

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

CLEIÇA RAFAELA DE ALMEIDA GUIMARÃES

**ABORDANDO OS CONCEITOS DE ENTROPIA E ESPONTANEIDADE A PARTIR DA
TEORIA DOS PERFIS CONCEITUAIS**

Caruaru

2019

CLEIÇA RAFAELA DE ALMEIDA GUIMARÃES

**ABORDANDO OS CONCEITOS DE ENTROPIA E ESPONTANEIDADE A PARTIR DA
TEORIA DOS PERFIS CONCEITUAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de concentração: Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof^o. Dr. José Euzebio Simões Neto

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Flávia Cristiane Vieira da Silva

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

- G963a Guimarães, Cleiça Rafaela de Almeida.
Abordando os conceitos de entropia e espontaneidade a partir da teoria dos perfis conceituais. / Cleiça Rafaela de Almeida Guimarães. – 2019.
120 f.; il.: 30 cm.
- Orientador: José Euzebio Simões Neto.
Coorientadora: Flávia Cristina Vieira da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, 2019.
Inclui Referências.
1. Conceitos. 2. Entropia. 3. Espontaneidade (Traço da personalidade). 4. Didática. 5. Química – Caruaru (PE). 6. Estratégias de aprendizagem – Caruaru (PE).
I. Simões Neto, José Euzebio (Orientador). II. Silva, Flávia Cristina Vieira da (Coorientadora). III. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-250)

CLEIÇA RAFAELA DE ALMEIDA GUIMARÃES

**ABORDANDO OS CONCEITOS DE ENTROPIA E ESPONTANEIDADE A PARTIR DA
TEORIA DOS PERFIS CONCEITUAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Aprovada em: 05/07/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. José Euzebio Simões Neto (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profº. Dr. José Ayron Lira dos Anjos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. João Roberto Rátis Tenório da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Drª. Edenia Maria Ribeiro do Amaral (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e coragem para superar as dificuldades e concluir esta etapa tão importante na minha formação.

A minha família, por todo amor, cuidado e por estarem sempre ao meu lado me apoiando e incentivando a não desistir dos meus sonhos.

Ao meu namorado Gledson Amorim pelo apoio, ajuda e paciência ao longo de todo esse tempo de dedicação. E por estar sempre presente em minha vida mesmo na distância.

Aos meus amigos que tornam essa caminhada mais leve, em especial a Marcos (por me ajudar nas gravações de todas as etapas), Elizete, Eduarda, Lane, Renatta. Obrigado, pela força e conselhos e por entender minha ausência.

A Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em especial ao centro Acadêmico do Agreste– CAA pela oportunidade de realização desta pesquisa.

Agradeço a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente ao meu orientador que sempre acreditou em mim, Professor José Euzebio Simões Neto, que mesmo nos dias mais difíceis, nunca desistiu de mim. Obrigado por tudo!

A Professora Flávia Cristiane Vieira da Silva, pela orientação e paciência na realização deste trabalho, grata a vocês pelo apoio e confiança.

Ao Professor José Ayron Lira dos Anjos e a Professora Edenia Amaral pela participação, contribuição e conselhos em minha qualificação. A vocês minha gratidão.

A professora Gilmara Gonzaga Pedrosa pela confiança em desenvolver esse trabalho junto a seus alunos. Muito obrigada!

Aos membros da banca pela disponibilidade e atenção com que aceitaram o convite e pelas contribuições nesse trabalho.

Aos alunos do 6º período do Curso de Química – Licenciatura por participarem dessa pesquisa pelo apoio, colaboração e participação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, minha eterna gratidão.

“Porque não vivo no meu passado, nem no meu futuro. Tenho apenas o presente, e ele é o que me interessa. Se você puder permanecer sempre no presente, então será um homem feliz.” (COELHO, 2017, p. 97).

RESUMO

A presente pesquisa tem o objetivo de analisar a emergência das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e o processo de conceitualização dos estudantes envolvidos na aplicação de uma sequência didática. Justificamos a utilização da teoria dos perfis conceituais pois ela enfatiza a importância em considerar diversos modos de pensar sobre um conceito científico, com valor pragmático em determinados contextos. Participaram da pesquisa vinte estudantes matriculados na disciplina Físico-química I, componente obrigatório do sexto período do curso de Licenciatura em Química do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (CAA/UFPE). Para coleta dos dados, utilizamos inicialmente um questionário para levantamento das concepções prévias dos estudantes. A seguir, aplicamos uma proposta de sequência didática, em 4 momentos, seguindo as orientações de Méheut e tomando por base a teoria dos perfis conceituais, para trabalhar o conceito de entropia e espontaneidade, a partir de atividades como leitura seguida de debate, exibição de um filme, resolução de situações-problema e experimentação. A análise das concepções prévias, bem como dos debates e das produções dos estudantes evidenciou a emergência das três zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, a saber: zona perceptiva/intuitiva, zona empírica e zona racionalista, no entanto, a zona racionalista emergiu predominantemente na análise apenas dos questionários, nas demais análises houve a emergência de apenas duas zonas, a perceptiva/intuitiva e empírica. Destacamos a ocorrência de respostas majoritariamente associadas a ideia de entropia como grau de desordem de um sistema, em associação direta a questão da espontaneidade dos processos mediante aumento da entropia, que corresponde a zona empírica. Ainda, identificamos a presença do hibridismo, ou seja, quando duas zonas do perfil conceitual coexistem em um mesmo discurso. A utilização do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, sobretudo nas disciplinas do curso de Química, que abordam os conceitos, como Físico-química I e II, pode auxiliar na aprendizagem dos conceitos, considerando a pluralidade de significados e contextos de aplicação.

Palavras-chave: Perfil conceitual. Entropia e espontaneidade. Sequência didática.

ABSTRACT

The present research has the objective of analyzing the emergence of the zones of the conceptual profile of entropy and spontaneity and the process of conceptualization of the students involved in the application of a didactic sequence. We justify the use of the theory of conceptual profiles because it emphasizes the importance of considering different ways of thinking about a scientific concept, with pragmatic value in certain contexts. The research was carried out with twenty students enrolled in the discipline Physical Chemistry I, compulsory component of the sixth period of the Formation for Chemistry Teachers course at the Centro Acadêmico do Agreste of the Universidade Federal de Pernambuco (CAA/UFPE). To collect the data, we initially used a questionnaire to survey the students' previous conceptions. Then, we applied a proposal of a didactic sequence, in 4 moments, following the guidelines of Méheut and based on the theory of conceptual profiles, to work on the concept of entropy and spontaneity, from activities such as reading, showing a movie, solving problem situations and experimenting. The analysis of the previous conceptions, as well as of the debates and the productions of the students evidenced the emergence of the three zones of the conceptual profile of entropy and spontaneity, namely: perceptive/intuitive zone, empirical zone and rationalist zone, nevertheless, the rationalist zone emerged predominantly in the analysis of only the questionnaires, in the other analyzes the emergence of only two zones, the perceptive/intuitive and empirical. We highlight the occurrence of responses mostly associated with the idea of entropy as a degree of disorder of a system, in direct association with the question of the spontaneity of the processes by increasing entropy, which corresponds to the empirical zone. In addition, we identify the presence of hybridism, that is, when two zones of the conceptual profile coexist in the same discourse. The use of the conceptual profile of entropy and spontaneity, especially in the subjects of the Chemistry course, which approach the concepts, such as Physical Chemistry I and II, can help in the learning of concepts, considering the plurality of meanings and contexts of application.

