371.12 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-458)

JORDHAN WILLAMYS BEZERRA CAVALCANTI

**ERRO COMO ESTRATÉGIA DE MUDANÇA: Uma análise
das atividades avaliativas do componente curricular físico-química II.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Química-Licenciatura do Centro
Acadêmico do Agreste da Universidade
Federal de Pernambuco para a obtenção do
grau/título de licenciado em Química.

Aprovado em: 20 /12/ 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr^a. Gilmara Gonzaga Pedrosa (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr^a. Roberta Pereira Dias (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Augusto César Lima Moreira (Examinador Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a toda a minha família, pelo apoio dado durante a minha trajetória acadêmica. Em especial aos meus pais: José Jailson Cavalcanti e Maria do Socorro Bezerra Cavalcanti, que mesmo precisando de mim na loja enfrentavam tudo sozinhos para que eu pudesse ter mais tempo para a universidade. A minha irmã: Jamyly por toda a ajuda. A minha namorada: Luana D’Arc por acreditar em mim mesmo quando eu não acreditava. A “Socorro” que trabalha na minha casa pelas “marmitex” feitas durante esses cinco anos. A todos os meus amigos da “turma do 10”. A todos os meus irmãos da Missão Santíssima Trindade pelas orações. A todos os professores, em especial a Professora Gilmara Pedrosa. E por fim dedico esse trabalho a minha avó Isabel de Lima Bezerra (*in memória*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a minha mãezinha NOSSA SENHORA e a todo o céu pela intercessão durante todas as etapas da minha vida. Faço primeiro esse agradecimento, não por que todos fazem, mas por que são Eles que me sustentam na caminhada. Durante esses cinco anos na universidade não foi fácil conciliar a vida de missionário católico com a minha vida acadêmica. Isso mesmo! Eu sou um missionário católico e viajo o Brasil inteiro levando a palavra de Deus para os jovens.

Agradeço a toda minha família, em especial a meus pais: José Jailson Cavalcanti e Maria do Socorro Bezerra Cavalcanti, por me ajudar de todas as formas possíveis e imagináveis. Agradeço a minha irmã: Jamyly e a minha namorada Luana D’Arc por acreditarem em mim. Aos meus amigos da “turma do 10” pelos estudos e resenhas durante esses cinco anos na universidade. Vocês foram grandes presentes de Deus para mim, guardarei todos em minha vida.

Agradeço também em especial a minha orientadora, Gilmara Pedrosa, por toda paciência e ensinamentos na construção deste trabalho, por todo carinho e principalmente por toda disponibilidade em me orientar. Também agradeço ao seu esposo o Professor Ricardo Guimarães por sempre me ceder sua mesa na sala para que eu pudesse fazer as análises das provas.

Agradeço a todos os professores que me acompanharam durante a graduação, que deixaram suas marcas em minha vida pessoal e profissional. Em especial ao professor José Ayrton dos Anjos por me aguentar durante três anos no PIBID, e as professoras Juliana Anjeiras, Roberta Dias e Gilmara Pedrosa pelas monitorias, que me ajudaram muito na construção do meu “ser professor”.

Agradeço a coordenadora do curso, Prof.^a Jane Laranjeira, pela sua competência e doação. Agradeço aos meus irmãos da Missão Santíssima Trindade pelas orações, amo vocês demais. Agradeço, sobretudo a minha VOVÓ BEL (*in memória*) pela intercessão por mim. Durante meus últimos dias escrevendo esse trabalho, pedi muito a ajuda dela e deu tudo certo. Te amo VOVÓ BEL.

“Louvai ao Senhor por que Ele é bom, por que sua misericórdia é eterna.” Salmo 135,1

RESUMO

Tradicionalmente o erro é visto como fracasso ou insucesso diante de um processo. Desconstruir essa visão tão enraizada tanto no que diz respeito à convivência social quanto na educação, e principalmente nas atividades avaliativas, não é uma missão fácil. Como bem sabemos no processo de ensino aprendizagem se deparar com o erro é inevitável (TORRE, 2007). Vê-lo com uma visão construtivista, de forma que ele possa se tornar tanto uma ferramenta de construção do conhecimento como de prevenção de equívocos futuros, é um grande desafio. O desenvolvimento desse trabalho foi motivado pela percepção das diversas dificuldades enfrentadas pelos discentes do curso de Química-Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, que cursaram o componente curricular Físico-Química II. A pesquisa objetivou categorizar os diferentes tipos de erros cometidos pelos discentes baseando-se no Modelo de Análise Didática do Erro (MADE), proposto por Torre (2007). O trabalho vigente configura-se como uma pesquisa descritiva, de caráter quali-quantitativa no que se refere a sua natureza, e em relação aos procedimentos aplicados foi desenvolvida pela análise documental. Foram analisadas as atividades avaliativas do componente curricular Físico-Química II nas turmas dos semestres de 2012.2, 2013.1, 2015.2, 2016.1, 2016.2, 2017.1, referente ao conteúdo de termodinâmica de soluções. Em face dos resultados obtivemos que nas duas primeiras turmas os erros mais frequentes foram o de entrada e execução, enquanto nos semestres de 2015.2, 2016.1 houve o aparecimento significativo dos erros de organização da informação e por fim nos semestres de 2016.2, 2017.1 os erros de execução foram os mais encontrados.

Palavras-chave: Avaliação. Erro. Físico-Química.

ABSTRACT

Traditionally, error is seen as failure or failure before a process. To deconstruct this vision so deeply rooted both in social coexistence and education, and in highlighting evaluative activities, is not an easy task. As we well known in the process of teaching learning to come across the error is inevitable (TORRE, 2007). Seeing it with a constructivist view, so that it can become both a tool for building knowledge and preventing future misunderstandings, is a great challenge. The current research was motivated by the perception of the several difficulties faced by the students of the Chemistry course of the Federal University of Pernambuco in the city of Caruaru, who studied the discipline of Physical-Chemical II. The research aimed to categorize the different types of errors committed by students based on the Model of Didactic Analysis of Error (MADE), proposed by Torre (2007). The current work is configured as a descriptive research, of a qualitative and quantitative nature in relation to its nature, and in relation to the applied procedures was developed by the documentary analysis. The evaluative activities of the discipline were analyzed in the periods of 2012.2, 2013.1, 2015.2, 2016.1, 2016.2, 2017.1, regarding the thermodynamic content of solutions. In the first two classes, the most frequent errors were those of entry and execution, while in the semesters of 2015.2, 2016.1 there was a significant appearance of the information organization errors and finally in the semesters of 2016.2, 2017.1 the errors of were the most found.

Keywords: Evaluation. Error. Physical Chemical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipologia dos erros de entrada	20
Figura 2: Tipologia dos erros de organização.....	21
Figura 3: Tipologia dos erros de execução	22
Figura 4: Médias das notas referentes a três avaliações das turmas 2012.2 à 2017.1 da disciplina de Físico-Química II	39
Figura 5: Enunciado da questão 4 da avaliação	40
Figura 6: Resposta do Discente A para a questão 4.....	41
Figura 7: Resposta correta da questão 4 da avaliação.....	42
Figura 8: Enunciado da questão 1	43
Figura 9: Resposta do discente B para a questão 1	43
Figura 10: Resposta do discente C para a questão 1	44
Figura 11: Resposta do discente D para a questão 1	45
Figura 12: Resposta das questões apresentadas nas figuras 9,10, 11	46
Figura 13: Resposta do discente E para a questão 4	47
Figura 14: Resposta do discente F para a questão 4.....	48
Figura 15: Resposta do discente G para a questão 4.....	49
Figura 16: Resposta do discente H para a questão 1	50
Figura 17: Enunciado da questão 2	51
Figura 18: Resposta do discente I para a questão 2	51
Figura 19: Enunciado da questão 3	52
Figura 20: Resposta do discente J para a questão 3	52
Figura 21: Resposta correta para a questão 3.....	53
Figura 22: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma. 2012.2	54
Figura 23: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2013.1.	55
Figura 24: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2015.2	55
Figura 25: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.1	56
Figura 26: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.2	56
Figura 27: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2017.1	57
Figura 28: Classificação das subcategorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2012.2	57
Figura 29: Classificação das subcategorias dos erros referentes a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2013.1	58
Figura 30: Classificação das subcategorias dos erros referentes a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2015.2	58
Figura 31: Classificação das subcategorias dos erros referente a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.1	58

Figura 32: Classificação das subcategorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.2	59
Figura 33: Classificação das subcategorias dos erros referente a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2017.1	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MADE-Modelo de Análise Didático dos Erros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivos Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Do objeto de estudo: erro.....	16
3.1.1 O erro: da visão destrutiva ao efeito construtivo	16
3.1.2 O erro no processo de ensino e aprendizagem	18
3.1.3 Tipologias do erro: Modelo de análise didática do erro (MADE).....	19
3.2 Avaliação e o erro.....	23
3.3 Termodinâmica de soluções.....	25
3.3.1 Descrição termodinâmica das misturas	25
3.3.2 Potenciais Químicos dos Líquidos	28
3.3.3 Misturas de Líquidos: Soluções ideais.....	30
3.3.4 Propriedades Coligativas	30
3.3.5 Atividade do solvente.....	33
3.3.6 Atividade do soluto	34
4. METODOLOGIA.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5. 1 Análise dos erros de entrada.....	39
5.2 Análises dos erros de organização da informação	47
5.3 Análise dos erros de execução	49
5.4 Categorização dos erros nas avaliações do componente curricular Físico-Química II.....	54
6. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Desde a educação infantil até a superior o sujeito (aluno/discente) enfrenta diversos desafios tanto no que se diz respeito aos obstáculos de domínio de tarefas metacognitivas (relacionadas com a leitura que, por sinal, muitas vezes pouco valorizada no ensino das ciências exatas) quanto à própria desmotivação e desinteresse (derivada de vários problemas, sejam eles psicológicos, emocionais, familiares, existenciais, entre outros) (TEXEIRA e SILVA, 2007). Nos últimos anos, alguns autores (MOREIRA (1991), SOARES (2004), VASCONCELOS E LEÃO (2012), entre outros) têm criado e desenvolvido estratégias inovadoras de ensino que possibilitam um melhoramento no processo de ensino e aprendizagem.

Em destaque, é possível perceber, que no ensino médio o ensino da química, muitas vezes, é defasado. Alguns pesquisadores (como por exemplo, MALDANER (2000), SCHNETZLER (2002) e SANTOS e SCHNETZLER (1997)) afirmam que o ensino da química no nível médio tem se prendido ao empiricismo, à matematização dos fenômenos e à memorização de uma linguagem própria dessa ciência. Essa problemática é potencializada pela não (ou má) formação do professor e/ou pela passividade na construção do conhecimento por parte dos alunos, derivada muitas vezes de uma abordagem sem contextualização, na qual os conteúdos estão distantes do que é vivenciado no cotidiano dos estudantes. (MIRANDA; COSTA, 2007)

Porém, mesmo no ensino superior os discentes ainda têm dificuldades em compreender a química e sua linguagem. Linguagem essa marcada pela complexidade e especificidade entre fórmulas, estruturas, símbolos, que desperta no aluno tanto o entendimento macroscópico quanto potencializa a imaginação para compreender as representações microscópicas (ROQUE e SILVA, 2008). Segundo Galagovsky et al (2002) essas várias formas de representação da linguagem química são importantes, pois possibilita a comunicação de maneira organizada, sucinta e conclusiva.

É notório que se criou uma imagem deturpada da química e de sua linguagem, associada, muitas vezes, a uma não contextualização e/ou a cálculos ‘vagos’ sem uso para a ‘vida’. Roque e Silva (2008, p.922) dizem que

As dificuldades de aprendizagem da linguagem da química estão associadas à distinção em relação à linguagem comum, à sua especificidade quase hermética e, muito provavelmente, às dificuldades em se estabelecer as necessárias relações entre os entes químicos do mundo microscópico e do macroscópico.

Diante disso é possível inferir que a linguagem química ainda está em construção na ‘mente’ dos discentes e que o erro é inevitável nesse processo. Quando se fala em erro, tradicionalmente este é visto como fracasso ou insucesso, esta mesma visão também pode ocorrer nos processos avaliativos.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de uma reflexão crítica e profunda, no que se diz respeito à avaliação do erro, de forma que ele possa se tornar tanto uma ferramenta de construção do conhecimento como de prevenção de equívocos futuros, fazendo com que o aluno possa superar suas dificuldades analisando-as. Investigar o erro em avaliações é de suma importância, não apenas para averiguar a metodologia ou didática do professor, mas também para analisarmos a construção do conhecimento realizada pelo aluno. Assim as avaliações deixam de ter um aspecto de condenação e “seleção”, e o erro passa a ser uma escada para o avanço do conhecimento e não um obstáculo insuperável.

No trabalho vigente não se busca o erro, ele é aceito como um fato natural que acompanha o ensino e a aprendizagem, do mesmo modo que a tensão e a crise estão presentes no desenvolvimento individual ou no processo social (TORRE, 2007).

É consenso que quando os alunos ingressam na universidade, muitas vezes, se deparam com um ensino com padrões tradicionais e com ênfase à reprodução automática. Se observarmos a atuação do aluno e do professor em sala de aula em qualquer fase de aprendizagem, é possível perceber que os professores se limitam, às vezes, a expor o conteúdo, adotando assim um papel de informador e não de mediador do conhecimento (TORRE, 2007).

Sabendo que muitos professores examinam o processo de ensino e aprendizagem por meios de provas, chamadas eufemisticamente de “avaliações”, é inevitável detectar erros (TORRE, 2007). Destruir a visão de ‘fracasso’ do aluno quando o mesmo erra, e colocá-lo frente ao seu erro buscando (re) significar ou/e (re) construir o conhecimento usando o erro como ferramenta preventiva, é sem dúvida um caminho para a aprendizagem. Vale destacar ainda que tratar os erros de forma construtiva nas avaliações, dentro de um curso de licenciatura, é de suma importância para a formação acadêmica dos futuros professores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Categorizar os erros cometidos pelos discentes nas atividades avaliativas do componente curricular Físico-Química II, nas turmas dos períodos de 2012.2, 2013.1, 2015.2, 2016.1, 2016.2, 2017.1, referente ao conteúdo de Termodinâmica de soluções.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar quais são as carências e/ou dificuldades apresentadas pelos discentes em relação à aprendizagem do conteúdo de termodinâmica de soluções, com base na atividade avaliativa do componente curricular Físico-Química II;
- Diagnosticar as estratégias utilizadas pelos alunos na resolução de problemas de físico-química;
- Propor uma reflexão didática sobre o “erro” como ‘alavanca’ para o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem de físico-química.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção se divide em três tópicos. O primeiro deles - Do objeto de estudo: o erro - traz a visão destrutiva e o efeito construtivo do erro, assim como o seu papel no processo de ensino e aprendizagem. Em seguida aborda as tipologias do erro: Modelo de análise didática do erro (MADE) proposta por Torre (2007). O segundo tópico refere-se à como o erro é visto nas avaliações e de que forma podemos enxergá-lo. E o terceiro trata sobre a parte de termodinâmica de soluções, no qual será apresentado alguns conceitos e definições relevantes para fundamentar as análises dos erros presentes nas avaliações referente a este conteúdo.

3.1 Do objeto de estudo: erro

3.1.1 O erro: da visão destrutiva ao efeito construtivo

“O erro é uma planta resistente: floresce em qualquer terreno” (M.Tupper, escritor inglês)

O erro, mesmo sendo uma realidade contundente no ensino, é pouco estudado. O erro não está apenas presente na rotina dos professores e alunos durante o processo de ensino e aprendizagem, mas em vários aspectos que envolvem a educação, pois o mesmo é capaz de nutrir as ações, decisões e avaliações que ocorrem, fazendo assim parte do currículo oculto de qualquer escola. Segundo Torre (2007) o erro é um dos temas preferidos pela sabedoria popular, porém quase sempre é apresentado com um sentido negativo. Por isso há uma necessidade de ser estudado à luz da consciência e adotar uma postura diante dele.

O significado etimológico da palavra erro deriva do latim *errare*, que por sua vez significa “[...] engano, incorreção, falha, pecado” (HOUAISS, 2001, p. 170). De acordo com o dicionário Aurélio¹ errar significa enganar-se, perder-se em, não acertar com, vaguear, cometer erros, falhar. Para Bachelard (1996) o erro é um “passo obrigatório” do conhecimento, por que o saber não é dado, mas construído e essa construção é nutrida pelos “equivocos” que servem de apoio para a construção do saber.

¹ Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. Publicado em: 2016-09-24, revisado em: 2017-02-27. Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/erro>>. Acesso em: 02 Jun. 2017.

Segundo Teixeira e Nunes (2008, p.74), “o erro é compreendido como demarcação do não saber, do não conhecimento, do errado, da falha, do fracasso, do impossível e do conhecimento como algo inalcançável”. Essas definições estão atreladas a acepções negativas do erro, que nos remete a uma concepção destrutiva do mesmo, sinalizando assim, mau desempenho e insucesso.