Keywords: Conceptual profile. Entropy and spontaneity. Didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação de um Ciclo de Carnot. Variação da pressão, p , com o volume, V , durante o processo	25
Figura 2 –	Losango didático de Méheut	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Questionário para levantamento das concepções prévias dos alunos	34
Quadro 2 –	Questões para o debate	35
Quadro 3 –	Problemas propostos	36
Quadro 4 –	Identificação da Proposta	39
Quadro 5 –	Atividades Desenvolvidas na Sequência Didática	39
Quadro 6 –	Respostas a questão: O que você entende por entropia?	46
Quadro 7 –	Respostas a questão: Entropia é função de estado, ou seja, só depende dos estados inicial e final. Qual sua compreensão sobre essa afirmação?	49
Quadro 8 –	Respostas a questão: A afirmação “a variação de entropia devido à mistura de dois gases é sempre positiva” é correta? Justifique sua resposta	51
Quadro 9 –	Respostas a questão 4: Dentre os processos abaixo (ver figura no apêndice C) nas quais as bolinhas de diferentes cores representam diferentes gases, sinalize se houve aumento, diminuição ou nenhuma variação de entropia. O que levou você a analisar esses sistemas dessa forma?	54
Quadro 10 –	Respostas a questão: Existe alguma relação entre entropia e processos espontâneos?	56
Quadro 11 –	Respostas a questão: Ambos os processos são irreversíveis? (Ver figura no apêndice D). Ainda, baseado nos exemplos e nas suas conclusões acerca da irreversibilidade ou não desses processos, você acha que a afirmação “a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível” está correta ou errada?	58
Quadro 12 –	Respostas a questão: O que você entende por entropia?	60
Quadro 13 –	Respostas a questão: Entropia é função de estado, ou seja, só depende dos estados inicial e final. Qual sua compreensão sobre essa afirmação?	61
Quadro 14 –	Respostas a questão: “A variação de entropia devido à mistura de dois gases é sempre positiva”	62
Quadro 15 –	Respostas a questão: Dentre os processos abaixo, nos quais as bolinhas de diferentes cores representam diferentes gases, sinalize se houve aumento,	

	diminuição ou nenhuma variação de entropia. O que levou você a analisar esses sistemas dessa forma?	62
Quadro 16 –	Respostas a questão: Existe alguma relação entre entropia e processos espontâneos?	62
Quadro 17 –	Respostas a questão: Ambos os processos são irreversíveis? Ainda, baseado nos exemplos e nas suas conclusões acerca da irreversibilidade ou não desses processos, você acha que a afirmação “a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível” está correta ou errada?	63
Quadro 18 –	Episódio 1 – Pergunta 1: Dê outros exemplos do cotidiano nos quais os conceitos de entropia e espontaneidade aparecem e se relacionam	64
Quadro 19 –	Episódio 2 – Pergunta 2: Na reação de dissolução do cloreto de sódio em água a entropia aumenta ou diminui? Qual a explicação?	66
Quadro 20 –	Episódio 3 – Pergunta 3: Em um processo de transformação de um sólido em líquido e, posteriormente, do líquido em um vapor, pelo aumento da temperatura, como se comporta a entropia? O processo é espontâneo?	66
Quadro 21 –	Episódio 4 – Pergunta 4: Utilize os conceitos de entropia e espontaneidade para explicar com o máximo de detalhes os seguintes fenômenos	67
Quadro 22 –	Episódio 5 – Pergunta 5: Como você interpreta a afirmação: “existe uma tendência a energia mínima e a entropia máxima em um sistema isolado”? Explique sua resposta em termos dos conceitos termodinâmicos (energia livre de Gibbs, entropia, temperatura, entropia, calor, trabalho)	68
Quadro 23 –	Episódio 6 – Pergunta 6: Após a leitura do texto a sua visão sobre entropia e espontaneidade foi modificada? Como?	69
Quadro 24 –	Sistematização das respostas dos alunos à situação-problema 1	71
Quadro 25 –	Modos de pensar e zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade para as respostas da situação-problema 1 dos grupos	74
Quadro 26 –	Sistematização das respostas dos alunos a situação-problema 2	74
Quadro 27 –	Modos de pensar e zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade para as respostas da situação-problema 2 dos grupos	76
Quadro 28 –	Sistematização das respostas dos alunos a situação-problema 3	77

Quadro 29 –	Modos de pensar e zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade para as respostas da situação-problema 3 dos grupos	80
Quadro 30 –	Resposta à pergunta 1: Em qual copo, conseqüentemente em qual temperatura o comprimido se dissolveu mais rápido? Por que?	82
Quadro 31 –	Resposta à pergunta 2: Com o aumento da temperatura o comprimido efervescente decompõe-se mais rápido? Por que?	82
Quadro 32 –	Resposta à pergunta 3: Em qual dos três processos possuem uma maior desordem?	83
Quadro 33 –	Resposta à pergunta 1: Qual fenômeno podemos observar neste processo? Por que?	83
Quadro 34 –	Resposta à pergunta 2: Ao adicionar as tintas na água, temos como reverter o processo? Justifique	84
Quadro 35 –	Resposta à pergunta 3: O que representa a mistura das tintas na água?	84
Quadro 36 –	Episódio 1 – Pergunta 1: Em qual copo, conseqüentemente em qual temperatura o comprimido se dissolveu mais rápido? Por que?	86
Quadro 37 –	Episódio 2 – Pergunta 2: Com o aumento da temperatura o comprimido efervescente decompõe-se mais rápido? Por que?	87
Quadro 38 –	Episódio 3 – Pergunta 3: Em qual dos três processos possuem uma maior desordem?	89
Quadro 39 –	Episódio 4 – Pergunta 1: Qual fenômeno podemos observar neste processo? Por que?	90
Quadro 40 –	Episódio 5 – Pergunta 2: Ao adicionar as tintas na água, temos como reverter o processo? Justifique	91
Quadro 41 –	Episódio 6 – Pergunta 3: O que representa a mistura das tintas na água?	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Sistematização das relações semânticas presentes na fala dos estudantes da SP1 dos grupos 1 e 2	73
Tabela 2 –	Sistematização das relações semânticas presentes na fala dos estudantes da SP2 dos grupos 1 e 2	75
Tabela 3 –	Sistematização das relações semânticas presentes na fala dos estudantes da situação-problema 3 dos grupos 1 e 2	79

LISTA DE SIGLAS

AL	Aluno
P	Pesquisadora
SD	Sequência didática
SP	Situação problema
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	PERFIL CONCEITUAL	21
3.2	OS CONCEITOS DE ENTROPIA E ESPONTANEIDADE	24
3.3	O PERFIL CONCEITUAL DE ENTROPIA E ESPONTANEIDADE	28
3.4	SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS E O PERFIL CONCEITUAL EM SALA DE AULA	29
4	METODOLOGIA	32
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	32
4.2	PARTICIPANTES E CAMPO DE PESQUISA	33
4.3	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	33
4.4	ETAPAS DE ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	34
4.5	ANÁLISE DOS DADOS	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS	46
5.1.1	Emergência de Zonas do Perfil Conceitual de Entropia e Espontaneidade nos Modos de Pensar dos Estudantes	60
5.2	ANÁLISE DOS EPISÓDIOS QUE EMERGIRAM A PARTIR DAS QUESTÕES NORTEADORAS NO DEBATE	64
5.3	ANÁLISE DAS SITUAÇÕES-PROBLEMA	70
5.4	ANÁLISE DA AULA EXPERIMENTAL	81
5.4.1	Modos de pensar dos licenciandos sobre o Experimento I: Influência da temperatura na velocidade da reação	81
5.4.2	Modos de pensar dos licenciandos sobre o Experimento II: Mistura de tinta com água	83