Talvez existam poucas palavras com tão grande leque de variedades e nuances como o campo semântico do “erro” (TORRE, 2007). Por isso que a definição do termo depende da concepção que o origina. Torre (2007, p.13) afirma que:

[...] podemos nos referir às quatro direções semânticas ou aos pontos cardiais do erro: efeito destrutivo, deturpativo, construtivo e criativo. E enquanto as duas primeiras acepções se referem ao erro como resultado, o efeito construtivo e criativo se inscreve em uma consideração processual. A polaridade resultado-processo nos permite, pois, apresentar uma dupla consideração do erro: a negativa e a positiva.

Na linguagem habitual temos a visão do erro como um resultado incontrolável, do qual não se pode esperar nada de positivo. Referimo-nos, muitas vezes, ao efeito destrutivo do erro, esquecendo que o mesmo pode ser considerado como procedimento construtivo, como método de descoberta científica e transmissão didática (TORRE, 2007). Vale salientar que “não se trata de transformar em positivo o negativo, mas de valer-se do efeito ou da falha como instrumento produtivo ou de progresso, reverter em processo o resultado do erro”. (TORRE, 2007, p. 14).

Para Barrón (1989 *apud* Torre, 2007, p.44),

A nova epistemologia, assim como a psicologia cognitiva, conceitualizou novamente a natureza epistemológica do erro, que de sintoma da aplicação inadequada do procedimento científico passou a ser considerado fonte de conhecimento, enquanto configurador de problema a resolver.

Segundo Torre (2007) um dos maiores pensadores que refletiu a dimensão construtiva e criativa do erro foi o poeta lírico alemão Friedrich.Ruckert (1788-1866). O mesmo afirmava que “todo o erro contém um núcleo de verdade, e cada verdade pode ser uma semente de erro” (TORRE, 2007, p.20). Então durante o processo de ensino aprendizagem é inevitável nos depararmos com o “erro”, visto que não há aprendizagem isenta de erros (TORRE, 2007). Por isso é preciso considerar o processo que originou os erros, pois na aquisição do conhecimento, a resposta considerada errada pode conter processos de elaboração mais sofisticados do que uma resposta certa. Como afirma Martinand (1981), o erro não é um defeito do pensamento, mas uma testemunha inevitável de um processo de busca.

3.1.2 O erro no processo de ensino e aprendizagem

“Equivocar-se costuma ser essencial para a criatividade.” (DE BONO, 1973, P.168)

No processo de ensino e aprendizagem é inevitável que o aluno se desvie da meta prevista pelo professor, assim o erro é o resultado mais provável. Segundo Luckesi (1990) a ideia de erro só emerge quando se tem um padrão considerado correto. No contexto da aprendizagem, esses padrões conceituais são estabelecidos pela ciência e/ou tecnologia (LUCKESI, 1990). Ou seja, se não alcançar o objetivo desejado, mediante os padrões exigidos e pré-estabelecidos, o aluno “erra”. Porém é preciso admitir esse “erro”, não como um obstáculo que impeça o avanço no conhecimento, mas como um obstáculo motivador e provocativo para a busca do mesmo (TORRE, 2007).

Em convergência com o pensamento de Luckesi (1990), Asimov (1989) discorda da ideia de que certo e errado são conceitos absolutos, que tudo o que não é correto de modo perfeito e completo está errado de modo total. O autor defende que certo e errado são conceitos indefinidos. Ou seja, dizer se está “certo ou errado” depende de um determinado parâmetro/padrão predefinido.

Desde a grande difusão e avanço da corrente tecnológica na educação por meados do século XX, primordialmente por meio de aparelhos e depois de modelos, sistemas e ensino com o auxílio do computador, o ensino caracterizou-se pelo princípio da eficácia nos resultados. Esse princípio infundido pelas novas tecnologias é baseado no princípio de “evitamento de erro”. Torre (2007) defende a ideia que o *ensino programado* (princípio de criar projetos em que se garante o êxito do aluno ao realizar as atividades), o princípio de *etapas breves* (princípio de divisão do conteúdo global em pequenos conteúdos) e *progressão graduada* (princípio que por meio da repetição frequente e da comprovação imediata o aluno vai adquirindo confiança e constância) são princípios baseados no resultado e não no processo, a *pedagogia do êxito* ao invés da *pedagogia do erro*. Todavia é possível perceber aspectos bem enraizados da *pedagogia do êxito* tanto nos professores e equipe pedagógica (em suas metodologias e didáticas), quanto nos discursos dos pais e alunos.

Segundo Torre (2007), durante o processo de ensino aprendizagem ocorrem diversos tipos de erros, os quais desanimam, distanciam e infundem complexos no aluno. Como escrevem Fischer e Lipson (1986), os erros são ocorrências normais e estimáveis no processo de aprendizagem e por trás de cada erro existe um porquê (TORRE, 2007). Investigar a causa

de cada um abrirá portas para o conhecimento. Vale salientar que o erro não possui um valor educativo por si mesmo e que seus excessos não são positivos para aprendizagem. Torre (2007, p.77) diz que:

O erro não possui um valor educativo por si mesmo, tampouco o tem a competição ou a disciplina apresentada como meta. Utilizado como estratégia, no entanto, é positivo, desde que não se cometam excessos. Os medicamentos curam se tomados em doses adequadas, mas são prejudiciais se abusarmos dele.

Ou seja, quando utilizamos o erro como estratégia inovadora, de forma moderada e equilibrada, é possível desfrutar dos seus aspectos positivos (construtivos) na construção do conhecimento.

3.1.3 Tipologias do erro: Modelo de análise didática do erro (MADE)

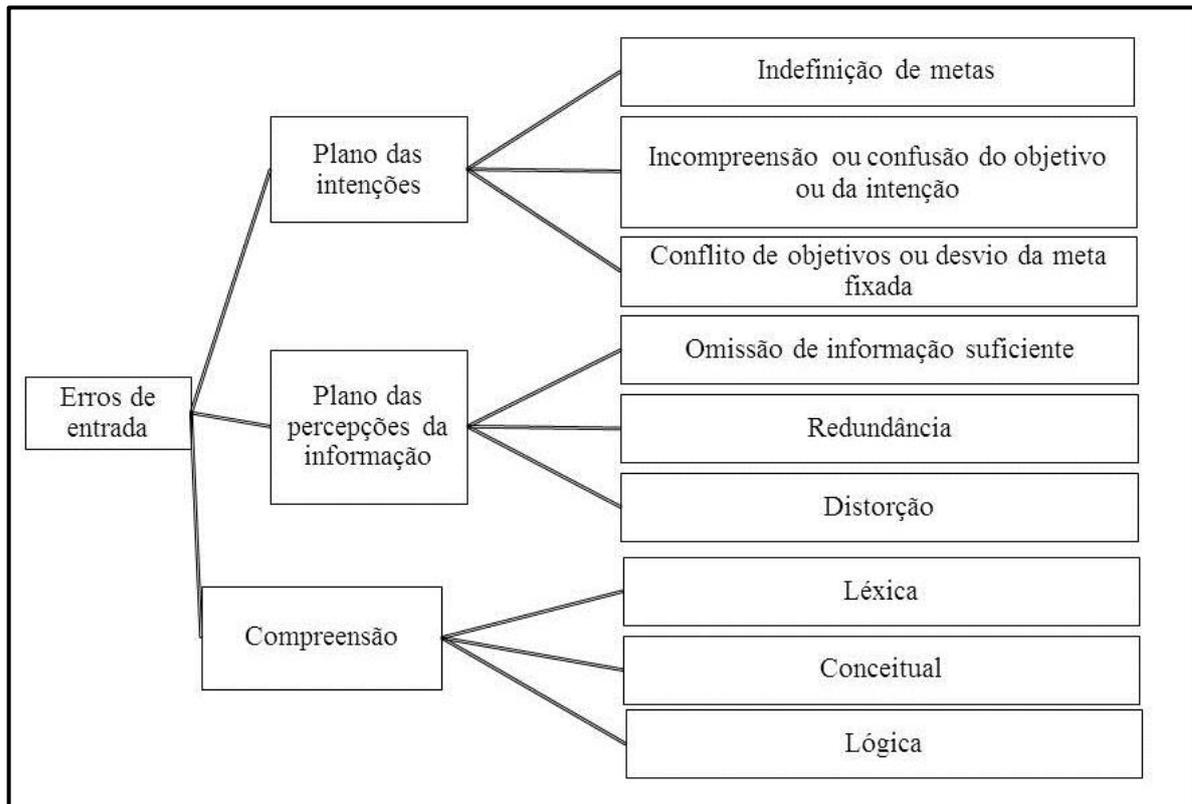
O erro faz parte do desenvolvimento humano. (autor desconhecido)

É notório que conhecer os tipos de erros facilita a diagnose e o tratamento dos mesmos. Nikerson *et al* (1987 *apud* Torre, 2007, p.107) se expressam da seguinte forma:

É importante que os professores se deem conta das deficiências comuns do raciocínio; não apenas com o fim de que sejam capazes de corrigi-las mediante treinamento, como também, o que não é menos importante, para evitar o reforço desses modos de pensar.

Em contrapartida a esse argumento de evitamento trazido por Nikerson *et al* (1987), é necessário acrescentar o da utilização sistemática, que está relacionada com a maneira de “prevenção” de um determinado erro como se fosse uma “vacina”. Assim, podemos afirmar que, utilizar o “erro” como ferramenta de prevenção, é impedir que a pessoa caia em erros posteriores. Diante disso Torre (2007) apresenta um Modelo de Análise Didática dos Erros (MADE) no qual categoriza os erros como reflexo de três momentos de qualquer procedimento sistêmico: entrada, processamento e saída.

Para Torre (2007) os erros de entrada ocorrem devido ao desequilíbrio entre a informação que se tem, e o problema que tem que resolver. Os três planos defendidos pelo autor, e suas subcategorias, dos problemas de insuficiência e/ou inadequação da informação encontra-se na figura 1.

Figura 1: Tipologia dos erros de entrada

Fonte: Adaptada de Torre (2007)

Para o autor os erros no plano das intenções se dividem em: *indefinição de metas*, *incompreensão ou confusão de objetivo ou da intenção* e *o conflito de objetivos ou o desvio da meta fixada*. As duas primeiras divisões estão ligadas a falta de clareza na intenção. Muitas vezes, o aluno não sabe o que realmente se pede em uma questão, trabalho, tarefa. Na mente do aluno existe uma confusão ou ambiguidade de metas. Estão associadas, não a incapacidade, mas a má compressão ou a confusão do objetivo. A terceira remete-se a um desvio de meta prevista, ou seja, quando a tarefa ou o exercício, desperta nos alunos outros “objetivos” do que os propostos pelo professor.

O erro no plano das percepções da informação resulta de “uma má interação entre as características da informação e os processos cognitivos do sujeito” (TORRE, 2007, p. 11). Ainda segundo o autor, enquanto os erros de intenção o principal responsável era o professor, os erros no campo da percepção de informação é a metodologia utilizada pelo docente e a capacidade do discente. Essa categoria de erro se divide em três modalidades: *erros de omissão*, *erros de redundância* e *erros de distorção*.

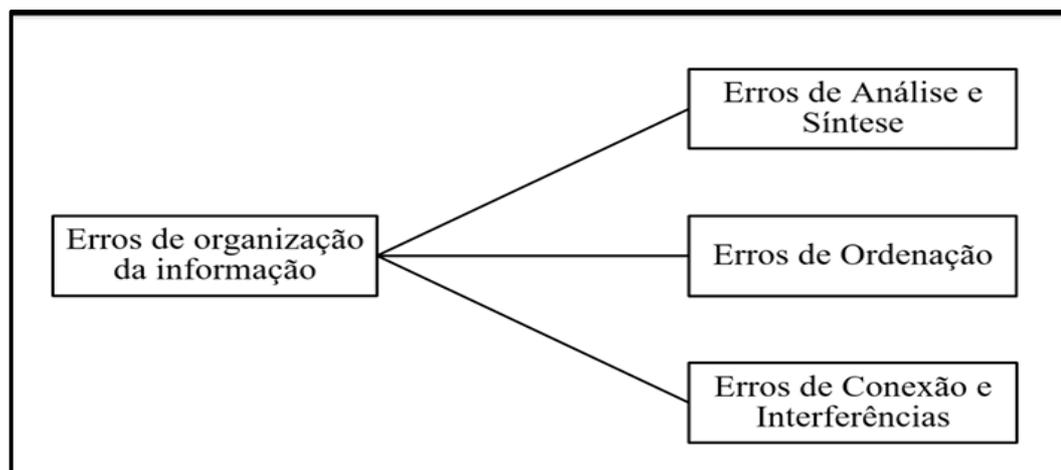
Os *erros provenientes de omissões de informações suficientes* são muito frequentes. Os professores imaginam que os alunos já possuem conhecimentos e habilidades necessários

para resolver determinada questão, porém os alunos não possuem. É por que não se trata daquilo que o docente dispõe de informação, mas daquilo que o discente tem realmente (TORRE, 2007). Mas, nem todos necessitam de igual quantidade de informação redundante. Os *erros que provem da relação entre redundância e omissão* baseiam-se na perspectiva de que enquanto para alguns sujeitos é necessária certa redundância na informação, para outros isso pode atrapalhar. Quando tratamos *do erro de distorção* levamos em conta a situação de que a informação não é clara, ambígua ou contrária aos interesses cognitivos.

A última categoria de erro de entrada defendida por Torre (2007) é o *erro de compressão*. Como sabemos a compressão facilita a resolução de atividades em todas as áreas do conhecimento. Esse tipo de erro, segundo o autor, está ligado a relação léxica, conceitual ou lógica. O ato de compreender está intrinsecamente ligado a ser capaz de reconceitualizar ou expressar tal conhecimento em diferentes maneiras, com a própria linguagem. Muitos erros nas tarefas acontecem devido a um desconhecimento de palavras ou expressões, de conceitos ou falhas lógicas. Essa categoria analisa esses erros.

Quando se fala em como o sujeito organiza os dados pela percepção das informações em um problema estamos diante dos erros de organização da informação. Os mesmos segundo Torre (2007) estão divididos em três subcategorias, que são apresentadas na figura 2.

Figura 2: Tipologia dos erros de organização.



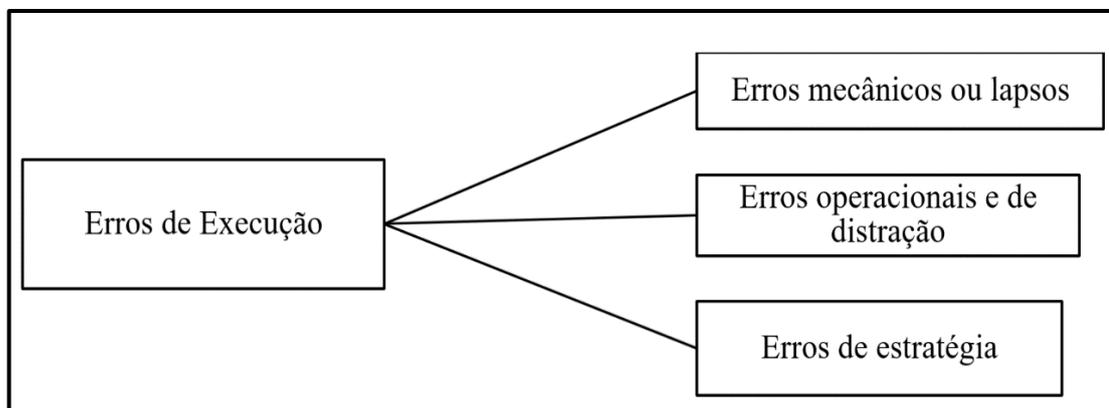
Fonte: Adaptada de Torre (2007)

As operações principais que acontecem nos erros de organização que originam essas três categorias apresentadas acima, estão remetidas “além dos procedimentos dedutivo e indutivo já referido, são as de isolar elementos (análise), combiná-los de diferentes maneiras

(síntese), associá-los com os conhecimentos prévios (conexão) e ordená-los corretamente (sequência)” (TORRE, 2007, p.118).

Por fim, a última categoria defendida por Torre (2007) são os erros de execução. Mesmo sabendo que os erros de entrada e organização atrai mais atenção do professor, esse tipo de erro não provém tanto da falta de percepção ou de compreensão, mas é o tipo de erro que corresponde ao que chamamos de equívoco. Os erros de execução estão relacionados com a atitude e o estilo da pessoa. Têm espaço quando o sujeito arrisca em rotas novas, novas estratégias e procedimentos diferentes. As subcategorias encontram-se na figura 3.