5.4.3	Análise dos Episódios Referentes ao Debate sobre os Experimentos	85
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	103
	APÊNDICE B – TEXTO PARA O DEBATE	105
	APÊNDICE C – QUESTÕES PARA O DEBATE	110
	APÊNDICE D – FILME: O MUNDO SEM NINGUÉM	111
	APÊNDICE E – SITUAÇÕES-PROBLEMA	112
	APÊNDICE F – ROTEIRO EXPERIMENTAL	114
	APÊNDICE G – PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	116

1 INTRODUÇÃO

Existem, nos diversos níveis de ensino, um repertório extenso de possibilidades para a abordagem, em sala de aula, dos conhecimentos químicos pelos professores. No entanto, a grande maioria dessas possibilidades utiliza metodologias e estratégias bastante associadas ao ensino tradicional, com base na perspectiva de ensino por transmissão (POZO; GOMÉZ CRESPO, 2009), o que pode ser uma das causas do desinteresse dos estudantes em aprender conceitos e leis que regem processos químicos. Silva (2013, p. 1613), visando romper com essa perspectiva, sugere buscar uma:

Aprendizagem de Química que possibilite aos alunos a compreensão das transformações químicas que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada, para que estes possam julgá-la, com fundamentos, as informações adquiridas na mídia, na escola, com pessoas.

Pensamos que para uma aula ser exitosa deve haver uma relação entre o ensinar e o aprender, e, para isso, deve haver uma boa comunicação entre o professor e o aluno. Essa comunicação pode ser prejudicada na abordagem de alguns conteúdos, principalmente devido ao grau de abstração exigido para a compreensão dos fenômenos naturais. Grande parte dos estudantes considera a Química como uma disciplina de difícil compreensão, apresentando dificuldades em compreender e analisar as propriedades e transformações da matéria, relacionando-as a inúmeras leis para fenômenos muitas vezes não observáveis.

As principais dificuldades estão na proximidade com a física, o que garante algumas características, como a abstração, a utilização da linguagem matemática, e a importância da termodinâmica, cinética e mecânica quântica. Essa dificuldade é percebida especificamente na abordagem do conceito de entropia e da segunda lei da termodinâmica, associados ao nosso entendimento acerca da espontaneidade de processos.

Nesse sentido, outras dificuldades são encontradas pelos alunos, principalmente associadas ao fato de ser uma ciência com conceitos abstratos, necessitando que o aluno compreenda e analise as propriedades e transformações da matéria, relacionando-as a inúmeras leis para fenômenos muitas vezes não observáveis. Portanto, um dos maiores obstáculos está na abstração (POZO; GOMÉZ CRESPO, 2009).

É importante ressaltar que na literatura são encontradas pesquisas na área de ensino de química relacionadas a inovações metodológicas, análise de recursos didáticos, uso de ferramentas digitais (MORAES e PAIVA, 2007; MENDES, SANTANA e JÚNIOR, 2015), com resultados que mostram avanços, com algumas das dificuldades sendo superadas não só

por alunos, mas também por professores (OLIVEIRA, MIRANDA e NETO, 2008). Nesse sentido, a teoria dos perfis conceituais pode orientar no desenvolvimento de estratégias e práticas aplicadas em sala e para o acompanhamento do processo de aprendizagem. Para Ribeiro (2013, p. 59), a compreensão do perfil conceitual permite:

1) a possibilidade de utilização da noção de perfil conceitual para o acompanhamento da evolução das ideias que os indivíduos podem ter de um determinado conceito; 2) a íntima relação entre a constituição das diferentes zonas de um perfil conceitual e a influência do contexto; 3) a tomada de consciência da diversidade de significados que um conceito pode admitir e as implicações deles para os processos de ensino e de aprendizagem dos conceitos que estão em jogo.

Destacamos a relevância dos estudos de proposição de perfis conceituais, desde o surgimento da teoria, em diversos campos. Na Química, destacamos os perfis conceituais de átomos e estados físicos da matéria (MORTIMER, 1995, 2000), molécula (MORTIMER, 1997) e substância (SILVA, 2011). Na fronteira entre a Física e a Química, destacamos os perfis conceituais de calor (AMARAL e MORTIMER, 2001), entropia e espontaneidade (AMARAL, 2004) e energia nos contextos de ensino da física e da química (SIMÕES NETO, 2016). Na biologia, aparecem os perfis conceituais de vida (COUTINHO, 2005), adaptação biológica (SEPÚLVEDA, 2010) e morte (NICOLLI e MORTIMER, 2012). Na matemática, o primeiro perfil conceitual apresentado foi o de equação (RIBEIRO, 2013). Esses e outros trabalhos, como por exemplo Viggiano e Mattos (2007), Mortimer, Scott e El-Hani (2009), Dalri (2010), Araújo (2014), Sabino (2015), Diniz-Jr, Silva e Amaral (2015) e Silva (2017) contribuíram para a ampliação das bases teóricas, epistemológicas e metodológicas do programa de pesquisa em perfis conceituais.

A teoria dos perfis conceituais (MORTIMER, 1996, 2000; MORTIMER et al., 2014) estabelece que um conceito pode ser compreendido por um sujeito de diversas maneiras, que podem ser utilizadas em contexto apropriado, e cada uma delas está suportada em compromissos epistemológicos, ontológicos ou axiológicos distintos, que movem o indivíduo a desenvolver determinada concepção. Para o perfil conceitual de determinado conceito são constituídas zonas, que representam diferentes modos de pensar e formas de falar sobre a realidade, ou seja, diferentes formas de compreender o significado e o uso daquele conceito, em diversos contextos. Várias zonas podem conviver em um mesmo indivíduo, cada um sendo utilizado em um contexto mais apropriado (AMARAL e MORTIMER, 2001; COUTINHO, 2005, ARAÚJO, 2014).

Há contextos em que um modo de pensar um conceito é utilizado mais adequadamente do que outros, em que a linguagem cotidiana é mais apropriada do que a linguagem científica. Nesses casos o valor pragmático da linguagem cotidiana preservará significados que estão em desacordo com a visão científica. No entanto, a aprendizagem da ciência escolar, que envolve aprender a linguagem social da ciência, é fundamental, sendo um aspecto importante que ela esteja em uma estreita relação com os modos de pensar cotidianos (MORTIMER et al., 2010). Assim, a proposta de perfil para o conceito de entropia e espontaneidade (AMARAL, 2004) pode permitir conhecer as diferentes concepções que encontram estabilidade em diferentes contextos, para esse conceito, o que poderia facilitar a compreensão das visões expressas nas salas de aula, pelo professor e pelos alunos, em momentos de discussões e debates (SIMÕES NETO, 2016).