Figura 3: Tipologia dos erros de execução



Fonte: Adaptada de Torre (2007)

Quando o sujeito não é consciente do erro que cometeu e o mesmo vivia situações, estressantes, fadiga, cansaço, estamos tratando dos *erros mecânicos ou lapsos*. De acordo com Torre (2007) esse erro trata-se de pequenos detalhes de omissão de letras, alteração ou substituição de um sinal por outro, de uma palavra por outra. Quando se fala em *erros operacionais e de distração* o nervosismo é uma causa que potencializa o aparecimento do mesmo. Esse tipo de erro ocorre ao se operar ou executar um procedimento. É o tão conhecido “esquecimento”, o sujeito busca lembrar, mas não consegue. Os *erros estratégicos* se dão quando há um equívoco na escolha da estratégia adequada para realizar tal problema. Essa subcategoria está presente não apenas no âmbito escolar, mas na vida diária e na tomada de decisão (TORRE, 2007).

3.2 Avaliação e o erro

*“Os melhores podem escorregar e os mais cautelosos, cair. Está acima dos mortais não errar nunca.”
(Pomfret, escritor inglês).*

Assim como o erro, a avaliação apresenta uma literatura bastante ampla no que se diz respeito às diversas definições de diferentes autores. Há uma divergência de entendimento de como a avaliação deveria ser encarada e de como ela é vivenciada na sala de aula. É notório que quando se pensa em avaliação, logo nos remetemos a mesma de forma prioritária e/ou exclusiva, diante dos resultados obtidos pelos alunos (ZABALA, 1998).

No entanto, vale destacar que, indagar a respeito do conceito de avaliação “[...] é difícil, talvez porque, em algumas ocasiões, a complexidade da realidade, seus múltiplos reflexos e a distinta perspectiva na qual cada um de nós pode percebê-la, impedem a conceitualização precisa e de caráter universal” (SALINAS, 2004, p. 11).

Se analisarmos verbo “avaliar” é possível perceber que o mesmo apresenta diversas conotações: calcular um resultado, dar valor a, determinar algo, estimar, julgar, mensurar, entre outras. Para Luckesi (1995), a avaliação está relacionada com o “dar valor”. O autor diz que “[...] a avaliação é um julgamento de valor sobre manifestações relevantes da realidade, tendo em vista uma tomada de decisão” (LUCKESI 1995, p. 35).

Como a avaliação tem por finalidade desenvolver o aluno (FREITAS et al, 2009), é necessário, por parte do professor, um diagnóstico prévio. A avaliação precisa levar a singularidade de cada aluno, todavia cada um traz consigo sua experiência de vida que faz com que a avaliação não tenha um aspecto de uniformidade ou/e de seletividade (ZABALA 1998). No entanto, essa ideia defendida por Zabala (1998) é voltada, em sua grande maioria, para crianças nos anos iniciais. Para as demais séries do ensino (seja fundamental, médio e principalmente superior), quando se leva em conta a superlotação das salas de aula e o tempo que o professor dispõe, é notório que não é viável sempre considerar a singularidade de todos os alunos no momento da realização de uma atividade avaliativa.

E como o conhecimento está sempre em processo, a avaliação precisa ser contínua, diária no sentido de permitir a (re)construção permanente de conceitos, sendo uma espécie de mapeamento que vai identificando as conquistas e os problemas dos alunos em seu desenvolvimento (ABRAHÃO, 2000, p. 47, *apud*: NOGARO e GRANELLA, 2004, p.52)

Embora a ideia de avaliação esteja enraizada na mente de muitos professores e alunos, muitas vezes por causa de algumas instituições de ensino, como um meio de classificação e/ou hierarquização “a avaliação em um contexto, tem o objetivo legítimo de contribuir para o êxito do ensino, isto é, para a construção dos saberes e competências pelos alunos” (HADJI, 2001, p. 15). Avaliar não é corrigir ou medir o conhecimento do aluno. A avaliação deve ser entendida como “atividade crítica de aprendizagem, porque se assume que a avaliação é aprendizagem, no sentido de que por meio dela adquirimos conhecimento” (ÁLVAREZ MÉNDEZ, 2002, p. 14). Portanto, entendendo a avaliação dessa forma, é possível melhorar o processo de ensino e aprendizagem, tanto por parte do professor que conhece e analisa sua prática quanto do aluno que constrói o conhecimento pautado nas críticas do professor, anulando assim o pensamento de hierarquização na avaliação.

Diante das “avaliações” é inevitável o ‘erro’. Torre defende o uso do erro como ferramenta facilitadora no processo de compressão:

O erro, como fonte de conhecimento, facilita esse processo porque reclama maior atenção em torno das falhas. [...] A análise do erro representa um processo e, como tal, é uma fonte de aprendizagem de estratégias cognitivas. Procedimentos não podem ser ensinados nem aprendidos por meio da constatação de resultados, mas do funcionamento de processo lógicos, psicológicos ou mecânicos. É por isso que o erro, além de favorecer a habilidade reflexiva e analítica, é uma estratégia adequada para o ensino-aprendizagem de procedimentos (TORRE, 2007, p.44).

Os alunos ainda têm a visão que o ‘erro’ é um empecilho para seu o crescimento. Segundo Pinto (2000) o erro contribui positivamente, porém é necessário mudar a atitude do educar, é preciso sair do patamar da condenação. O autor defende a ideia que adotar uma postura de tratamento preventivo mediante ao erro cometido em uma avaliação é um caminho para melhorar o ensino e aprendizagem.

Vislumbrando promover melhoras pessoais, institucionais e sociais no processo de formação dos professores e alunos, é preciso discutir o erro não só como um caminho para o professor inserir novas metodologias que minimize tais erros, ou/e como uma forma de “medir” o conhecimento do aluno em determinado conteúdo através de uma avaliação. É necessário entender que “o erro” pode ser utilizado como “uma estratégia inovadora para aproximar a teoria e a prática, para passar de um enfoque de resultados, para um de processos, de uma pedagogia do êxito para uma didática do erro” (TORRE, 2007, p. 10). Pensar dessa maneira nos confirma que o erro é fonte de virtude, não de castigo (LUCKESI, 1990), não é um fim, mas um obstáculo provocativo que precisamos superar (TORRE, 2007).

Partindo do pressuposto que não há melhora sem mudança, é necessário propor aos docentes novas estratégias que sejam capazes de promover transformações tanto em relação ao conhecimento construído pelos alunos, quanto às habilidades e atitudes desenvolvidas por eles. No entanto, dispor de diversos conceitos e teorias não é suficiente se não conseguirmos que os alunos e professores melhorem em alguns aspectos sua aprendizagem e ensino, respectivamente.

3.3 Termodinâmica de soluções

Neste último tópico serão abordados alguns dos principais conceitos que envolve o conteúdo de termodinâmica de soluções. Em sua maioria, esta fundamentação teórica está baseada nos livros: MCQUARRIE, D. A.; SIMON, J. D., **Physical chemistry: a molecular approach**, Editora University Science Books, 1997. e ATKINS, P.; PAULA, J., **Físico-Química**, vol.1, 9ª ed. Editora LTC, 2012.

3.3.1 Descrição termodinâmica das misturas

A química trabalha com misturas, e também com misturas de substâncias que podem reagir umas com as outras. As grandezas termodinâmicas, utilizadas na descrição de sistemas que contém apenas substâncias simples, podem ser generalizadas para tratar de sistemas constituídos de substâncias que estão misturadas. No estudo da termodinâmica de soluções são tratados sistemas multicomponentes, no entanto, a fim de simplificar a compressão matemática considera-se o tratamento para misturas binárias, ou seja, misturas de dois componentes. Isto porque, as considerações que serão feitas para sistemas com dois componentes podem ser estendidas a sistemas multicomponentes.

Grandezas parciais Molares

Considerando um sistema composto por n_1 mol do componente 1 e n_2 mol do componente 2, têm-se que a energia de Gibbs (G) desta solução é uma função da temperatura (T), da pressão (p) e dos dois números de mol n_1 e n_2 . Logo, a energia de Gibbs (G) pode ser descrita como $G = G(T, p, n_1, n_2)$ (MCQUARRIE; SIMON, 1997. p. 963). Assim, o diferencial total de G é:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{p,n_1,n_2} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_{T,n_1,n_2} dp + \left(\frac{\partial G}{\partial n_1}\right)_{T,p,n_2} dn_1 + \left(\frac{\partial G}{\partial n_2}\right)_{T,p,n_1} dn_2 \quad (1)$$

Se a composição da solução for constante, de modo que $dn_1 = dn_2 = 0$, a equação 1 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{p,n_1,n_2} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_{T,n_1,n_2} dp \quad (2)$$

Na qual,

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{p,n_1,n_2} = -S(p, T, n_1, n_2) \quad \text{e} \quad \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_{T,n_1,n_2} = V(p, T, n_1, n_2)$$

Portanto dG fica sendo:

$$dG = -SdT + Vdp \quad (3)$$

As derivadas parciais de G em relação ao número de mol são denominadas de potenciais químicos ou energia de Gibbs parcial molar. Usa-se o símbolo “ μ ” como notação padrão para o potencial químico, assim podemos escrever a equação (1) como sendo:

$$dG = -SdT + Vdp + \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2 \quad (4)$$

Na qual,

$$\mu_j = \mu_j(T, p, n_1, n_2) = \left(\frac{\partial G}{\partial n_j}\right)_{T, p, n_{i \neq j}} = G_j \quad (5)$$

O potencial químico nos permite expressar a dependência que a energia de Gibbs tem em relação a composição de uma mistura. Embora apenas a energia de Gibbs parcial molar tenha um símbolo e um nome especial, existem outras variáveis termodinâmicas extensivas que têm valores molares parciais associados. Por exemplo, $(\partial S / \partial n_j)_{T, P, n_{i \neq j}}$ é chamada de entropia molar parcial representada por S_j e $(\partial V / \partial n_j)_{T, P, n_{i \neq j}}$ é chamado de volume parcial molar e é representado por V_j . Generalizando, se uma grandeza termodinâmica extensiva é expressa por $Y_j = Y_j(T, p, n_1, n_2)$, sua quantidade parcial molar associada é representada por Y_j , por definição:

$$Y_j = Y_j(T, p, n_1, n_2) = \left(\frac{\partial y}{\partial n_j} \right)_{T, p, n_{i \neq j}} \quad (6)$$

Fisicamente, a quantidade parcial molar Y_j é uma medida de como Y muda quando n_j é alterado, enquanto T , p e os números de mols são constantes. As quantidades molares parciais são quantidades termodinâmicas intensivas. “Podemos usar a propriedade intensiva das grandezas parciais molares para derivar uma das mais importantes relações para soluções” (MCQUARRIE; SIMON, 1997.p.964). Se considerarmos uma solução binária, a energia de Gibbs de uma solução binária é dada pela equação (4), como vimos:

$$dG = -SdT + Vdp + \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2$$

Considerando T e p constantes a equação (4) simplifica-se para:

$$dG = \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2 \quad (7)$$

Integrando a equação anterior, temos:

$$G(T, p, n_1, n_2) = \mu_1 n_1 + \mu_2 n_2 \quad (8)$$

Note que para um sistema de um componente $G = \mu n$, mostrando assim que μ é a G por mol para um sistema puro. Geralmente, a grandeza parcial molar de alguma quantidade termodinâmica extensiva de uma substância pura é seu valor molar.

A grandeza parcial molar que tem uma interpretação física mais fácil de compreender é o volume parcial molar, para o qual a equação semelhante a equação 8 é:

$$V(T, p, n_1, n_2) = V_1 n_1 + V_2 n_2 \quad (9)$$

O V_j de uma substância J (j-ésima) numa mistura é a variação de volume da mistura provocada pela adição de um mol de J a um grande volume da mistura. Assim, se adicionarmos 1 mol de água pura, a 25°C, a um grande volume de água pura vai haver um aumento de 18 cm³, logo podemos dizer que 18 cm³mol⁻¹ é o volume parcial molar da água pura. Porém se adicionarmos “1 mol de água a um grande volume de etanol o aumento do volume seria apenas 14 cm³, e a grandeza 14 cm³mol⁻¹, é o volume parcial molar da água no etanol” (ATKINS, 2012 p.132).

3.3.2 Potenciais Químicos dos Líquidos

Quando se deseja discutir as propriedades de equilíbrio das misturas líquidas precisa-se saber primeiramente como a energia de Gibbs de um líquido varia com sua composição. Assim, para chegar a esse resultado usamos o fato de “que o μ de uma substância presente como vapor em equilíbrio com o líquido, deve ser igual ao μ da substância na fase líquida” (ATKINS, 2012 p.137). Abaixo encontraremos discussões relevantes ao tópico de potenciais químicos dos líquidos, o mesmo está dividido em: (a) *Soluções ideais* e (b) *Soluções diluídas ideais*.

(a) Soluções ideais

Para identificar as grandezas pertinentes as substâncias puras, utilizaremos o subscrito “*”, então o potencial químico de uma substância A pura, na forma de líquido, é escrito como “ μ_A^* ”. Considerando também que a pressão de vapor de um líquido puro seja “ p_A^* ” e que o potencial químico de A no vapor (considerando um gás perfeito) é $\mu_A^\theta + RT \ln p_A^*$ (onde p_A é interpretado como a pressão relativa p_A/p^θ), na qual R é a constante dos gases e T a temperatura em Kelvins. No equilíbrio, os potenciais químicos das duas fases (líquida e gasosa) são iguais, logo a equação que representa o potencial químico de A pode ser escrita como:

$$\mu_A^* = \mu_A^\theta + RT \ln p_A^* \quad (10)$$

Se outas substância, um soluto, por exemplo estiver presente no líquido, o potencial químico de A no líquido é μ_A e sua pressão de vapor é p_A . A equação que representa o equilíbrio entre o vapor da substância A e a mesma na solução é:

$$\mu_A = \mu_A^\theta + RT \ln p_A \quad (11)$$

Com o objetivo de eliminar o potencial químico padrão do gás (μ_A^θ), pode-se combinar as duas equações anteriores (10) e (11), escrevendo a equação (10) como: $\mu_A^\theta = \mu_A^* - RT \ln p_A^*$ e substituímos essa expressão na equação (11), assim temos:

$$\mu_A = \mu_A^* - RT \ln p_A^* + RT \ln p_A = \mu_A^* + RT \ln \frac{p_A}{p_A^*} \quad (12)$$

A etapa final é baseada na informação experimental que relacionam a pressão de vapor e composição do líquido. Por meio de uma série de experimentos com líquidos semelhantes, o químico francês Francois Raoult descobriu que a fração molar do componente na mistura líquida (x_A) é aproximadamente igual à razão entre a pressão parcial de vapor de cada componente e a pressão de vapor do componente puro (ATKINS, 2012). Esta relação é chamada de Lei de Raoult, expressa como:

$$p_A = x_A p_A^* \quad (13)$$

As soluções que obedecem esta lei para todo o intervalo de composição, de um componente A puro até um componente B puro, são denominadas soluções ideais. A partir das equações (12) e (13) podemos chegar a expressão do potencial químico de um componente em uma solução ideal, como mostra a equação (14):

$$\mu_A = \mu_A^* + RT \ln x_A \quad (14)$$

(b) Soluções diluídas ideais

Como discutido acima, nas soluções ideais o solvente e o soluto obedecem unanimemente a Lei de Raoult. Entretanto o químico inglês William Henry, descobriu de forma experimental, que para soluções reais em concentrações baixas a pressão de vapor era proporcional a fração molar do soluto, mas a constante de proporcionalidade não era a pressão de vapor da substância pura, mostrada anteriormente pela lei de Raoult (ATKINS, 2012). A relação descoberta por Henry, é chamada de lei de Henry e expressa como:

$$p_B = x_B K_B \quad (15)$$

Na equação (15), p_B é pressão de vapor do soluto, x_B é a fração molar do soluto e K_B é a constante empírica (constante de Henry), que tem dimensão de pressão. “As misturas em que o soluto obedece à lei de Henry e o solvente a lei de Raoult são chamadas de soluções diluídas ideais” (ATKINS, 2012 p.139).

3.3.3 Misturas de Líquidos: Soluções ideais

A energia de Gibbs da mistura de dois líquidos (líquidos A e B) em uma solução ideal é dada por:

$$\Delta G_{mis} = nRT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B) \quad (16)$$

Na qual $n = n_A + n_B$. A entropia de mistura dos líquidos numa solução ideal é:

$$\Delta S_{mis} = -nR(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B) \quad (17)$$

“Como $\Delta H_{mis} = \Delta G_{mis} + T \Delta S_{mis} = 0$, a entalpia de uma mistura ideal é nula. O volume ideal de mistura também é nulo” (ATKINS, 2012, p.140). Definimos “solução ideal” como a solução que obedece a Lei de Raoult e que apresenta entalpia de mistura igual a zero. Em termos de interações intermoleculares, entendemos solução ideal como uma solução onde existem tais interações, porém elas são efetivamente as mesmas entre as várias espécies (ou seja, a energia média das interações A-B na mistura é semelhante a energia média das interações A-A e B-B, nos líquidos puros). Diferentemente das soluções reais cujas interações do tipo A-A, B-B e A-B, são diferentes (ATKINS, 2012).