Concordamos com Sabino (2015) quando ela cita a importância de considerarmos que uma das maiores possibilidades de utilização de um perfil conceitual, no contexto da sala de aula, é como instrumento central no planejamento de atividades, uma vez que reconhecer o aspecto de modos de pensar e formas de falar sobre determinado conceito pode influenciar em uma melhor identificação dos obstáculos na aprendizagem, reconhecer os contextos de utilização de cada significado e do seu valor pragmático e trabalhar com estratégias que auxiliem os estudantes a conhecer as diferentes zonas de um perfil conceitual e na tomada de consciência dos diferentes contextos de utilização.

O perfil conceitual está baseado na ideia de que pessoas exibem diferentes formas de ver o mundo, e assim, diferentes modos de pensar que são usados de maneira eficiente em diferentes contextos. Assim, cada perfil conceitual proposto “modela a diversidade de modos de pensar ou de significação de um conceito” (MORTIMER et al., 2014, p.14).

Desta forma, nesta pesquisa, elaboramos e aplicamos uma sequência didática, tomando por base a teoria dos perfis conceituais, para trabalhar o conceito de entropia e espontaneidade. Para isso, foi utilizado o perfil conceitual proposto por Amaral (2004), pois acreditamos que é possível orientar o ensino e acompanhar os processos de ensino e de aprendizagem, buscando compreender melhor as diversas visões que eles expressam nas discussões em sala de aula.

Diante do exposto, temos o seguinte problema de pesquisa: **Como as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade podem contribuir para a proposição de uma sequência didática que possibilite a compreensão do processo de conceitualização para licenciandos em química?**

Justificamos a escolha ao considerar que a teoria dos perfis conceituais enfatiza a importância de apresentar aos estudantes diferentes visões relacionadas a um mesmo conceito

científico, aplicadas em diferentes contextos. Com esse tipo de abordagem podemos proporcionar a conscientização do aluno sobre a inter-relação dinâmica de ideias na constituição de um único conceito, localizando o ponto de vista da ciência dentre outros que possam existir (AMARAL, 2004).

Para tentar responder à questão de pesquisa apresentada optamos por propor uma sequência didática (MÉHEUT, 2005) para trabalhar com o perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Com isso pretendemos analisar o processo de conceituação dos estudantes a partir da emergência de zonas do perfil conceitual identificadas nas falas dos alunos.

A escolha dos conceitos de Entropia e Espontaneidade foi um desafio aceito para essa pesquisa, justificado pela sua relevância na compreensão dos processos físicos e químicos, de extrema importância para a aprendizagem de outros conceitos químicos. Além disso, consideramos que a estruturação dos vários significados atribuídos a esses conceitos, em termos de um perfil conceitual, pode contribuir para o avanço nos estudos sobre perfis conceituais, considerando esta como uma teoria que poderá suportar o ensino e a aprendizagem, além de possibilitar a análise da sua abordagem em sala de aula.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a emergência das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e o processo de conceituação por parte dos estudantes envolvidos na aplicação de uma sequência didática.

2.2 Objetivos Específicos

- Propor uma sequência didática com atividades estruturadas para a abordagem dos conceitos de entropia e espontaneidade a partir dos diferentes modos de pensar e formas de falar;
- Analisar as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade que emergem nas interações discursivas entre os alunos e com o professor;
- Mapear as zonas do perfil conceitual nas interações discursivas ocorridas em sala de aula, nos diferentes momentos da sequência didática.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as bases teóricas para elaboração e desenvolvimento desta pesquisa: Teoria dos Perfis Conceituais, os conceitos de entropia e espontaneidade, o perfil conceitual de entropia e espontaneidade (AMARAL, 2004; AMARAL e MORTIMER, 2004), e sequências didáticas e o perfil conceitual na sala de aula.

3.1 Perfil Conceitual

O perfil conceitual pode ser visto como uma teoria de ensino e aprendizagem na qual diferentes modos de pensar sobre um determinado conceito são estruturados em zonas representativas de uma maneira de conferir significado a um determinado conceito (MORTIMER, SCOTT e EL-HANI, 2009). Esta linha de pensamento se opõe à corrente dominante já por muitos anos no Ensino das Ciências, que aponta para uma mudança conceitual no processo de aprendizagem, na qual o aluno necessariamente deve abandonar as suas concepções prévias e construir novas ideias na aprendizagem de um determinado conceito.

Para Chi (1992, *apud* MORTIMER, 2000) as semelhanças entre ideias encontradas na história da ciência e nas salas de aula atuais são devidas à similaridade nos seus aspectos ontológicos. A teoria dos perfis conceituais tenta explicar como um indivíduo amplia o universo de significados possíveis para uma mesma palavra ou conceito e, nesse sentido, não há um limite para a inclusão de domínios não-científicos na constituição de um perfil conceitual particular.

Segundo Mortimer (1995), o perfil conceitual é individual, embora as categorias que caracterizam as zonas de cada perfil particular são compartilhadas por indivíduos de uma mesma cultura, caracterizando formas coletivas de pensar. Isso é coerente com a visão de Vigotski de que as funções mentais superiores – entre as quais o pensamento conceitual – emergem primeiro no plano social, intermental, para depois serem internalizadas pelos indivíduos, constituindo o plano intramental. Como a internalização não é uma simples cópia do plano externo no interno, mas o processo pelo qual o plano intramental é criado, cada indivíduo desenvolve seu próprio perfil a partir dos significados que circularam socialmente.

É importante ressaltar que há uma relação dialética entre o individual e coletivo, no sentido colocado por Vygostky, a partir de qual essas duas dimensões estão de tal forma entrelaçadas que dificilmente podemos pensá-las isoladamente.

Ao usar essa teoria para pensar os processos de ensino e de aprendizagem de conceitos científicos, é conveniente limitar a inclusão de zonas não-científicas, restringindo-as àquelas que efetivamente guardam uma relação como o conceito em foco. Diante disso, é importante

saber que a conceituação compreende um processo dinâmico que ocorre na mente do indivíduo, e sofre alterações de acordo com as experiências externas vivenciadas por ele, sendo um processo individual. Esse processo dinâmico é o que Vigotski chama de pensamento conceitual (MORTIMER, SCOTT e EL-HANI, 2009).

É importante destacar que, para construir um perfil conceitual, é estritamente necessário considerar uma grande diversidade de significados atribuídos a um conceito e uma variedade de contextos de produção de significados, incluindo pelo menos três dos quatro domínios genéticos considerados por Vigotski em seus estudos sobre as relações entre pensamento, linguagem e formação de conceitos, a saber, os domínios sociocultural, ontogenético e microgenético (WERTSCH, 1985 apud MORTIMER, SCOTT e EL-HANI, 2009).

Nesse sentido, o perfil conceitual considera que qualquer indivíduo pode possuir mais de uma forma de compreender a realidade, que convivem e podem ser usadas em contextos apropriados. Esses diferentes pontos de vista são representados pelas zonas do perfil conceitual, que podem ser relacionadas com um modo de pensar e com um domínio ou contexto a que essa forma se aplica (MORTIMER, 2000). Muitas vezes as formas como expomos nossas ideias no dia a dia são pragmáticas ao se tornarem úteis em nossas atividades, assim como acontece em sala de aula. Diante disso, a partir do uso das zonas de um perfil conceitual, podemos identificar um certo grau de utilidade nas concepções de professores e alunos, ou seja, a existência de um valor pragmático para o modo de pensar.