3.3.4 Propriedades Coligativas

Quando analisamos o abaixamento da pressão de vapor, a elevação do ponto de ebulição (elevação ebulioscópica), o abaixamento do ponto de congelamento (abaixamento crioscópico) e a pressão osmótica, estamos estudando as propriedades coligativas das misturas (significando que “depende do conjunto” e não do indivíduo). Em soluções diluídas, as propriedades coligativas dependem da presença do número de partículas do soluto presente e não da natureza, todas elas resultam da diminuição do potencial químico do solvente líquido provocado pela presença desse soluto (ATKINS, 2012).

Na análise das propriedades coligativas serão feitas duas considerações. A primeira é que o soluto não é volátil, assim o mesmo não contribui para a pressão de vapor da solução. E a segunda é que o soluto não se dissolve no solvente sólido, de forma que quando a solução congela apenas o solvente puro está na fase sólida.

Para discutir de forma quantitativa a elevação de ponto de ebulição e do abaixamento do ponto de congelamento deve-se determinar a temperatura em que, a 1 atm, uma fase pura

tem o potencial químico igual ao do solvente na solução. “A temperatura encontrada é a nova temperatura de equilíbrio para a transição de fase a essa pressão (1atm) e corresponde ao novo ponto de ebulição do solvente na solução, ou ao novo ponto de congelamento do solvente na solução” (ATKINS, 2012, p.143). Abaixo iremos descrever as seguintes propriedades coligativas: (a) o abaixamento da pressão de vapor, (b) a elevação do ponto de ebulição (elevação ebulioscópica), (c) a diminuição do ponto de congelamento (abaixamento crioscópico) e (d) a osmose.

a) O abaixamento da pressão de vapor

A pressão de vapor de um líquido puro reflete a tendência de uma solução atingir maior entropia, que pode ser alcançada se o líquido vaporizar formando um gás. A entropia do solvente puro reflete a desordem das suas moléculas. Quando um soluto está presente, mesmo em uma solução ideal, ele contribui para a entropia do líquido. A presença do soluto ocasiona um abaixamento da pressão de vapor, pois a formação de gás fica reduzida, e assim há uma elevação no ponto de ebulição (ATKINS, 2012).

b) A elevação do ponto de ebulição (elevação ebulioscópica)

Para tratar a ebulição, o equilíbrio heterogêneo que será considerado, é o equilíbrio entre o solvente no vapor e o solvente na solução. O solvente é simbolizado por A e o soluto por B, e em uma pressão de 1 atm é necessário determinar a temperatura em que, a fase pura tem o mesmo potencial químico que o solvente na solução (ATKINS, 2012). O equilíbrio acontece em uma temperatura em que:

$$\mu_A^*(g) = \mu_A^*(l) + RT \ln x_A \quad (18)$$

A equação usada para calcular a elevação do ponto de ebulição é:

$$\Delta T = K x_B \quad K = \frac{RT^{*2}}{\Delta_{vap}H} \quad (19)$$

Na qual ΔT é o aumento no ponto de ebulição, K é a constante que só depende das propriedades do solvente, T^* é o ponto de ebulição normal do solvente e $\Delta_{vap}H$ é a entalpia de

vaporização do solvente. Sendo a fração molar de B proporcional à sua molalidade (b), na solução, podemos escrever:

$$\Delta T = K_{eb}b \quad (20)$$

Na qual, K_{eb} é a constante ebulioscópica do solvente.

c) Diminuição do ponto de congelamento (abaixamento crioscópico)

A única diferença entre esse cálculo e o anterior é o aparecimento do potencial químico do sólido no lugar do potencial químico do vapor, sendo assim a equação fica:

$$\mu_A^*(s) = \mu_A^*(l) + RT \ln x_A \quad (21)$$

Portanto, o resultado final pode ser escrito a partir da equação (19), diferenciando apenas as constantes,

$$\Delta T = K' x_B \quad \text{em que} \quad K' = \frac{RT^{*2}}{\Delta_{fus}H} \quad (22)$$

Temos que “ ΔT é o abaixamento crioscópico, $T^* - T$, K' é a constante que só depende das propriedades do solvente, T^* é o ponto de fusão normal do solvente e $\Delta_{fus}H$ é a entalpia de fusão do solvente” (ATKINS, 2012 p.145). Quando a solução é diluída, a fração molar é proporcional a molalidade do soluto (b), sendo assim, podemos escrever a equação (22), na qual K_f é a constante crioscópica do solvente, da seguinte forma:

$$\Delta T = K_f b \quad (23)$$

d) Osmose

Quando um solvente puro passa espontaneamente para a solução, que está separada do solvente por uma membrana permeável ao solvente, mas não ao soluto, chamamos este processo de osmose. A etimologia da palavra deriva do grego e quer dizer “empurrão”. A pressão osmótica (Π) é a pressão que deve ser aplicada à solução para impedir a passagem do solvente através da membrana semipermeável (ATKINS, 2012). Para soluções diluídas a pressão osmótica (Π) é dada pela equação de van't Hoff:

$$\Pi = [B]RT \quad (24)$$

Na qual $[B] = n_B/V$ é a concentração molar do soluto.

3.3.5 Atividade do solvente

Podemos modificar as expressões anteriores de modo a considerar os desvios em relação ao comportamento ideal, introduzindo o conceito de atividade. Nas soluções ideais o solvente continua seguindo a lei de Raoult, em todas as concentrações, e é possível expressar essa relação usando a equação (14). Podemos escrever uma expressão semelhante quando a solução não obedece à lei de Raoult:

$$\mu_A = \mu_A^* + RT \ln a_A \quad (25)$$

A grandeza a_A é uma espécie de fração molar “efetiva”. Considerando a equação (25), podemos concluir que:

$$a_A = \frac{p_A}{p_A^*} \quad (26)$$

Como os solventes obedecem à lei de Raoult ($p_A/p_A^* = x_A$), temos que quanto mais a concentração do soluto se aproxima de zero, mais a atividade tende para a fração molar, quando $x_A \rightarrow 1$:

$$a_A \rightarrow x_A \quad \text{quando } x_A \rightarrow 1 \quad (27)$$

Uma maneira de expressar essa convergência é introduzindo o coeficiente de atividade, γ , sendo assim temos que:

$$a_A = \gamma_A x_A \quad \gamma_A \rightarrow 1 \quad \text{quando } x_A \rightarrow 1 \quad (28)$$

Desta forma, o potencial químico do solvente, em qualquer temperatura e sob qualquer pressão, é dado por:

$$\mu_A = \mu_A^* + RT \ln x_A + RT \ln \gamma_A \quad (29)$$

O estado padrão do solvente, o solvente puro a 1 bar, corresponde a $x_A = 1$

3.3.6 Atividade do soluto

A problemática existente na definição dos coeficientes de atividades e dos estados-padrão dos solutos, é que eles tendem para o comportamento ideal em soluções diluídas, respeitando a Lei de Henry. Ou seja, quando $x_B \rightarrow 0$ e não quando $x_B \rightarrow 1$, sendo assim é necessário estabelecer definições para o soluto que segue a lei de Henry levando em conta os afastamentos (ATKINS, 2014).

a) Soluções diluídas ideais

O soluto B que segue a Lei de Henry tem a pressão de vapor dada por $p_B = K_B x_B$, em que K_B é uma constante empírica. A partir dessa relação podemos escrever o seu potencial químico da seguinte forma:

$$\mu_B = \mu_B^* + RT \ln \frac{p_B}{p_B^*} = \mu_B^* + RT \ln \frac{K_B}{p_B^*} + RT \ln x_B \quad (30)$$

Os dois parâmetros (K_B e p_B^*) são característicos do soluto, portanto podemos combinar o primeiro e segundo termos do lado direito da equação, para definir um novo potencial químico padrão:

$$\mu_B^\theta = \mu_B^* + RT \ln \frac{K_B}{p_B^*} \quad (31)$$

O potencial químico de uma solução diluída ideal está relacionado com a sua fração molar de modo que:

$$\mu_B = \mu_B^\theta + RT \ln x_B \quad (32)$$

b) Solutos reais

Considerando agora o afastamento do comportamento ideal em soluções diluídas (afastamento da lei de Henry), podemos escrever, para o soluto, a_B no lugar de x_B obtendo:

$$\mu_B = \mu_B^\theta + RT \ln a_B \quad (33)$$

O valor da atividade, em qualquer concentração, pode ser obtido da mesma maneira que a do solvente, porém no lugar da equação (26), usamos:

$$a_B = \frac{p_B}{K_B} \quad (34)$$

Como no caso do solvente, é conveniente introduzir o coeficiente de atividade por meio de:

$$a_B = \gamma_B x_B \quad (35)$$

O soluto segue a lei de Henry, quando a concentração tende a zero, em qualquer temperatura e pressão temos então:

$$a_B \rightarrow x_B \text{ e } \gamma_B \rightarrow 1 \text{ quando } x_B \rightarrow 0 \quad (36)$$

Assim, todos os desvios do soluto em relação a idealidade desaparecem quando as concentrações tendem a zero.

4. METODOLOGIA

Levando em conta que existem diferenças ideológicas profundas nos métodos qualitativos e quantitativos de construção do conhecimento, porém considerando a complementariedade de ambos e sua importância no desvelamento do problema investigado (RICHARDSON, 1999), a pesquisa vigente possui um caráter quali-quantitativa. Outros autores, como, por exemplo, GAMBOA (1997) e CHIZZOTTI (1998), também defendem a ideia que esses métodos não necessariamente precisam ser opostos um do outro, mas ambos devem sinergicamente convergir na complementaridade mútua. Além de possuir esse caráter metodológico, a pesquisa é descritiva e foi desenvolvida através de análise documental, que por sua vez, consiste em investigar determinada problemática, não por meio de uma interação direta, mas indireta, através dos estudos dos documentos (que na presente pesquisa, são as avaliações ou “provas”). Segundo Gomes (2007) essa “análise documental” não é vista como uma técnica ou procedimento de coleta de dados, mas sim como um método de pesquisa. O autor defende a ideia que o método vai além da pesquisa, pois o mesmo envolve a parte epistemológica, teórica, morfológica e a própria técnica.

A pesquisa foi realizada no Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, localizado no município de Caruaru, e aplicada indiretamente aos discentes (já que estamos trabalhando com análise documental) do curso de Química-Licenciatura que cursaram a disciplina de Físico-Química II.

A análise foi realizada para as turmas dos semestres de 2012.2, 2013.1, 2015.2, 2016.1, 2016.2, 2017.1, totalizando assim seis turmas. A escolha dessas turmas foi feita com base nas médias das notas da primeira avaliação. Estas médias foram apresentadas pela discente Maria Kelly Pereira da Silva, no ano de 2017 em seu trabalho de conclusão de curso denominado: “DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIDÁTICO E ANÁLISE DE SUAS CONTRIBUIÇÕES NO PROCESSO ENSINO E APRENDIZAGEM DO CONTEÚDO DE TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES NO ENSINO SUPERIOR”.

As análises foram realizadas com a primeira avaliação de cada uma das seis turmas, totalizando 86 avaliações. Durante o processo de análise dessas avaliações, foi feita a categorização e classificação dos erros cometidos referentes as questões que envolviam apenas a parte de cálculo do conteúdo de termodinâmica de soluções.

Vale destacar que nesta análise, foram respeitadas as Diretrizes e Normas Regulamentadoras das Pesquisas envolvendo Seres Humanos (Resolução nº196/96 –

CNS/MS, 1996) que nos remete a garantia do sigilo das pessoas envolvidas e os dados confidenciais da comunidade acadêmica.

A análise, categorização e classificação dos erros foram realizadas utilizando o Modelo de Análise Didática dos Erros (MADE), apresentada por Torres (2007). Além dos erros terem sido identificados e categorizados nas dimensões de entrada, organização e execução, foi imprescindível classificá-los em cada subcategoria, de acordo com o campo específico, pois mesmo estando dentro da mesma esfera, apresentavam contextos e naturezas diferentes. Os critérios utilizados nessa análise documental baseiam-se nos diferentes tipos de erros classificados por Torre (2007), que perpassa a compressão inicial do que se pede na questão, a organização cognitiva e à sua própria execução.

É importante destacar que as questões que foram analisadas são referentes exclusivamente ao conteúdo de termodinâmica de soluções que envolvia a utilização do raciocínio lógico-matemático baseados nos princípios químicos. No processo de análise das avaliações a numeração das questões foi adaptada, ou seja, não há uma equivalência entre elas e as numerações presentes nas avaliações. Isto porque, a maioria das avaliações eram compostas por um total de cinco questões, sendo para algumas turmas uma questão teórica e quatro questões envolvendo cálculo, e para outras turmas duas questões teórica e três questões envolvendo cálculo. Como apenas as questões que envolviam cálculos foram analisadas, na descrição desse trabalho as questões foram enumeradas como “questão 1” até a “questão 4” para as turmas nas quais a avaliação continha quatro questões com cálculos, e para outras que continham apenas três, como “questão 1”, “questão 3” e “questão 4”. Isto porque a questão que foi denominada de questão 2, não estava presente nas avaliações das turmas que continham apenas três questões de cálculo. A numeração de cada questão que é mostrada no trabalho, apresenta uma semelhança no que se diz respeito ao método e procedimento de resolução.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

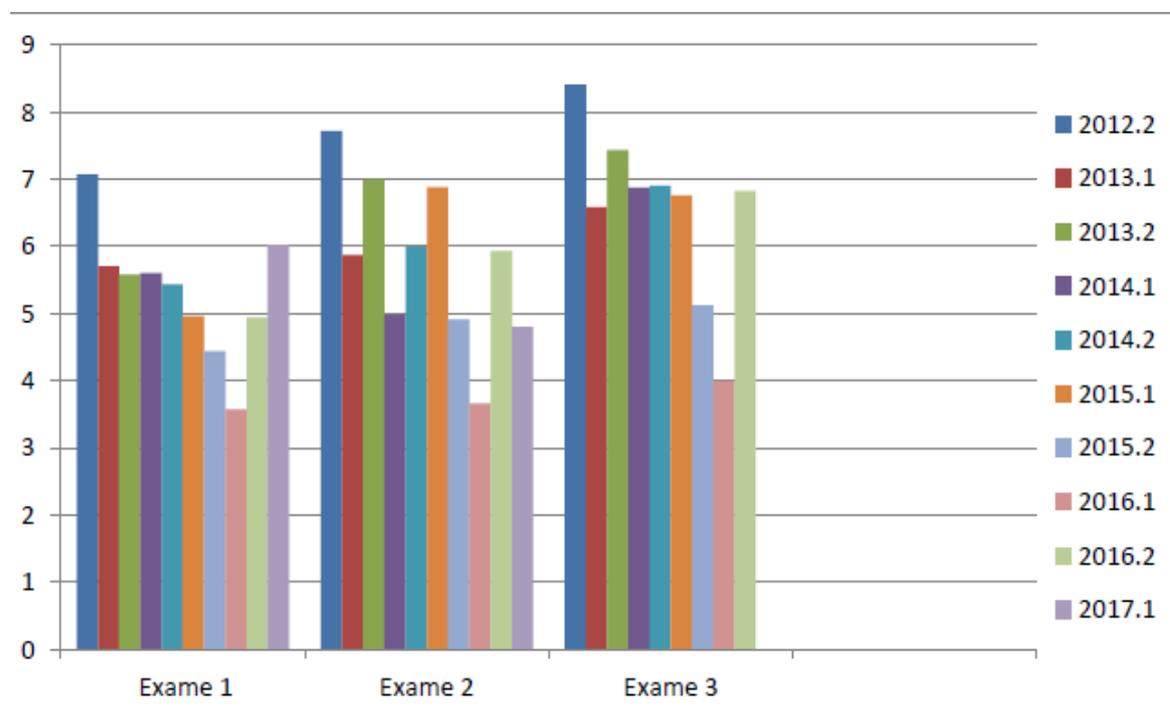
Em primeira estância, será apresentado o resultado da análise documental dos valores estatísticos de cada turma, os mesmos foram obtidos a partir do sistema SIG@ da UFPE, e são referentes aos semestres de 2012.2 à 2017.1. Essa análise foi realizada pela discente Maria Kelly Pereira da Silva em seu trabalho de conclusão de curso intitulado: “DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIDÁTICO E ANÁLISE DE SUAS CONTRIBUIÇÕES NO PROCESSO ENSINO E APRENDIZAGEM DO CONTEÚDO DE TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES NO ENSINO SUPERIOR”. O resultado desta análise é apresentado no gráfico da figura 4. Este gráfico mostra as médias das notas de cada avaliação para as turmas dos semestres 2012.2 a 2017.1.

Verificando o gráfico da figura 4, pode ser observado que para praticamente todas as turmas, com exceção das turmas do período 2014.1 e 2017.1, a média das notas da primeira avaliação é menor comparada com as outras avaliações. Este resultado foi decisivo para escolher qual das três avaliações, do componente curricular Físico-Química II, seria analisada. Desta forma, a escolha da primeira avaliação para as análises se deu por causa do baixo desempenho da maioria das turmas na referida avaliação. Com isso, pode-se esperar o aparecimento de forma mais significativa de diversos tipos de erros.