De acordo com a teoria, as zonas de um perfil conceitual são construídas considerando compromissos epistemológicos e ontológicos, além de compromissos axiológicos (DALRI, 2010), distintos na compreensão de um conceito, e ganham sentido em contextos de aplicação específicos (MORTIMER, 2000). Dessa forma, modos de pensar relacionados às ideias do senso comum ganham sentido nos contextos em que são usadas, tendo um grande valor pragmático (MORTIMER, SCOTT e EL-HANI, 2009).

É importante destacar que na literatura existem perfis conceituais que envolvem conceitos químicos, como o primeiro perfil conceitual proposto, o de átomo e estados físicos da matéria (MORTIMER, 1995; MORTIMER, 2000), composto por quatro zonas. Na primeira zona temos uma visão **sensorialista** da matéria, em que o indivíduo apresenta concepções ingênuas, baseadas em fatores sensoriais. Uma das ideias dessa zona, por exemplo, é de que a matéria é contínua. A segunda zona é **substancialista** e se refere a ideias em que o indivíduo substancializa a concepção de átomo, atribuindo às partículas propriedades de substâncias e materiais, tais como a dilatação, cor ou mudança de estado físico. Na terceira zona do perfil encontramos concepções clássicas da matéria, ideias que possuem um caráter mais

racionalista, baseadas numa visão microscópica da matéria, com o átomo visto como uma partícula material, governada pelas leis da mecânica clássica. Na última zona do perfil encontramos também o **racionalismo**, mas com um nível maior de racionalidade, e o conceito de átomo é explicado com base nas leis da mecânica quântica.

Mortimer (1997) também propôs um perfil para o conceito de molécula, em quatro zonas. A primeira zona diz respeito aos “princípios”, constituída por concepções da filosofia clássica, com um forte compromisso **realista**, considerando que a base de toda natureza são os princípios. Ou seja, todas as coisas são formadas por determinados materiais (elementos ou substâncias), que combinados davam forma ao mundo material. De forma semelhante ao que foi apontado no perfil de átomo, a segunda zona é constituída por concepções **substancialistas**, para as quais a molécula contém todas as propriedades da substância que por elas são formadas. Na terceira zona estão reunidas concepções **racionalistas**, nos termos considerados pela Química clássica, na qual a molécula é a menor parte da substância, guardando todas as suas características sem que haja mudanças em sua natureza. Na quarta e última zona encontramos concepções presentes na Química moderna, para a qual a molécula não apresenta uma geometria fixa, bem definida, como na zona anterior, e são defendidas ideias de que a sua estrutura está sempre mudando no espaço.

Amaral e Mortimer (2001) propuseram um perfil conceitual para o conceito de calor. São cinco zonas: **realista**, **empírica**, **substancialista**, **animista** e **racionalista**. Na zona **realista** são consideradas as ideias relativas às primeiras noções de calor vinculadas à sensação térmica de quente, e que podem ser facilmente encontradas em situações do cotidiano. Na zona **animista**, como o nome sugere, o calor é apresentado como uma substância viva e com a capacidade de dar vida. Na história da química, essa zona está respaldada na ideia de que o calor teria o poder de dar vida a objetos. Os autores justificaram a proposição de uma zona **substancialista**, na qual o calor é tratado com uma substância inerte, a partir de concepções filosóficas vindas desde o período de Aristóteles e Platão até aquelas que imprimiam ao fogo o estatuto de substância, que ainda sobrevive na linguagem e práticas da Química e da tecnologia (AMARAL; MORTIMER, 2001). Para a zona **empírica** os autores consideraram a concepção de calor relacionada com as medidas de temperatura, e, por fim, na zona **racionalista**, o calor é visto como energia em trânsito, de um corpo em maior temperatura para um corpo em menor temperatura.

3.2 Os Conceitos de Entropia e Espontaneidade

Na história da ciência as máquinas térmicas eram utilizadas nas indústrias no final do século XVII, com o intuito de se conservar o calor. A partir do desenvolvimento da máquina a vapor de James Watt (1736–1819), em 1769, muitos se interessaram em desenvolver máquinas que transformassem o calor em trabalho. Entretanto, elas foram construídas sem a falta de estruturação dos conhecimentos que detinham até aquele momento histórico aos princípios teóricos fundamentais, que governam a conservação da energia ou a equivalência entre calor e trabalho mecânico, o que levava às perdas de calor e baixa eficiência de realização de trabalho nestas máquinas (MOORE, 2013).

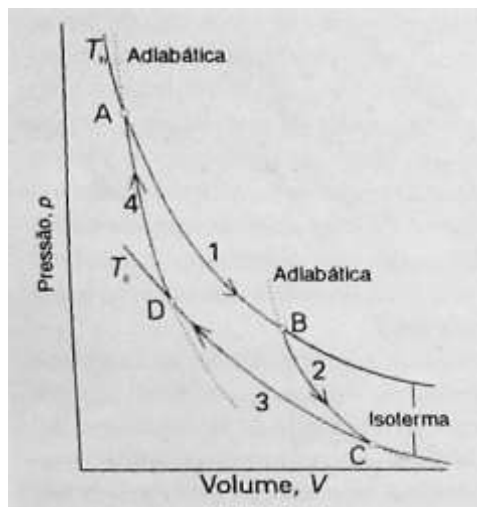
Foi a partir da necessidade de diminuição das perdas por calor e do aumento da eficiência dessas máquinas que começaram a surgir questionamentos sobre a eficiência máxima de uma dada máquina térmica, na tentativa de se alcançar tal limite, levando muitos cientistas a se interessarem em compreender os processos relacionados ao funcionamento destas máquinas. Almeida (2011, p. 15) afirma que “da segunda metade do século XVIII à primeira metade do século XIX, foi o período no qual aconteceu um grande avanço das indústrias”. Nessa época começaram a surgir as primeiras ideias sobre o conceito que futuramente seria denominado entropia.

Durante a revolução industrial, o físico e engenheiro francês Sadi Carnot (1796 – 1832) fez vários avanços acerca do funcionamento de máquinas térmicas e de suas eficiências máximas. Ele demonstrou que em sistemas cíclicos seria impossível uma máquina térmica trabalhar sem que ocorressem perdas. Ainda, determinou qual deveria ser a eficiência máxima imposta pela natureza para uma máquina que opera retirando calor de uma fonte quente gerando trabalho e rejeitando calor a uma fonte fria.

Cunha e colaboradores (2013) citam que as ideias de Carnot foram baseadas em um fluido denominado naquela época de calórico, que foi sugerido por Lavoisier para explicar a natureza do calor. Carnot ainda comparou o trabalho de uma roda d'água através de um fluxo gerado com o de uma máquina térmica a partir do calórico, em que o trabalho realizado pela roda d'água seria devido à uma diferença de altura entre dois pontos, e, no caso da máquina térmica, seria devido à diferença de temperatura entre um reservatório quente e um frio.

Os estudos de Carnot foram realizados com base em um ciclo termodinâmico específico, estudado por ele em torno de 1820, descrito na figura 1, em um diagrama pV (gráfico da variação da pressão com o volume durante o processo), constituído em quatro etapas reversíveis (CASTELLAN, 2008), a saber: expansão isotérmica, expansão adiabática, compressão isotérmica e compressão adiabática.