Ao observar as médias da primeira avaliação no gráfico da figura 4, podemos ver que apenas uma turma apresentou média maior que sete (turma 2012.2). Também pode ser observado que a média das notas das turmas com o passar dos semestres foi decaindo, até chegar em um mínimo na turma de 2016.1, e posteriormente houve um aumento considerável nesta média nas turmas de 2016.2 e 2017.1.

Estes resultados foram importantes para definir as turmas que seriam escolhidas para a investigação. Mediante a isso surgiu a ideia de analisar os erros cometidos pelos discentes nas turmas dois extremos do gráfico e nos pontos mínimos, onde as médias foram menores.

Figura 4: Médias das notas referentes a três avaliações das turmas 2012.2 à 2017.1 da disciplina de Físico-Química II



Fonte: Adaptada do TCC de Maria Kelly Pereira da Silva

5.1 Análise dos erros de entrada

As questões que serão apresentadas neste trabalho não dizem respeito ao todo da prova e sim a um recorte da mesma, desta forma a numeração que foi utilizada aqui não se refere a numeração que consta nas avaliações analisadas. Pois foram consideradas apenas as questões que envolvem a relação de cálculos matemáticos com os conceitos físico-químicos referentes ao conteúdo de termodinâmica de soluções. Vale salientar que o quantitativo de questões que envolvem cálculos matemáticos não é o mesmo em todas as avaliações das turmas analisadas. As avaliações das turmas 2012.2, 2013.1 e 2016.1 apresentavam quatro questões envolvendo cálculos matemáticos, enquanto as avaliações das turmas 2015.2, 2016.2 e 2017.1 apresentavam apenas três questões. As avaliações das turmas de 2015.2, 2016.2 e 2017.1 não apresentava questão com enunciado semelhante a que foi denominado de “questão 2” nas turmas 2012.2, 2013.1 e 2016.1. Assim, a denominação “questão 2” não irá aparecer nos resultados referentes as turmas 2015.2, 2016.2 e 2017.1.

Em todas as turmas analisadas foi unânime a presença da categoria de erro (Erro de Entrada) no plano da percepção de informação, na questão 4. Segundo Torre (2007) esse erro

é decorrente a metodologia utilizada pelo docente e a capacidade do discente. No caso participa de sua subdivisão “erro de distorção” o mesmo é caracterizado quando levamos em conta a situação de que a informação não é clara, é ambígua ou contrária aos interesses cognitivos. Em todos os casos vistos os discentes erraram da mesma maneira. O enunciado da questão 4 analisada é apresentado na figura 5.

Figura 5: Enunciado da questão 4 da avaliação

[1,5] A medida das composições das fases líquidas e vapor em equilíbrio, de uma solução binária a 45°C e 1 atm, mostrou que $x_A = 0,350$ (x_A é fração molar no líquido) quando $y_A = 0,464$ (y_A é fração molar no vapor). Calcule as atividades e os coeficientes de atividades dos dois componentes da solução com base na Lei de Raoult. As pressões de vapor dos componentes puros, nessa temperatura, são: $p_A^* = 685$ torr e $p_B^* = 438$ torr.

Fonte: Própria

Quando se pede para calcular os coeficientes de atividades, precisamos lembrar que estamos diante de uma solução real, pois não se usa coeficiente de atividade para soluções ideais. Portanto o comportamento do soluto se afasta da Lei de Henry e o solvente da Lei de Raoult. Para isso é preciso utilizar a equação: $\gamma_A = \frac{a_A}{x_A}$ e para obtermos a_A utilizar a equação $a_A = \frac{p_A}{p_A^*}$ (ATKINS, 2012). O desenvolvimento feito pelo discente “A” se encontra na figura 6.

Figura 6: Resposta do Discente A para a questão 4

6. $T = 45^\circ\text{C}$

$p = 1 \text{ atm} \rightarrow 760 \text{ torr}$

$x_{\text{liq}} = 0,350$

$y_{\text{fracção molar vapor}} = 0,464$

$n_A \quad n_B$

$y_A \quad y_B$

$p_A^* = 685 \text{ torr}$

$p_B^* = 438 \text{ torr}$

$a_A = \frac{p_A}{p_A^*}$

$a_A = \frac{239,75 \text{ torr}}{685 \text{ torr}}$

$a_A = 0,35$

$a_B = \frac{p_B}{p_B^*}$

$a_B = \frac{284,7 \text{ torr}}{438 \text{ torr}}$

$a_B = 0,65$

$y_A = \frac{p_A}{p_B^*}$

$0,464 = \frac{p_B}{438}$

$p_B = 203,232$

$a_B = 0,464$

Lei de Raoult

$p_A = x_A \cdot p_A^*$

$p_A = 0,350 \cdot 685$

$p_A = 239,75 \text{ torr}$

$x_A + x_B = 1$

$(0,350) + x_B = 1$

$x_B = 1 - 0,350$

$x_B = 0,65$

$a_B = y_B \cdot x_B$

$y_B = \frac{a_B}{x_B}$

$y_B = \frac{0,65}{0,65}$

$y_B = 1$

Fonte: Própria

O discente A representa todos os outros discentes que se equivocaram na questão 4. Sem exceção de nenhum, todos utilizaram o mesmo método para responder a questão, partindo da Lei de Raoult ($p_A = x_A p_A^*$) para encontrar a pressão de vapor do componente A (p_A), posteriormente aplicando nas fórmulas de atividade $a_A = \frac{p_A}{p_A^*}$, para descobrir a_A , e por fim utilizando a fórmula de coeficiente de atividade $\gamma_A = \frac{a_A}{x_A}$ para descobrir γ_A . Esse erro foi classificado como um erro de entrada no plano das percepções da informação - distorção. Pois

o enunciado trás o termo “com base na lei de Raoult” e isso induz o aluno a usar a expressão matemática da Lei de Raoult para resolver a questão. Fazendo uma inferência podemos dizer também que esse erro pode ser classificado como erro de entrada no plano da compreensão conceitual, visto que o discente não compreende que a atividade do solvente na solução é calculada pela expressão que tem como base a lei de Raoult, mas isto não significa que deve usar a expressão da lei de Raoult. Além do mais, se o discente soubesse que o coeficiente de atividade é utilizado para soluções reais, ele não utilizaria a Lei de Raoult, pois a mesma só é válida para soluções ideais.

Do mesmo modo podemos abrir um leque na discussão e dizer que esse erro pode ser um erro de execução na parte de estratégias, pois o aluno utilizou uma estratégia, mesmo que o desenvolvimento matemático da questão esteja correto (não é à toa que o mesmo desenvolve um “caminho” até chegar a um resultado), porém no ponto da percepção química do sistema está equivocada. Podemos encontrar a resposta correta na figura 7.

Figura 7: Resposta correta da questão 4 da avaliação

6) $a_A = \frac{P_A}{P_A^*}$	$\gamma_A = \frac{a_A}{x_A}$
$P_A = \gamma_A P_t$	$P_t = 1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr}$
$P_A = 0,464 (760 \text{ Torr}) = 352,64 \text{ Torr}$	
$a_A = \frac{352,64 \text{ Torr}}{685 \text{ Torr}} = 0,515 \Rightarrow a_A = 0,515$	
$\gamma_A = \frac{0,515}{0,350} = 1,47 \Rightarrow \gamma_A = 1,47$	
$a_B = \frac{P_B}{P_B^*}$	
$P_B = \gamma_B P_t$	$\gamma_B = 1 - \gamma_A = 1 - 0,464 = 0,536$
$P_B = (0,536)(760 \text{ Torr}) = 407,36 \text{ Torr}$	
$a_B = \frac{407,36 \text{ Torr}}{438 \text{ Torr}} = 0,930 \Rightarrow a_B = 0,930$	
$\gamma_B = \frac{a_B}{x_B}$	$x_B = 1 - x_A = 1 - 0,350 = 0,650$
$\gamma_B = \frac{0,930}{0,650} = 1,43 \Rightarrow \gamma_B = 1,43$	

Fonte: Própria

Outro erro de entrada foi encontrado em umas das questões da avaliação. Esse erro se repetiu nas três últimas turmas analisadas (2016.1, 2016.2 e 2017.1). O enunciado da questão encontra-se na figura 8. E as respostas dadas pelos discentes “B” e “C” encontram-se nas figuras 9 e 10.

Figura 8: Enunciado da questão 1

[2,0] Determine ΔG_{mis} , ΔV_{mis} , ΔS_{mis} e ΔH_{mis} para o processo de mistura de 100,0 g de benzeno (C_6H_6) com 100,0 g de tolueno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) a 20°C e 1 atm. Admita uma solução ideal.

Fonte: Própria

Figura 9: Resposta do discente B para a questão 1

3º)

$\Delta G_{\text{mis}} = ?$ $n_B = 200\text{g de benzeno}$
 $\Delta V_{\text{mis}} = ?$ $n_T = 200\text{g de tolueno}$
 $\Delta S_{\text{mis}} = ?$
 $\Delta H_{\text{mis}} = ?$ *no de mol e não massa !!*
Como encontrar este valor?

$\Delta_{\text{mis}} G = n R.T (x_A \ln x_A + x_B \ln x_B) = ?$
 $x_A = \frac{n_A}{n_T} = \frac{1}{2} = 0,5$ $x_B = \frac{n_B}{n_T} = \frac{1}{2} = 0,5$

$\Delta_{\text{mis}} G = 400\text{g} \times 8,31447\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293\text{K} \times (0,5 \ln 0,5 + 0,5 \ln 0,5) =$
 $\Delta_{\text{mis}} G = 3325,78\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 293 \times 0,5 \times (-0,693) + (0,5 \times (-0,693)) =$
 $= 974,45\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times (-0,3465 - 0,3465) =$
 $= 974,45\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times (-0,693) = -675,29\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\Delta_{\text{mis}} V = V_f - V_i$
 $= (-675,29) - 400\text{g} = -275,29\text{ g/mol} = 275,29\text{ g/mol}$
quais é unidade de volume?

$\Delta_{\text{mis}} V = 0$

$\Delta_{\text{mis}} S = - \left(\frac{\Delta G}{\Delta T} \right) = - \left(\frac{-675,29\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}}{293\text{K}} \right) =$
 $= 2,3047\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\Delta_{\text{mis}} H = 0$, Porque a solução é ideal, então a sua entalpia é igual a zero.

Fonte: Própria

Figura 10: Resposta do discente C para a questão 1

b)?? 1,2

este meio n° de mola, e não fração molar

2e) $C_6H_6 = 78\text{ g}$
 $C_7H_8 = 92\text{ g}$

$x_{Benz} = \frac{150}{78} = 1,92\text{ mol molar}$

Fração molar? $x_{tol} = \frac{250}{92} = 2,71\text{ mol}$

$x_T = x_{Benz} + x_{tol}$
 $x_T = 1,92 + 2,71$
 $x_T = 4,63$

$\Delta G = nRT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$

$\Delta G = 4,63 \cdot 8,31447\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1} \cdot 298\text{ K} \cdot (1,92 \ln 1,92 + 2,71 \ln 2,71)$

$\Delta G = 11,85\text{ J} \cdot 3,95$

~~$\Delta G = 46,8\text{ J}$~~

Fonte: Própria

O ato de compreender está intrinsecamente ligado a ser capaz de reconceitualizar ou expressar tal conhecimento em diferentes maneiras. Os erros que se encontram nas figuras 9 e 10 mostram uma não compressão, por parte dos discentes, do que é número de mol (n) (atualmente chamado de quantidade de matéria) e fração molar de um componente A qualquer na solução (x_A). O discente B substituiu o valor da massa total no lugar do número de mol total e no lugar do volume inicial. Podemos inferir que o aluno não compreendeu as relações: $n = \frac{m}{M}$ e $x_A = \frac{n_A}{n_t}$ e que o mesmo não entendeu que a unidade de medida do volume não é gramas. Segundo Torre (2007) podemos caracterizá-lo como um erro de entrada no plano da compressão conceitual.

O discente C se equivocou ao relacionar a fração molar à razão entre a massa e massa molar, ou seja, dizendo que $x_A = \frac{m}{M}$, a qual vimos que está errado. Assim, podemos observar que nesse caso houve equívocos relacionados à compreensão conceituais.

Podemos ainda observar uma série de erros conceituais na resposta do discente D que se encontra na figura 11.

Figura 11: Resposta do discente D para a questão 1

Soluções ideal

$\Delta G_{\text{mix}} = ?$

$\Delta S_{\text{mix}} = ?$

$\Delta H_{\text{mix}} = ?$

$\Delta V_{\text{mix}} = ?$

150,0g benzene \uparrow 78MM

250,0g toluene \uparrow 92MM

$p = 1 \text{ atm} \rightarrow 760 \text{ Torr}$

$T = 25^\circ\text{C} + 273 \text{ K} = 298 \text{ K}$

$n = \frac{150,0\text{g}}{78 \text{ g/mol}} = 1,92 \text{ mol}$

$n = \frac{250\text{g}}{92 \text{ g/mol}} = 2,71 \text{ mol}$

$n = 1,92 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

$n = 2,71 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

\rightarrow O que é isto, e como encontrar?

$\Delta G_{\text{mix}} = n \cdot R \cdot T (X_A \ln X_A + X_B \ln X_B)$

$\Delta G_{\text{mix}} = (760 \text{ Torr}) \cdot (8,31447 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}) \cdot (298 \text{ K}) \left[(1,92 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}) \ln(1,92 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}) + (2,71 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}) \ln(2,71 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}) \right]$

$\Delta G_{\text{mix}} = (18883061,166) \cdot (1,25 \times 10^{-6}) \cdot (2,70 \times 10^{-6}) = 6,317 \times 10^{-5} \text{ J}$

$\Delta G_{\text{mix}} > 0$

\rightarrow Logo ΔS , ΔH , ΔV $\dot{=} 0$ \rightarrow ΔG_{mix} pode ser (+) para uma solução ideal?

Fonte: Própria

Com essa observação podemos inferir que o discente D não compreende o que é a quantidade de matéria (n). O mesmo afirma que a unidade de medida dessa grandeza é $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$. Aqui estamos diante de um grande erro conceitual, pois a grandeza quantidade de matéria tem unidade de “mol”. Ainda podemos observar que o discente coloca o valor da pressão em “Torr” no lugar do valor da quantidade de matéria, o que evidencia que ele não compreende o que é essa grandeza química. E por fim pode ser observado, que ele afirma que a variação da Energia Livre de Gibbs (ΔG) é maior que zero. Mas como pode ser positiva se estamos trabalhando com uma solução ideal? O próprio discente na parte inicial compactua com a ideia de que essa solução é ideal. Estamos diante de uma série de erros de entrada no plano da compreensão conceitual, segundo Torre (2007).

A resposta correta das questões apresentadas nas figuras 9, 10 e 11 se encontram na figura 12.

Figura 12: Resposta das questões apresentadas nas figuras 9,10, 11

3) $\Delta G_{MIS} = nRT (x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$	$\Delta G_{MIS} = nRT [(0,541) \ln(0,541) + (0,459) \ln(0,459)]$
$x_{BEN} = \frac{n_{BEN}}{n_{BEN} + n_{TOL}}$	$\Delta G_{MIS} = nRT [-0,332 + (-0,357)] = nRT (-0,689)$
$n_{BEN} = \frac{m}{M} = \frac{200,0 \text{ g}}{78,12 \text{ g/mol}} = 2,560 \text{ mol}$	$\Delta G_{MIS} = (4,738 \text{ mol}) (8,31447 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}) (293 \text{ K}) (-0,689)$
$n_{TOL} = \frac{m}{M} = \frac{200,0 \text{ g}}{92,15 \text{ g/mol}} = 2,170 \text{ mol}$	$\Delta G_{MIS} = -7,952,73 \text{ J} = 7,953 \text{ kJ}$
$x_{BEN} = \frac{2,560 \text{ mol}}{(2,560 + 2,170) \text{ mol}} = \frac{2,560 \text{ mol}}{4,730 \text{ mol}} = 0,541$	$\Delta S_{MIS} = -nR (x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$
$x_{TOL} = \frac{2,170 \text{ mol}}{4,730 \text{ mol}} = 0,459$	$\Delta S_{MIS} = -(4,738 \text{ mol}) (8,31447 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}) (-0,689)$
ou $x_{TOL} = 1 - x_{BEN} = 1 - 0,541 = 0,459$	$\Delta S_{MIS} = 27,142 \text{ J/K}$
Camp AGR	

Fonte: Própria

Vale ressaltar que mesmo que os valores numéricos dados nas questões sejam diferentes a maneira de resolver permanece a mesma.

Por fim, e não menos importante, podemos observar na figura 13 um erro de entrada no plano das intenções relacionadas com o conflito de objetivos ou desvio da meta fixada. Pois a questão despertou no aluno “objetivo” diferente do porposto pelo professor (TORRE, 2007). Podemos vê que o aluno calcula a fração molar no vapor (y) ao invés de calcular o coeficiente de atividade (γ). Ainda dentro dessa categoria de erro (entrada) podemos observar um outro erro, que é o erro de compressão conceitual. Já que mesmo se a questão pedisse a fração molar não se utilizaria aquela fórmula, pois a solução não é ideal. E só se utiliza essa expressão se a solução for ideal (ATKINS, 2012).