Figura 1 – Representação de um Ciclo de Carnot. Variação da pressão, p , com o volume, V , durante o processo



Fonte: Atkins e Paula (2010)

Este ciclo representa o modo mais eficiente para se obter trabalho a partir do calor, no qual a energia vai de um reservatório de alta temperatura para um de baixa temperatura. Na primeira etapa, o calor deve ser absorvido do reservatório à alta temperatura. Na segunda etapa, ocorre uma expansão adiabática, ou seja, sem que energia como calor seja transferida, a máquina realiza trabalho. Na terceira etapa, o calor deve sair do sistema, e vai para o reservatório de baixa temperatura. E por fim, na quarta etapa, a máquina volta às condições originais, em que trabalho é feito sobre o sistema durante a compressão adiabática (BALL, 2005).

A máquina de Carnot é uma máquina ideal que utiliza calor para realizar trabalho. Nela, há um gás sobre o qual se exerce um processo cíclico de expansão e compressão entre duas temperaturas. Baseada no funcionamento desta máquina, o teorema de Carnot, enunciado em 1824, impõe um limite à eficiência de uma máquina térmica ideal, na qual não existe o efeito de atrito entre peças constituintes nem emissão de energia na forma de som, entre outros. A prova do teorema leva às seguintes conclusões (CARNOT, 1824):

- Nenhuma máquina térmica que opere entre uma fonte quente e uma fonte fria pode ter um rendimento superior ao de uma máquina de Carnot;
- Todas as máquinas de Carnot que operem entre duas fontes terão a mesma eficiência, independentemente do gás ou material empregado na construção da máquina.

Esse teorema parecia se opor às afirmações de Julius Robert Mayer (1814–1878), que formulou o princípio da conservação da energia, e James Prescott Joule (1818–1889), que propôs uma relação de equivalência entre calor e trabalho. Dessa forma, ou a proposta de Carnot

acerca do máximo rendimento estaria errada, pois se baseia na concepção material do calor, ou as afirmações de Mayer e Joule sobre a natureza do calor é que estariam equivocadas.

Posteriormente, em 1850, Rudolf Clausius (1822–1888) forneceu uma interpretação para o calórico utilizado por Carnot na análise de sua máquina térmica como uma grandeza que, a partir de então, foi denominada entropia (essa grandeza foi encontrada após uma análise feita por Clausius da relação entre Q e T , constatando que o rendimento das máquinas de Carnot não era o mesmo quando operavam em diferentes temperaturas. Por isso, a representação da entropia como sendo uma razão entre Q/T . A entropia é uma função de estado, que no ciclo de Carnot, flui do reservatório quente para o frio em um processo reversível, encontrando uma conciliação entre as ideias de Mayer, Joule e Carnot (CUNHA et al., 2013). Clausius fez diversos estudos do comportamento da entropia acerca da reversibilidade de processos, demonstrando que nos processos reversíveis a entropia é constante e nos processos irreversíveis a entropia tende a um máximo.

O termo entropia foi utilizado pela primeira vez na literatura em 1865, proposto por Clausius para representar as transferências de calor e temperatura de um sistema termodinâmico: “a entropia está relacionada com a direção em que os eventos aconteçam espontaneamente, ou seja, a direção dos processos naturais” (MENEZES, 2005, p. 4). Assim, poderia ser explicado o funcionamento de uma máquina térmica que possui um fluxo de calor que passa de um corpo de uma temperatura menor para uma temperatura maior em um processo reversível. Cunha e colaboradores (2013, p. 5) afirmam que:

Toda a discussão de Clausius em torno da entropia foi enunciada em uma frase, conhecida como a segunda lei da termodinâmica: é impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Assim, temos a 2ª Lei da Termodinâmica, que diz que não se pode transformar toda a energia que é fornecida ao sistema em trabalho, pois há perdas de energia que estão relacionadas ao aumento da entropia, enquanto que a 1ª Lei da termodinâmica afirma que há garantia da conservação de energia de um sistema (MENEZES, 2005). Nesse sentido, a denominação do conceito de entropia revelou importância para que se fosse possível distinguir os processos reversíveis dos irreversíveis.

A definição original de entropia em termos do calor transferido e temperatura absoluta não oferece qualquer interpretação molecular. Ludwig Boltzmann (1844–1906) sugeriu uma definição alternativa, em 1877, em termos do número de microestados disponíveis para um

dado macroestado. Esta definição abriu as portas para a interpretação molecular do conceito (ATKINS e PAULA, 2010).

A definição termodinâmica da entropia se concentra na variação de entropia, dS , que ocorre como resultado de um processo físico ou químico, sendo motivada pela ideia de que esta variação leva à uma dispersão da energia, que depende da quantidade de energia que é transferida como calor, com base na ideia de que o calor estimula movimentos aleatórios (ATKINS e PAULA, 2010).

Assim, se calor for transferido para o sistema, deveria ocorrer um aumento da dispersão da energia. Como entropia deveria ser função de estado e o diferencial de calor é uma diferencial inexata, o inverso da temperatura surge como o fator de integração mais simples, que torna a entropia uma função de estado, ou seja, que depende apenas dos estados inicial e final, e não da trajetória do processo, conforme a expressão:

$$dS = \frac{dq_{rev}}{T}, \quad \text{Equação 1}$$

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

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dq_{rev}}{T} \quad \text{Equação 2}$$

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

3.3 O Perfil Conceitual de Entropia e Espontaneidade

Nos processos de ensino e de aprendizagem dos conceitos científicos as concepções informais dos alunos são percebidas com frequência e o valor pragmático da linguagem cotidiana preserva significados que estão em desacordo com a visão científica, mas que são importantes em alguns contextos. No entanto, a aprendizagem da ciência escolar envolve aprender a linguagem social da ciência, sendo um aspecto importante da abordagem do perfil conceitual que está em uma estreita relação com os modos pensar e formas de falar cotidianos (MORTIMER et al., 2010).

Na teoria dos perfis conceituais um mesmo conceito pode ser visto sob diferentes perspectivas que podem ser complementares, estando associadas a diferentes contextos de aplicação. Nos processos de ensino e aprendizagem dos conceitos científicos a discussão de novas ideias não conduz necessariamente os alunos ao abandono de suas convicções primeiras (AMARAL, 2004). A mesma autora cita que a perspectiva de ensino e aprendizagem, implicada na teoria dos perfis conceituais, prevê uma aprendizagem a partir da discussão dos diferentes modos de pensar sobre um determinado conceito. Esse tipo de abordagem pode propiciar uma tomada de consciência dos diferentes significados que um mesmo conceito pode adquirir no contexto científico e em outros contextos.

A teoria dos perfis conceituais pressupõe uma perspectiva sociocultural da aprendizagem, que é compreendida como uma atividade social mediada pela linguagem. Assim, no que diz respeito à aprendizagem de conceitos científicos, a construção de significados ocorre a partir da aquisição de uma nova linguagem social, a linguagem da ciência escolar (MORTIMER; SCOTT, 2002).

Diante disso, Amaral (2004) apresenta um perfil conceitual relativo à compreensão sobre entropia e espontaneidade, proposto a partir de ideias da história da ciência, da literatura em educação em ciências e da sala de aula. A utilização de diversas fontes teve como objetivo propor uma gênese para os conceitos (WERTSCH, 1985 apud MORTIMER, SCOTT e EL-HANI, 2009), considerando diferentes domínios genéticos – sociocultural, ontogenético e microgenético – a partir dos quais os conceitos podem ser visualizados como parte de um processo e não como produtos acabados.

Inicialmente, quatro zonas foram propostas para o perfil: **zona perceptiva/intuitiva**, **zona empírica**, **zona formalista** e **zona racionalista**, descritas a seguir:

- A **zona perceptiva/intuitiva**, que corresponde às ideias de espontaneidade que emergem das impressões imediatas, das sensações e intuições, e que não consideram as condições em que os processos ocorrem.

- A **zona empírica**, que está relacionada com as ideias nas quais a experiência começa a ser analisada levando em consideração as condições nas quais os processos ocorrem.
- A **zona formalista**, que compreende ideias que surgem a partir do uso de algoritmos e fórmulas matemáticas para a análise dos processos, sem que isso se traduza no entendimento das relações conceituais.
- A **zona racionalista**, que compreende ideias sobre a espontaneidade dos processos que levam em consideração a distribuição de energia em um nível atômico-molecular.

Neste trabalho iremos considerar o perfil conceitual para entropia e espontaneidade a partir da apresentação de Amaral, Mortimer e Scott (2014), na qual existem apenas três zonas, a saber: **zona perceptiva/intuitiva**, que exprime a ideia de naturalidade na ocorrência dos fenômenos, **zona empírica**, relacionada a consideração das condições para ocorrência, e **zona racionalista**, que exprime o formalismo matemático e a interpretação mais profunda da espontaneidade.

3.4 Sequências Didáticas e o Perfil Conceitual em Sala de Aula

Para fundamentar a utilização de uma sequência didática para abordagem dos modos de pensar os conceitos de entropia e espontaneidade será utilizada neste trabalho a perspectiva estabelecida por Méheut (2005), com base na didática francesa e no contexto de *Teaching Learning Sequences (TLS)*.

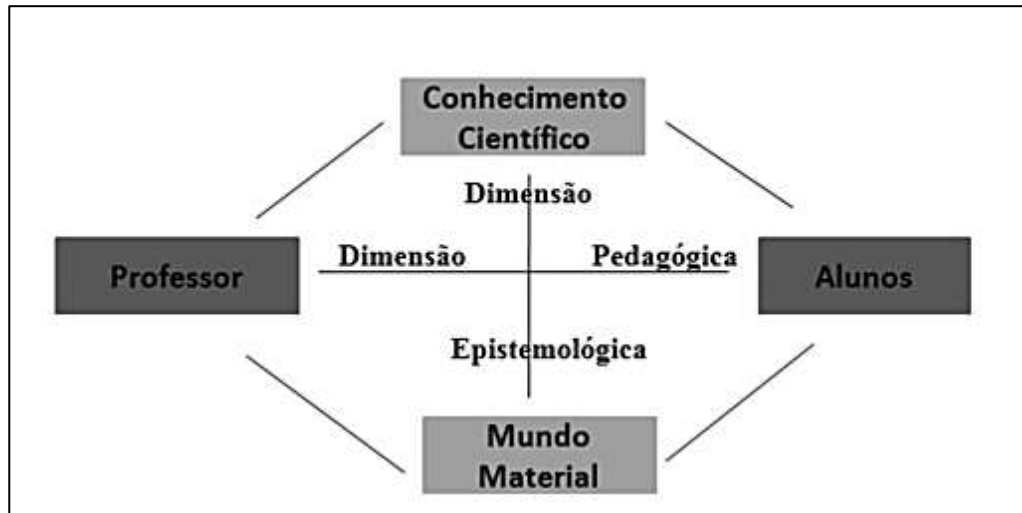
O desenvolvimento e a aplicação de sequências didáticas surgiram nas décadas de 1970 e 1980, com base nas ideias relativas a engenharia didática, e tinham como objetivo atender às pesquisas relacionadas às concepções informais dos estudantes. Esta metodologia, de acordo com Giordan, Guimarães e Massi (2011), apresenta cinco etapas principais que consistem em análise preliminar, concepção e análise a priori, aplicação da TLS, análise a posteriori e validação.

É importante ressaltar que a sequência didática tem por finalidade auxiliar os alunos na compreensão dos conceitos científicos, e para estruturar uma sequência na perspectiva de Méheut (2005) é necessário levar em conta quatro elementos principais: o professor, o aluno, o conhecimento científico e o mundo material. Esses quatro elementos estão organizados e relacionados entre si, a partir de duas dimensões: epistemológica e pedagógica. A dimensão epistemológica está relacionada com o conhecimento a ser trabalhado, com a gênese do conceito, e a relação do conhecimento científico com o mundo material. A dimensão

pedagógica está relacionada com os aspectos de interação entre professor e aluno e entre os alunos (RODRIGUES e FERREIRA, 2011).

Méheut (2005) apresenta um modelo que define as sequências didáticas a partir desses quatro componentes básicos e das dimensões que os relacionam. A figura 2 apresenta o losango didático que descreve as relações em uma sequência didática:

Figura 2 – Losango didático de Méheut



Fonte: MOURATO; SIMÕES NETO, 2015.

Essa representação permite organizar vários elementos que podem ser levados em conta quando é construída uma sequência didática. O eixo vertical representa a dimensão epistemológica, ao longo deste eixo encontram-se processos de elaboração e validação do conhecimento científico. O eixo horizontal representa a dimensão pedagógica, relacionada com o papel desempenhado pelo professor, e a forma como se dá a interação entre professor e aluno, que se for mais próximo da extremidade “alunos” podem considerar as interações esperadas entre os estudantes (MEHEUT, 2005).

Partindo da ideia que o interesse pode gerar motivação em aprender, e para que haja tal motivação é necessário um ensino que apresente características contextualizadas, desenvolvemos uma sequência didática que aborda os conceitos de entropia e espontaneidade. Neste tipo de abordagem são elaboradas situações nas quais são levados em conta análises anteriores do conhecimento, as dificuldades dos alunos e formas de raciocínio. Trajetórias de aprendizagem são retratadas a partir dessas situações, o que possibilita a validação do desenho da sequência, comparando as trajetórias, observadas de fato, com as esperadas (MEHEUT, 2005).

Uma das preocupações atuais sobre a teoria dos perfis conceituais é a sua inserção em sala de aula. Para esse trabalho, propomos a utilização de **sequências didáticas** para a abordagem dos conceitos de entropia e espontaneidade, utilizando a teoria dos perfis conceituais, ou seja, as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade serão levadas em consideração na elaboração das situações de ensino e aprendizagem, considerando que a partir delas podemos prever quais serão as dificuldades e as possíveis trajetórias de aprendizagens seguidas pelos estudantes.

4 METODOLOGIA

Nessa seção apresentamos a metodologia, destacando a classificação, participantes e campo de pesquisa, as etapas de elaboração da sequência didática, os instrumentos de coleta de dados, a metodologia para a análise dos dados com base no objetivo geral, que foi analisar a emergência das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e o processo de conceituação por parte dos estudantes envolvidos na aplicação de uma sequência didática.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), sob o protocolo 88948618.8.0000.5208/2018. Para a realização deste estudo os alunos assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), no qual foram explicitados os objetivos do estudo, benefícios e riscos previsíveis, bem como a metodologia aplicada, destacando a confidencialidade e a privacidade do avaliado, de forma que não lhe cause nenhum prejuízo, atendendo assim às normas do CONEP/CNS/MS017/2011. Todas as páginas do TCLE foram rubricadas pelo sujeito da pesquisa e pelo pesquisador responsável.