Figura 13: Resposta do discente E para a questão 4

$$y_A = \frac{x_A P_A^*}{P_B^* + (P_A^* - P_B) x_A}$$
 esta expressão é dada focal meter do vapor, isto não é o coeficiente de atividade !!

~~$$y_A = \frac{0,711 \cdot 16,71 \text{ kPa}}{14,80 \text{ kPa} + (16,75 \text{ kPa} - 14,80 \text{ kPa}) \cdot 0,711}$$~~
 em mesmo assim, não poderia usar esta expressão pois a solução não é ideal.

$$y_A = \frac{11,88}{14,80 + (1,95) \cdot 0,711} = \frac{11,88}{14,80 + 1,38} = \frac{11,88}{16,18}$$

$$y_A = 0,73$$

$$y_B = 1 - y_A$$

$$y_B = 1 - 0,73$$

$$y_B = 0,27$$

A questão pede para calcular o coeficiente de atividade (y), e não a focal meter no vapor (y')

Fonte: Própria

5.2 Análises dos erros de organização da informação

Essa categoria foi encontrada poucas vezes nas avaliações dos discentes. Os principais erros encontrados desta categoria foram em relação à ordenação e a análise e síntese. Segundo Torre (2007) o erro de organização ocorre quando o aluno não organiza adequadamente as informações de que dispõe, e isso faz com que haja um desvio da meta desejada. O autor também revela que “por trás de um erro de ordenação costuma existir um erro conceitual de entrada”.

Quando falamos dos erros de análise e síntese levamos em conta o processo de isolar elementos e combiná-los de maneira correta. Os exemplos referentes a essa categoria são apresentados nas figuras 14 e 15 a seguir.

Figura 14: Resposta do discente F para a questão 4

5º) $T = 288,15 \text{ K}$
 $x_T = 0,711$ - trichlorometano (líquido)
 $x_E = 0,831$ - " (vapor)
 $P = 12,65 \text{ kPa}$
 $a = ?$
 $x_T = ?$
 $P_T^* = 16,71 \text{ kPa}$
 $P_E = 14,80 \text{ kPa}$
 $a_T = \frac{P}{P_T^*} \quad a_{TRI} = \frac{P_{TRI}}{P_{TRI}^*} = \frac{y_{TRI} \cdot P_{TOTAL}}{P_{TRI}^*}$
 $a_T = \frac{12,65 \text{ kPa}}{16,71 \text{ kPa}} = 0,75$
 $a_E = \frac{P}{P_E} = \frac{12,65 \text{ kPa}}{14,80 \text{ kPa}} = 0,85$

Fonte: Própria

Na figura 14 podemos visualizar que o discente utilizou a estratégia errada (já que partiu da relação $a_A = \frac{p_{total}}{p_A^*}$ e não da $a_A = \frac{p_A}{p_A^*}$), o mesmo não conseguiu isolar os elementos dados e combiná-los. A expressão para se calcular a atividade de componente A é dada por: $a_A = \frac{p_A}{p_A^*}$. O discente ao invés de colocar o valor da pressão de vapor do triclorometano (a partir da equação $p_A = y_A P_{total}$), ele colocou o valor da pressão total do sistema. Categorizando assim um erro de análise e síntese. Pois o mesmo não conseguiu isolar os

elementos que dispõe e combiná-los de forma correta. O mesmo tipo de erro pode ser visto na figura 15 (TORRE, 2007).

Figura 15: Resposta do discente G para a questão 4

The image shows handwritten work on lined paper with several errors and corrections:

- Top line: $5 a_A = P_A \Rightarrow a_T = 36,65 \text{ KPa}$ (circled in red with "??" above it). To the right, $\rightarrow a_T = 0,761$ is crossed out with a double slash.
- Below the first line: P_A^* is written above $48,10 \text{ KPa}$.
- Second line: $a_\varepsilon = 36,65 \text{ KPa}$ (circled in red with "??" above it). To the right, $\rightarrow a_\varepsilon = 0,885$ is crossed out with a double slash.
- Below the second line: $43,85 \text{ KPa}$ is written.
- To the right of the second line: $a_A = \frac{P_A}{P_A^*} = \frac{Y_A \cdot P_{TOTAL}}{P_A^*}$ is written.
- Third line: $a_A = y_A x_A \rightarrow 0,761 = y_A \cdot 0,633$ is written.
- Below the third line: $a_T = \frac{y}{T} x$ is written.
- Below the fourth line: $0,761 = y_A$ is written.
- Below the fifth line: $0,633$ is written.
- Below the sixth line: $y_A = 1,202$ is written and crossed out with a double slash.
- On the right side of the third and fourth lines, there are additional calculations: $a = y \cdot z$ and $0,3 = y$.
- Large red "??" marks are present on the right side of the work.

Fonte: Própria

Os erros de análise e síntese nesses casos também levaram aos erros de ordenação, pois como o discente não conseguiu isolar e combinar os elementos dados, de forma a ordená-los de maneira correta. A maneira correta de resolver a questão é semelhante a resposta da figura 7.

5.3 Análise dos erros de execução

Nesta categoria, os erros que apareceram de forma mais significativa foram: os erros mecânicos ou lapsos, e os erros operacionais e de distração.

Erros operacionais e de distração, de acordo com Torre (2007), ocorrem ao se operar ou executar um procedimento. O autor explica que esse tipo de erro pode ocorrer devido a nervosismo durante a realização de determinada atividade, o que faz com que haja omissões

devido ao esquecimento, o sujeito tenta lembrar, mas não consegue. Ou pode ocorrer também a confusão na ordem de operações ou até mesmo nas etapas de um processo devido a distrações. Os erros mecânicos ou lapsos, que representam maioria dos erros encontrados nas avaliações analisadas fazem referência ao stress, fadiga, cansaço do discente. Segundo Torre (2007) esse erro está ligado a omissões pequenas no processo como: troca de sinal por outro, e de uma palavra por outra.

Nas figuras 16 e 18, podemos observar a presença de erros mecânicos ou lapsos, pois retratam a alteração de um sinal por outro. E subsequentemente na figura 18 visualizamos os erros operacionais e de distração, pois o discente se equivoca ao executar um procedimento matemático.

Figura 16: Resposta do discente H para a questão 1

③ $\Delta H_{mix} = 0$ ~~~ 100 100~~ ~~consideradas as~~ ~~interações~~ ~~moleculares~~ ~~para uma solução ideal~~

ΔG_{mix}
 ΔV_{mix}
 ΔS_{mix}
 ΔH_{mix}

$V = \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$ Como G é uma grandeza que depende apenas da temperatura e não da pressão γ é constante, logo $\Delta V_{mix} = 0$

$m = 100g C_6H_6$ $m_B = 100g \cdot 78g/mol = 100/78 \text{ mol}$

$m = 100g (C_6H_5CH_3)$ $m_t = 100g / 92g/mol = 100/92 \text{ mol}$

$MM_B = 12 \times 6 + 6 \times 1 = 78g/mol$

$MM_T = 7 \times 12 + 8 \times 1 = 92g/mol$

$T = 20^\circ C + 273,15$
 $T = 293,15K$

$X_B = \frac{m_B}{m_B + m_t}$

$X_B = \frac{100/78 \text{ mol}}{100/78 + 100/92 \text{ mol}}$

$X_B = 0,54$

$X_B + X_T = 1$
 $X_T = 1 - 0,54$
 $X_T = 0,46$

$\Delta G_{mix} = mRT (X_B \ln X_B + X_T \ln X_T)$

$\Delta G_{mix} = \left(\frac{100 \cdot 100}{78 \cdot 92}\right) \text{ mol} \cdot 8,31447 \text{ J/mol} \cdot K \cdot 293,15K$
 $(0,54 \ln 0,54) + 0,46 \ln 0,46$

$\Delta G_{mix} = -234343 \text{ J}$

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

$\Delta S_{mix} = \frac{-\Delta G_{mix}}{T} = \frac{234343 \text{ J}}{293,15K} = 800 \text{ J/K}$

Fonte: Própria

Podemos analisar o equívoco do discente “H” que trocou a soma pela multiplicação. A quantidade de matéria total de um sistema é dada pela soma das mesmas, e não pela

multiplicação. Caracterizando assim um erro mecânico ou lapso. Como é mostrado na figura 18, o mesmo tipo de erro acontece quando o discente “I” encontra o valor positivo para G^E , onde seria negativo, isto porque o mesmo realizou uma soma ao invés de uma subtração. O enunciado dessa questão encontra-se na figura 17.

Figura 17: Enunciado da questão 2

[2,0] A energia de Gibbs em excesso de soluções de metilcicloexano (MCH) e tetraidrofurano (THF) a 303,15 K ajusta-se à expressão:
 $G^E = nRTx(1-x)\{0,4857 - 0,1077(2x-1) + 0,0191(2x-1)^2\}$, onde x é a fração molar do metilcicloexano. Calcule a energia de Gibbs de mistura quando se prepara uma solução de 2,00 mols de metilcicloexano em 4,00 mols de tetraidrofurano.

Fonte: Própria

Figura 18: Resposta do discente I para a questão 2

$n_{MCH} = 2,00 \text{ mols}$ $x_{MCH} = 0,33$ (14)
 $n_{THF} = 4,00 \text{ mols}$ $x_{THF} = 0,66$ (15)

$$\Delta G_{mix}^{ideal} = nRT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$$

$$\Delta G_{mix}^{ideal} = 6,00 \text{ mols} \cdot 8,31447 \text{ J/mol} \cdot 303,15 \text{ K} (0,33 \ln 0,33 + 0,66 \ln 0,66)$$

$$\Delta G_{mix}^{ideal} = -9680,336334 \text{ J}$$

$$G^E = nRTx(1-x)\{0,4857 - 0,1077(2x-1) + 0,0191(2x-1)^2\}$$

$$G^E = 6,00 \text{ mols} \cdot 8,31447 \text{ J/mol} \cdot 303,15 \text{ K} \cdot 0,33 \cdot (1-0,33) \{0,4857 - 0,1077(2 \cdot 0,33 - 1) + 0,0191(2 \cdot 0,33 - 1)^2\}$$

$$G^E = 3343,737195 \{0,4857 + 0,036618 + 0,00220496\}$$

$$G^E = 1753,846962 \text{ J}$$

$$G = \Delta G_{mix} - \Delta G_{mix}^{ideal}$$

$$\Delta G_{mix} = G + \Delta G_{mix}^{ideal}$$

$$\Delta G_{mix} = 1753,846962 \text{ J} + 9680,336334 \text{ J}$$

$$\Delta G_{mix} = 11426,1833 \text{ J}$$

Fonte: Própria

Por fim o enunciado da questão 3 encontra-se na figura 19.

Figura 19: Enunciado da questão 3

(a) [1,5] Uma solução contendo 0,80g de uma proteína em 100 ml da solução tem uma pressão osmótica de 2,06 Torr a 25°C. Determine a massa molar da proteína.

Fonte: Própria

A respostas do discente “J” para a questão 3 encontra-se na figura 20. Vale salientar que os valores numéricos são diferentes, porém o procedimento para a realização da questão é o mesmo.

Figura 20: Resposta do discente J para a questão 3

$V = 100 \text{ ml} = 0,1 \text{ L}$
 $m = 0,166 \text{ g}$
 $\pi = 1,2 \text{ Torr}$
 $T = 25^\circ \text{C} = 298 \text{ K}$

$\pi = [B]RT$
 $1,2 \text{ Torr} = [B] 0,08206 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}$
 $1,2 = [B] 24,45388$
 $[B] = 1,2 / 24,45388$
 $[B] = 0,04907 \text{ mol/L}$
 $n = V \cdot [B]$
 $n = 0,1 \cdot 0,04907$
 $n = 4,907 \times 10^{-3} \text{ mol}$

$MM = \frac{m}{n}$
 $MM = \frac{0,166 \text{ g}}{4,907 \times 10^{-3} \text{ mol}}$
 $MM = 33,83 \times 10^3 \text{ g/mol}$
 $MM = 33830 \text{ g/mol}$

Fonte: Própria

O discente “J” fez uma troca pequena, mas que ocasionou uma diferença no resultado final. O mesmo ao invés de dividir o valor de 1,2 por 18.272, ele dividiu 1,2 por 18,272, ou seja, houve uma troca do ponto (.) pela vírgula (,). O que caracteriza um erro operacional e de distração. Podemos inferir por meio desse resultado que o discente poderia estar nervoso no momento da realização da atividade, pois segundo Torre (2007) o nervosismo potencializa a aparição desse tipo de erro. A resposta correta para a questão 3 encontra-se na figura 21.

Figura 21: Resposta correta para a questão 3

$$4)(a) \quad \pi = [B] RT \Rightarrow [B] = \frac{\pi}{RT} = \frac{2,06 \text{ Torr}}{(62,364 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(298 \text{ K})}$$

$$[B] = 1,11 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$[B] = \frac{n}{V} \Rightarrow [B] = \frac{m}{M V} \Rightarrow M = \frac{m}{[B] \cdot V} = \frac{0,80 \text{ g}}{(1,11 \times 10^{-4} \text{ mol/L})(100 \times 10^{-3} \text{ L})}$$

$$M = 72072,07 \text{ g/mol} \Rightarrow M = 72,072 \text{ kg/mol}$$

$$\text{ou } \pi = [B] RT = \frac{n}{V} RT \Rightarrow \pi = \frac{m}{M V} RT \Rightarrow M = \frac{m RT}{\pi \cdot V}$$

$$M = \frac{(0,80 \text{ g})(62,364 \text{ L Torr K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(298 \text{ K})}{(2,06 \text{ Torr})(0,100 \text{ L})} = \frac{14867,58 \text{ g/mol}}{0,206}$$

$$M = 72,172,7 \text{ g/mol}$$

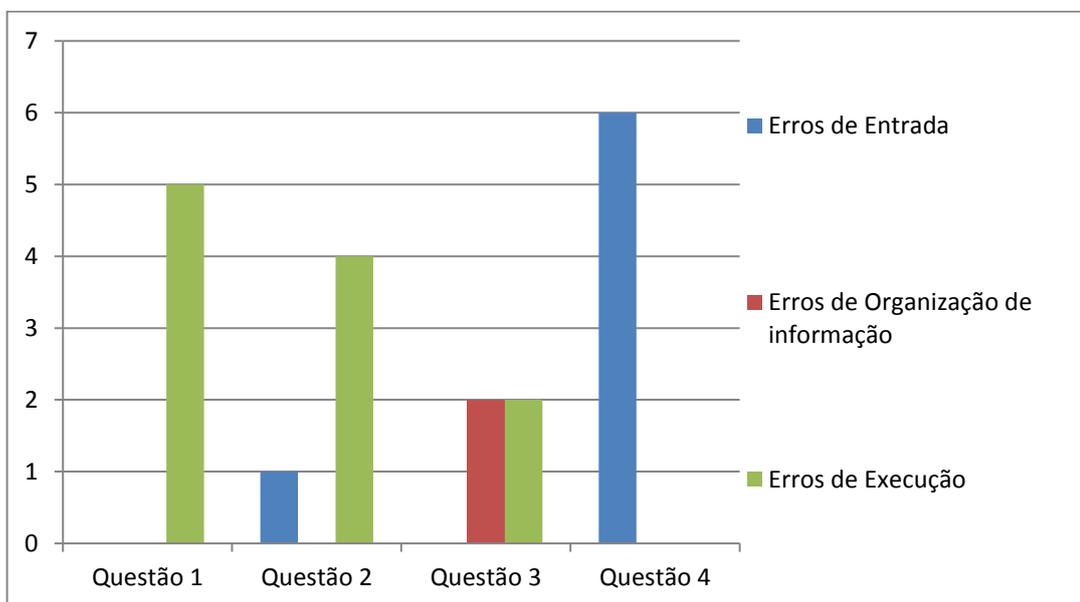
$$M = 72,172,7 \text{ g/mol}$$

Fonte: Própria

5.4 Categorização dos erros nas avaliações do componente curricular Físico-Química II

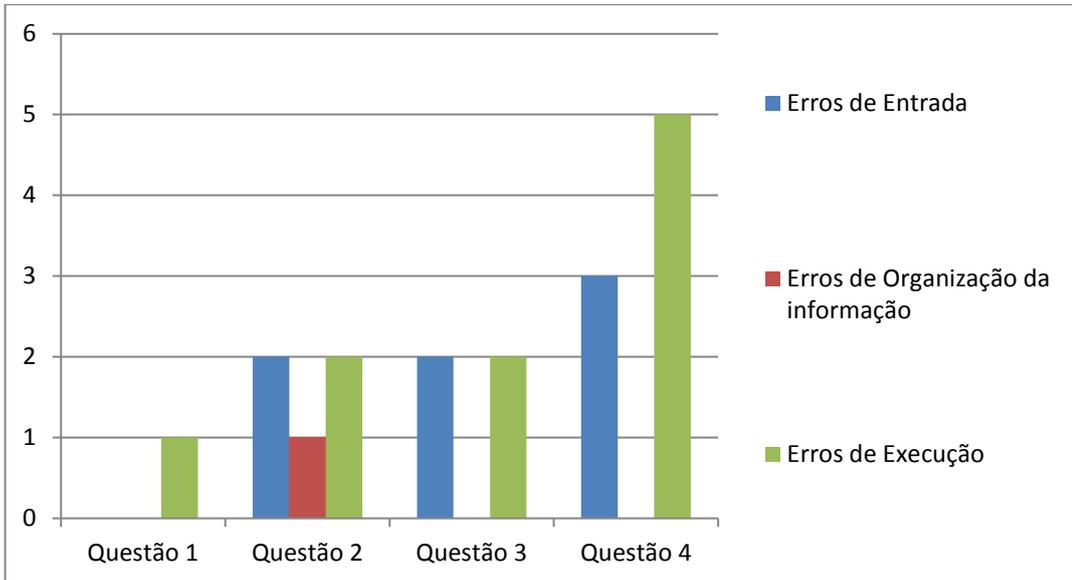
Com os dados obtidos por meio das análises das avaliações das turmas, foram construídos dois gráficos para cada turma analisada. O primeiro é referente às categorias gerais dos erros (Figura 22 a 27), e o outro apresenta um desdobramento mais específico do primeiro, demonstrando as subcategorias dos erros (Figura 28 a 33). Para facilitar a leitura dos dois gráficos, as cores possuem uma estreita relação. Assim, nos gráficos construídos com as categorias gerais de erro, foram utilizadas as cores verde, vermelho e azul, enquanto que nos gráficos construídos com as subcategorias dos erros, foram utilizadas cores com tons semelhantes para associar a categoria geral do erro. Em cada gráfico é apresentado o tipo de erros por categoria ou subcategoria para cada questão analisada e a quantidade de discentes da turma que cometeram determinado tipo de erro. Lembrando que as questões apresentadas nos gráficos não dizem respeito ao todo da prova e sim a um recorte da mesma, assim a numeração que foi utilizada aqui não se refere a numeração que consta nas avaliações analisadas.

Figura 22: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma. 2012.2



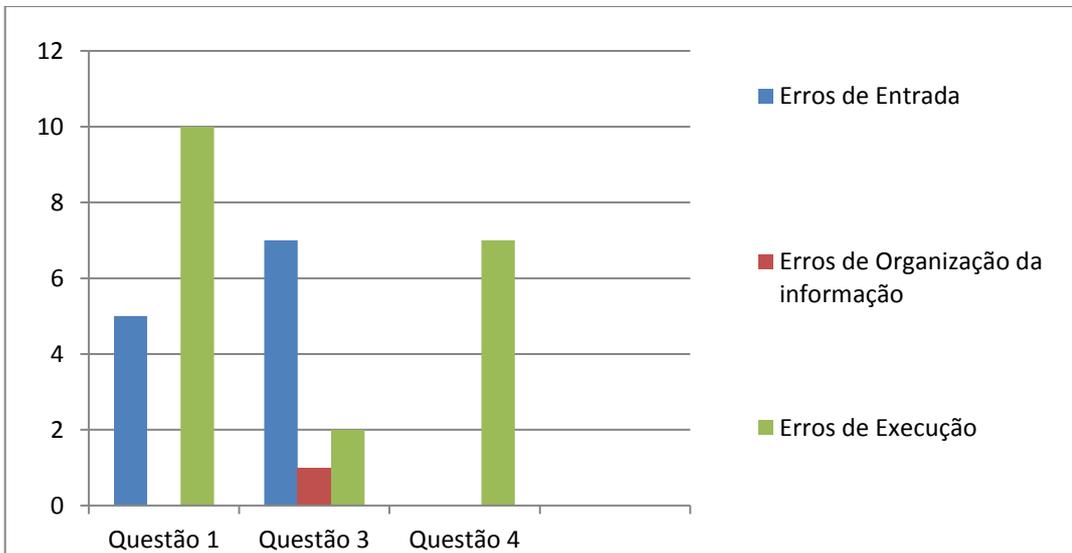
Fonte: Própria

Figura 23: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2013.1.



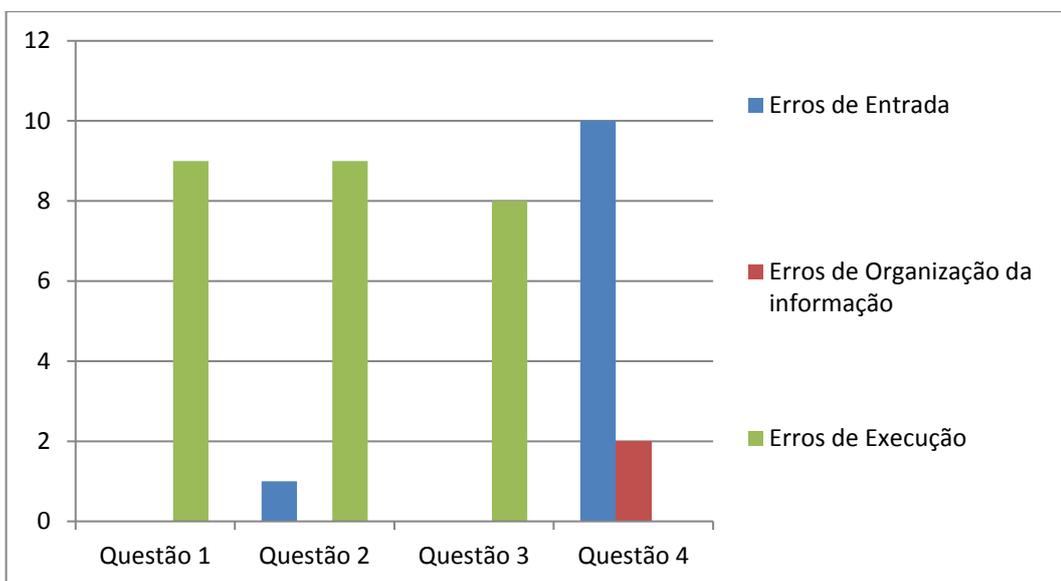
Fonte: Própria

Figura 24: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2015.2



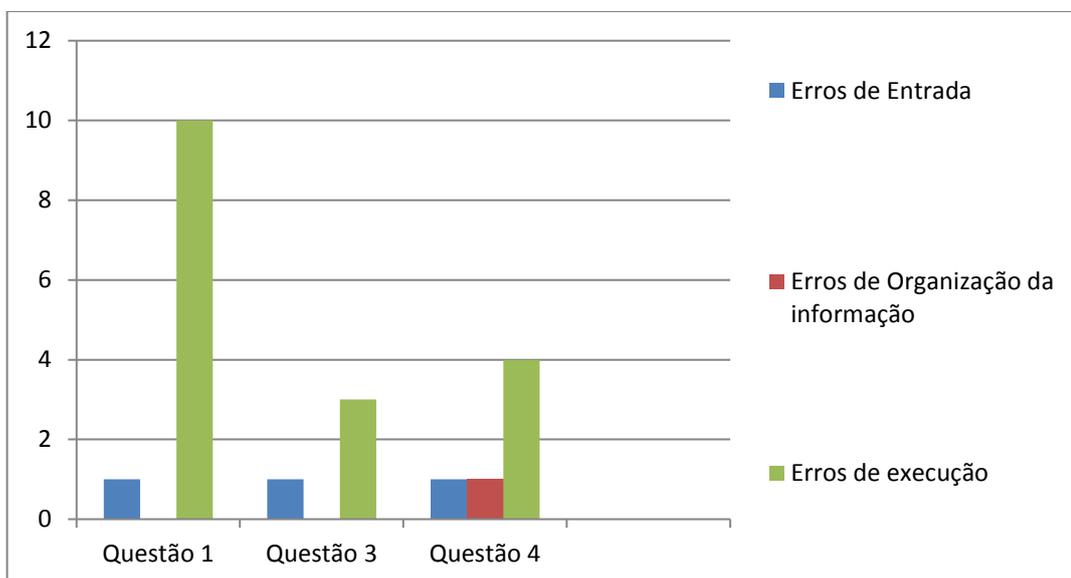
Fonte: Própria

Figura 25: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.1



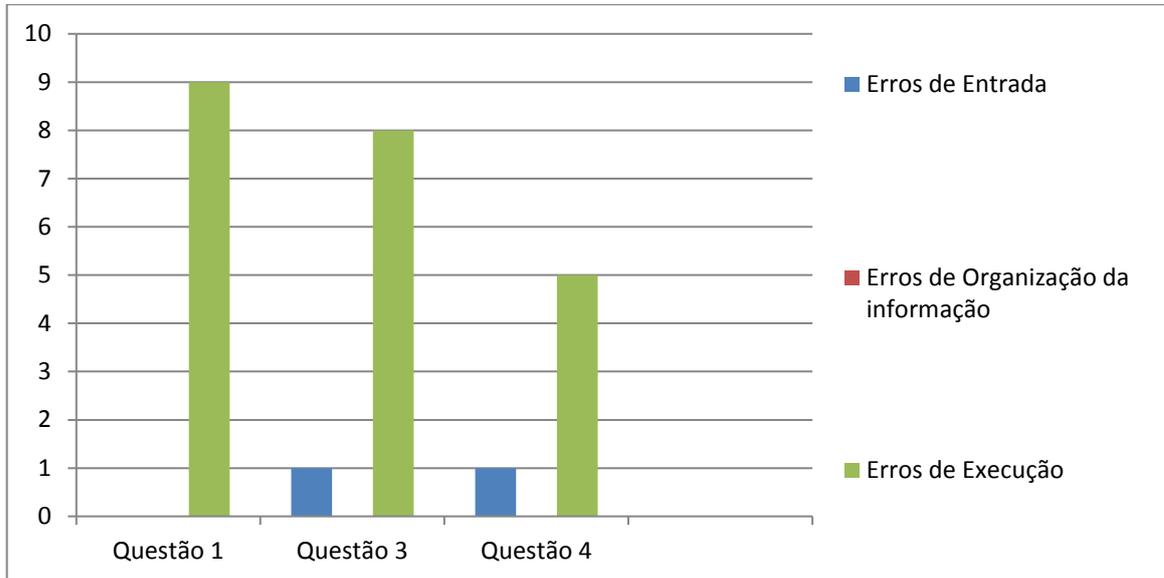
Fonte: Própria

Figura 26: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.2



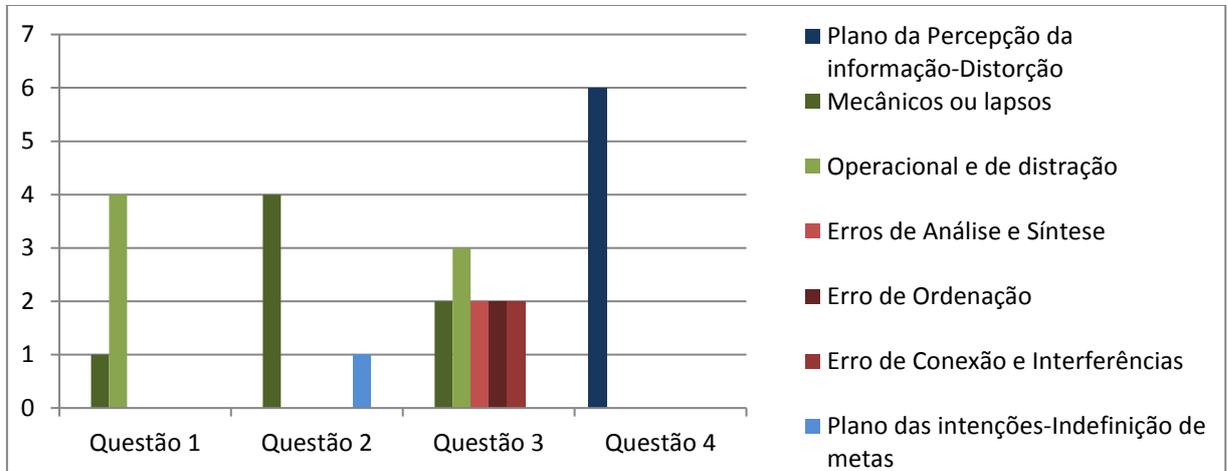
Fonte: Própria

Figura 27: Categorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2017.1



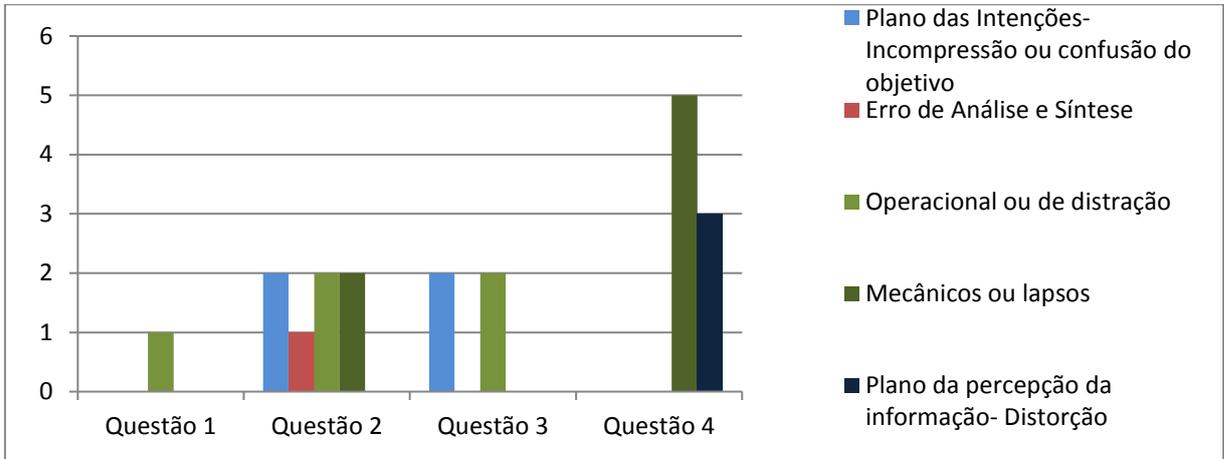
Fonte: Própria

Figura 28: Classificação das subcategorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2012.2



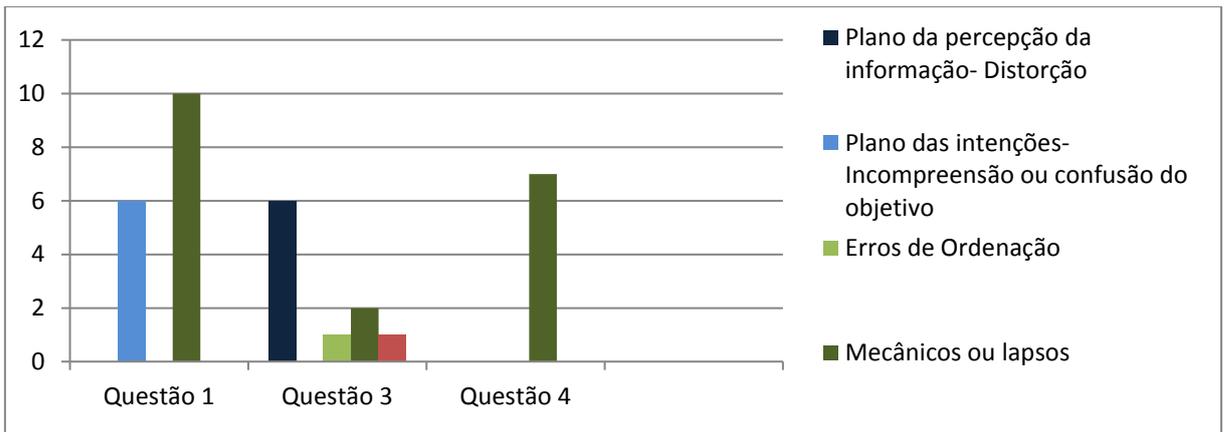
Fonte: Própria

Figura 29: Classificação das subcategorias dos erros referentes a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2013.1



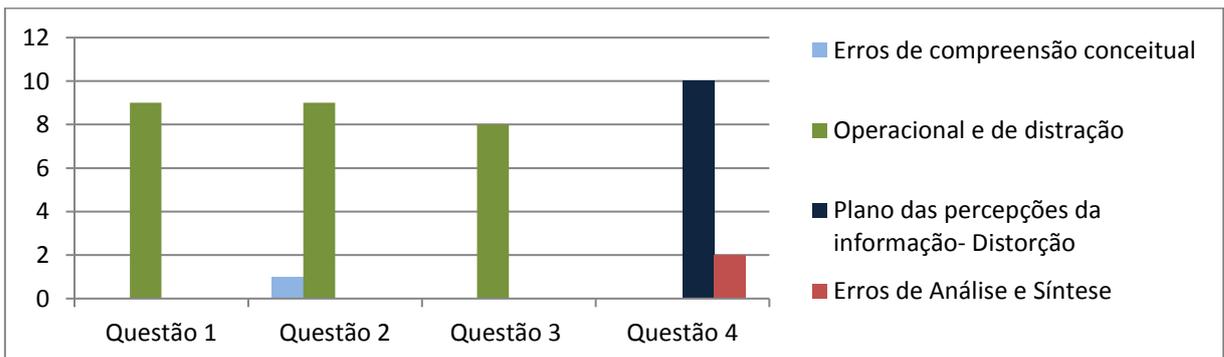
Fonte: Própria

Figura 30: Classificação das subcategorias dos erros referentes a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2015.2



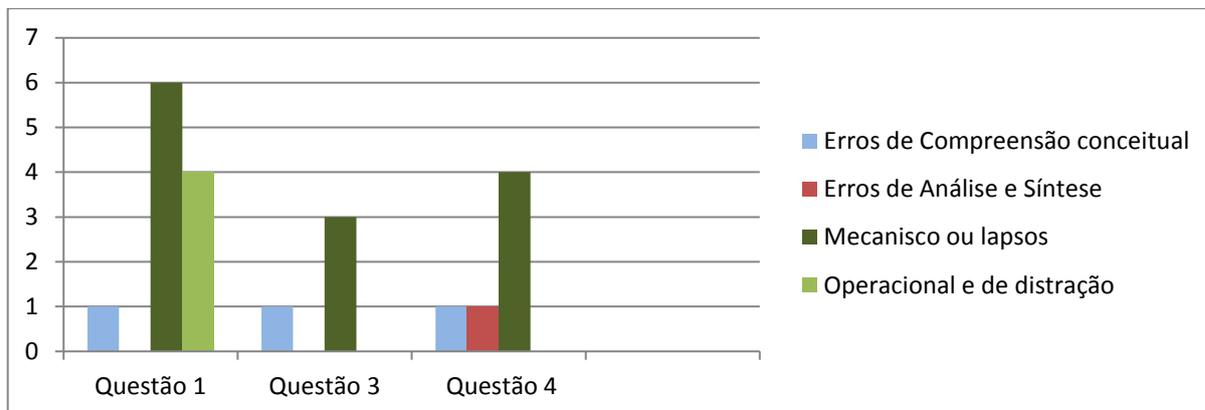
Fonte: Própria

Figura 31: Classificação das subcategorias dos erros referente a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.1



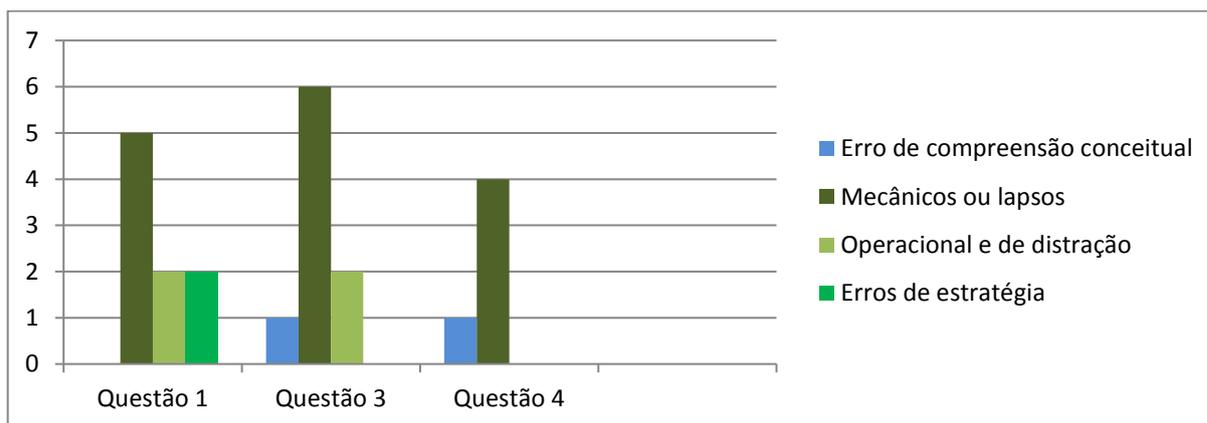
Fonte: Própria

Figura 32: Classificação das subcategorias dos erros referentes à primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2016.2



Fonte: Própria

Figura 33: Classificação das subcategorias dos erros referente a primeira avaliação da disciplina Físico-Química II da turma 2017.1



Fonte: Própria

De acordo com a Figura 22, podemos perceber a ausência dos erros de entrada e organização na questão 1 e a unanimidade do erro de entrada na questão 4. Além da turma de 2012.2 apresentar o melhor desempenho acadêmico (Figura 4), também apresentou a maior variedade de erros encontrados (Figura 28), totalizando sete subcategorias de erros diferentes os planos defendidos por Torre (2007).

Além disso, podemos observar que a turma 2013.1 demonstrou quase a “extinção” do erro de organização, o erro de entrada é marcante em todas as questões, exceto na primeira. E o erro de execução sucede em todas as questões.

Fazendo uma comparação entre os semestres de 2012.2 e 2013.1, observamos que foi unânime a presença do *erro de entrada no plano das percepções de informação – distorção* na questão 4. Podemos analisar também o aparecimento do erro de organização na questão 2 e o desaparecimento do mesmo na questão 3. Por fim os erros de execução foram encontrados em todas as questões, exceto a questão 4 (Figura 29).

Em relação a turma 2015.2, foi possível verificar um número menor de questões envolvendo cálculos físico-químicos nessa avaliação, em comparação com as avaliações dos semestres anteriores que tinham 4 questões. Dessas três apresentadas a presença dos erros mecânicos ou lapsos foi bastante significativa (Figura 24 e 30). Segundo Torre (2007) tais erros estão ligados a pequenos detalhes como alteração de um sinal por outro e/ou a omissão de letras.

É importante destacar, que os semestres de 2015.2 e 2016.1 são os que apresentam rendimento mais baixo durante os 10 períodos analisados. Neste sentido, é possível perceber o não ou o pouco aparecimento dos erros de organização, assim podemos inferir que os discentes erram por não compreenderem o que se pede, ou por causa das informações da questão que são distorcidas, dificultando assim a análise dos elementos, sua associação e organização.

Diferente das outras turmas, que apresentavam uma mescla de tipo de erros, na turma de 2016.2 é notório os erros de execução se sobressaindo sobre os outros (Figura 26). Também podemos observar esse fenômeno no semestre de 2017.1 (Figura 27). Nele o erro de organização é extinto e os de entrada são pouco significativos em relação aos de execução.

Como mostrado nos gráficos analisados acima, podemos perceber uma frequência maior dos erros de execução nas atividades avaliativas analisadas. Segundo MOVSHOVITZ – HADAR et al (1987) tais erros de execução são chamados de *erros técnicos*, e que segundo o autor são encontrados em questões que envolvem cálculos tanto algébricos quanto aritméticos da matemática básica.

Seguindo o raciocínio do aparecimento dos erros de execução defendidos por Torre (2007) podemos inferir que tais erros não derivam exclusivamente de uma não e/ou má interpretação da questão, todavia os erros de entrada foram menores que os de execução. Para a categorização feita por RADATZ (1979) os erros de execução defendidos por Torre (2007) se encaixam nos erros que englobam a aplicação de regras ou estratégias irrelevantes. O autor descarta a ideia dos erros lapsos ou mecânicos, operacional e de distração categorizados por Torre (2007). Segundo defende Rico (1995 apud CORREIA, 2010) esses erros são

potencializados por quatro causas: 1. A realização incorreta de uma operação; 2. A compreensão conceitual insuficiente; 3. A distração; 4. A aplicação de regras indevidas.

Em segundo plano temos o aparecimento dos erros de entrada. Os mesmos são equivalentes, em sua maioria, aos erros defendidos por RADATZ (1979) referentes a: *dificuldades da linguagem e na obtenção de informações, deficiência no domínio, nas habilidades, nos fatos e nos conceitos pré-requisitos*. Segundo MOVSHOVITZ – HADAR et al (1987) os erros de entrada são os mais frequentes quando falamos a respeito de resolução de questões matemática, pois segundo o autor os alunos ainda possuem certa deficiência na interpretação das questões. O mesmo categoriza os erros de entrada defendidos por Torre como: *erros de linguagem mal interpretada, inferência logicamente inválida, teorema ou definição distorcida*. Portanto temos que se o aluno sequer compreende o que lhe foi solicitado, a tentativa de apresentar alguma solução vai ser barrada pelos seus limites e os erros cometidos são sistemáticos, ou seja, vão se repetir em situações semelhantes. (DAVIS; ESPÓSITO, 1990).

Por fim os erros de Organização da informação foram raramente encontrados inferindo assim que os discentes conseguem fazer a análise e síntese da informação obtida, à ordenação dessa informação e à sua conexão com o conhecimento, quando os mesmos conseguem superar os erros de entrada.

6. CONCLUSÃO

Com o trabalho vigente foi possível, tanto analisar e categorizar os principais erros cometidos pelos discentes, quanto propor uma reflexão didática do erro como alavanca no processo de construção do conhecimento. Podemos inferir que os erros encontrados referentes ao conteúdo de Termodinâmica de Soluções, por meio da análise documental das avaliações das turmas de 2012.2, 2013.1, 2015.2, 2016.1, 2016.2 e 2017.1 contribuem de forma direta para os desempenhos das turmas observados pelo sistema SIG@ da UFPE. De modo geral as turmas de 2012.2, 2013.1, 2016.2 e 2017.1 tiveram os melhores desempenhos e as turmas de 2015.2 e 2016.1 arcaram com os desempenhos mais baixos e por consequência o aparecimento de mais erros, que foram categorizados baseando-se no modelo de Torre (2007).

Em relação ao aparecimento de erros a contribuição é mais significativa quando falamos dos “*erros de execução*”, todavia os mesmos foram os mais frequentes, seguido dos *erros de entrada*, e posteriormente e mais raros os *erros de organização da informação*. É notório que todos esses erros potencializam um baixo rendimento nas avaliações realizadas no componente curricular Físico-Química II, do 7º período do Curso de Química-licenciatura do CAA-UFPE.

De forma geral, os erros marcados pela omissão de letra, alteração ou substituição de sinal por outro e aqueles potencializado pelo nervosismo causando o esquecimento foram os mais comuns na categoria de “erros de execução”. Os equívocos de organização referentes a isolar elementos (análise) e combiná-los de maneira diferente (síntese) apareceram de forma rara na análise. E em destaque o aparecimento do erro de entrada quase unânime em uma questão aponta a distorção no enunciado, despertando assim outras metas no aluno sem serem aquelas predefinidas pelo professor. Podemos concluir também que os erros de execução foram a maioria em todas as turmas investigadas e que os erros de organização da informação foram a minoria, chegando até a sua escassez em algumas turmas. Como em todos os casos os erros de execução foram a maioria, podemos inferir que eles contribuem de forma direta e mais significativa para os desempenhos das turmas observados pelo sistema SIG@ da UFPE. Enfim, podemos concluir que categorizar os erros baseando na proposta de Torre (2007) é bastante significativo, pois com essa análise e categorização é possível perceber não só o desempenho dos discentes, mas “onde” e “como” estão se equivocando na realização de uma atividade avaliativa, por exemplo. Vale salientar é claro que muitas vezes é inviável para o docente fazer tal categorização periodicamente, pois a análise requer tempo e muitas vezes o docente não dispõe.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, Maria Helena M. B. (Org.). Avaliação e erro construtivo libertador. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000.
- ÁLVAREZ MÉNDEZ, J. M. M. Avaliar para conhecer: examinar para excluir. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**, vol.1, 9ª ed. Editora LTC, 2012.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- CACHAPUZ, A.F. e PAIXÃO, F. Placing the history and the philosophy of science on teacher education. Em: BIZZO, N.; KAWASAKI, C.S.; FERRACIOLI, L. e ROSA, V.L. (Eds.). Proceedings of the 10th Symposium of the International Organization for Science and Technology Education (IOSTE). Foz do Iguaçu (Brasil), 2002. v. 1, p. 10-19.
- CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 3.ed. São Paulo: Cortez, 1998.
- CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. Resolução no 196/1996. Trata das diretrizes e normas regulamentadoras da pesquisa envolvendo seres humanos. [Internet] Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/web_comissoes/conep/aquivos/resolucoes/23_out-versao_final_196_ENCEP_2012.pdf>. Acesso em: 02/06/2017
- CORREIA, Carlos Eduardo Félix. Os Erros no Processo Ensino/Aprendizagem em Matemática. Educação: Teoria e Prática, v. 20, n. 34, 2010, p. 169. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106927>> Acesso em 12/01/2018
- DAVIS, C.; ESPÓSITO, Y. L. Papel e função do erro na avaliação escolar. *Cadernos de Pesquisa*, n. 74, p. 71-75, 1990.
- DE BONO, E. (1973): La práctica de pensar o como resolver problemas cotidianos, Barcelona, Kairos.
- FISCHER, K. M. (1986): “Twenty Questions about Student Errors”, em *Journal of Research in Science Teaching*, vol.23 (9), págs.783-803
- FREITAS, L.C. [et al] Avaliação educacional: caminhando pela contramão. 2ª edição – Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.
- GALAGOVSKY, L. R.; MUÑOZ, J. C. La distancia entre aprender palabras y aprehender conceptos. El entramado de palabras-concepto como um nuevo instrumento para la investigación. *Enseñanza de las ciencias*, v. 20, n. 1, p. 29-45, 2002.
- GAMBOA, S. S. (Org.). Pesquisa educacional: quantidade-qualidade. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1997.
- GOMES, R. Análise e interpretação de dados de pesquisa qualitativa. In.: DESLANDES, S. F; GOMES, R.; MINAYO, M. C. S.(org). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 26 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2007. P. 79-108.
- HADJI, C. Avaliação desmistificada. Porto Alegre: Artmed, 2001.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Elaborado no Instituto Antonio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

LUCKESI, C. C. Avaliação da aprendizagem escolar. São Paulo: Cortez, 1995.

LUCKESI, C. C. Prática escolar: do erro como fonte de castigo ao erro como fonte de virtude. In: FDE. (Org.). Caderno Idéias. São Paulo: FDE - Fundação para o Desenvolvimento da Educação, 1990, v. 8, p. 133-140.

MCQUARRIE, D. A.; SIMON, J. D., **Physical chemistry: a molecular approach**, Editora University Science Books, 1997

MALDANER, O. A. A formação inicial e continuada de professores de Química. Ijuí: Ed. Unijui, 2000.

MARTINAND, J.-L. (1981). Pratiques sociales de référence et compétences techniques. A propos d'un projet d'initiation aux techniques de fabrication mécanique en classe de quatrième, in A. Giordan (coord.). Diffusion et appropriation du savoir scientifique : enseignement et vulgarisation. Actes des Troisièmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique. (pp. 149-154) Paris: Université Paris 7.

MIRANDA, D. G. P; COSTA, N. S. Professor de Química: Formação, competências/habilidades e posturas. 2007

MOREIRA, M. A: O professor – pesquisador como instrumento de melhoria do Ensino de Ciências. In MOREIRA, M. A. e AXT, R. Tópicos em Ensino de Ciências. Porto Alegre: Ed. Sagra, 1991.

MOVSHOVITZ-HADAR, Nitsa; ZASLAVSKY, Orit; INBAR, Shlomo. An empirical classification model for errors in high school mathematics. Journal for Research in Mathematics Education, v. 18, n. 1, p. 3-14, 1987.

PINTO, N. B.. O Erro como Estratégia Didática: Estudo do erro no ensino da matemática elementar. Campinas – SP: Papyrus, 2000.

RADATZ, H. Error Analysis in the Mathematics Education. Journal for Research in Mathematics Education, v. 9, p. 163-172, 1979.

RICHARDSON, R. J. Pesquisa social: métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROQUE, N. F; SILVA, J. L. P. B. A linguagem química e o ensino da Química Orgânica. Química Nova, v. 31, p. 921-923, 2008.

SALINAS, D. Prova amanhã!: a avaliação entre a teoria e a realidade. Porto Alegre: Artmed, 2004.

SANTOS, W. L. P. e SCHNETZLER, R. P (1997). Educação em química: compromisso com a cidadania. Ijuí, Editora da UNIJUÍ.

SCHNETZLER, R.P. A pesquisa em ensino de Química no Brasil: Conquistas e perspectivas. Química Nova, supl. 1, p. 14-24, 2002.

SOARES, M. Letramento e alfabetização: as muitas facetas. *Revista Brasileira de Educação*, n.25, jan.-abr./2004.

TEIXEIRA J, J.G. e SILVA, R.M.G. Perfil de leitores em um curso de Licenciatura em Química. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1365-1368, 2007

TEIXEIRA, J.; NUNES, L. **Avaliação escolar: da teoria à prática**. Rio de Janeiro: Walk Editora, 2008.

TORRE, S. de la. *Aprender com os erros: o erro como estratégia de mudança*, Porto Alegre: Artmed, 2007.

VASCONCELOS, F. C. G. C.; LEÃO, M. B. C. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia FlexQuest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 37-58, 2012. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID278/v17_n1_a2012.pdf >. Acesso em: 26 de junho. 2017

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.