Nesse estudo, foram respeitadas as diretrizes e normas regulamentadoras das pesquisas envolvendo seres humanos, pela garantia do sigilo quanto aos dados confidenciais, das instituições e comunidades escolares envolvidas na pesquisa, bem como o direito à liberdade de se recusar a participar ou de retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização e sem prejuízo ao seu vínculo institucional.

4.1 Classificação da Pesquisa

A presente pesquisa foi orientada por uma análise qualitativa, que explora características de indivíduos e cenários que não podem ser descritos facilmente a partir de números. Os dados são, em sua maioria, verbais, obtidos pela observação, descrição e por meio de gravação de áudio e/ou vídeo. Em contrapartida, a pesquisa no paradigma quantitativo explora as características e situações que permitem a obtenção de dados numéricos, além de fazer uso de estatística para tais ações. Os dados obtidos nessas pesquisas são descritivos, objetivando retratar ao máximo a realidade estudada (PRODANOV e FREITAS, 2013). A pesquisa qualitativa tem como ponto de partida questões com interesses vastos que vão se estabelecendo à medida que a pesquisa se desenvolve. O pesquisador tem um contato direto com o ambiente e o objeto de estudo e valoriza mais o processo do que o resultado final, objetivando a compreensão dos fenômenos sob o ponto de vista dos sujeitos, isto é, dos participantes da situação de estudo (GODOY, 1995).

4.2 Participantes e Campo de Pesquisa

Esta pesquisa foi realizada com 21 alunos do sexto período do curso de licenciatura em Química, turno noturno, da Universidade Federal de Pernambuco, no Centro Acadêmico do Agreste (CAA/UFPE), na cidade de Caruaru-PE, todos matriculados na disciplina Físico-Química I. Os participantes ausentes em dois ou mais momentos da sequência didática não tiveram seus dados considerados para a pesquisa. A escolha dos sujeitos foi realizada a partir da consulta ao projeto pedagógico de curso, considerando a disciplina em que se trabalha o conceito de entropia de maneira mais detalhada, além da existência de um repertório de disciplinas anteriores que englobam uma visão desse e de outros conceitos da termodinâmica. Essa escolha foi pensada para que os alunos percebam a entropia como algo presente no mundo material em que vivemos, contribuindo para despertar seu interesse em temas relacionados, e para a construção de uma visão menos distorcida do conceito de entropia, além de estimulá-los a adotar atitudes críticas diante dos problemas sociais e ambientais da atualidade.

4.3 Instrumentos de Coleta de Dados

Nesse estudo utilizamos os seguintes instrumentos de coletas de dados: 1) questionário para levantamento de concepções prévias, que fez parte da sequência didática; 2) um texto com questões para debate sobre “entropia, processos irreversíveis e leis da termodinâmica” (gravação em áudio); 3) ficha para registro das observações das principais ideias sobre entropia e espontaneidade observadas no documentário; 4) resolução de três situações-problema (gravação de áudio); 5) aula experimental no laboratório e resolução de questões relacionadas aos experimentos.

O questionário que foi utilizado para levantamento de concepções prévias sobre os conceitos de entropia e espontaneidade foi elaborado conforme a classificação de Minayo (2004). Desse modo, foi utilizado um questionário semiestruturado, o qual combina perguntas fechadas (ou estruturadas) e abertas, nas quais o participante tem a possibilidade de discorrer, dentro do tema proposto, sem respostas impostas ou condições prefixadas pelo pesquisador. O instrumento foi baseado no trabalho de Ben-Naim (2011), que discute, entre outras coisas, as falhas que podem ser cometidas quando se predominantemente utiliza a palavra desordem para tratar entropia.

Além disso, também utilizamos para coleta de dados, câmeras filmadoras, celulares e gravadores, que permitiram a gravação em áudio e vídeo de algumas etapas. Para Martins (2011), a vídeo gravação possibilita a captação de dados empíricos, para além de meras transcrições das interações verbais dos indivíduos envolvidos no processo de pesquisa.

4.4 Etapas de Elaboração e Aplicação da Sequência Didática

Para construção dos dados para esta pesquisa, foi aplicada uma sequência didática proposta com base na abordagem da teoria dos perfis conceituais. Nesta etapa esperamos relacionar a elaboração da sequência didática com os objetivos específicos deste estudo que são:

- Propor uma sequência didática com atividades estruturadas, para a abordagem dos conceitos de entropia e espontaneidade, a partir dos diferentes modos de pensar e formas de falar;
- Analisar as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade nas interações discursivas entre os alunos e com o professor;
- Mapear as zonas do perfil conceitual nas interações discursivas ocorridas em sala de aula, nos diferentes momentos da sequência didática.

A aplicação da intervenção foi realizada em quatro encontros de 90 minutos cada. Participaram da intervenção 21 estudantes, porém apenas 18 estiveram presentes em todas as etapas da sequência, sendo esses os sujeitos da pesquisa. A seguir, apresentamos de forma detalhada os momentos que constituiu o desenho da sequência didática aplicada.

1º Encontro: aplicação de um questionário para levantamento dos conhecimentos prévios e um debate proposto por 6 perguntas sobre o conceito de entropia guiado por um texto. Esse encontro consistiu na entrega de um questionário individual para levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre entropia e espontaneidade. Iniciamos o questionário fazendo quatro perguntas com respostas sim ou não, com o propósito de conhecermos melhor as dificuldades que os sujeitos da pesquisa apresentam sobre o conceito entropia e espontaneidade. Os itens do questionário são apresentados no quadro 1.

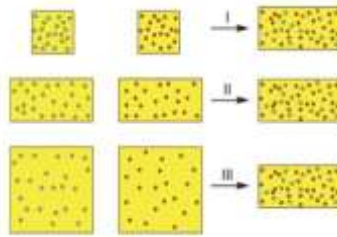
Quadro 1 – Questionário para levantamento das concepções prévias dos alunos

Você teve contato com o conceito de entropia no Ensino Médio? Sim () Não () Você tem dificuldade em entender o conceito de entropia? Sim () Não () Você tem dificuldade em relacionar entropia e espontaneidade? Sim () Não () Você considera o conceito de entropia difícil? Sim () Não () 1. Em poucas palavras, defina o que você entende por Entropia.

2. Entropia é função de estado, ou seja, só depende dos estados inicial e final. Qual sua compreensão sobre essa afirmação?

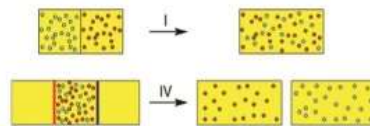
3. A afirmação: “A variação de entropia devido à mistura de dois gases é *sempre* positiva” é correta? Justifique sua resposta.

4. Dentre os processos abaixo, nos quais as bolinhas de diferentes cores representam diferentes gases, sinalize se houve aumento, diminuição ou nenhuma variação de entropia. O que levou você a analisar esses sistemas dessa forma?

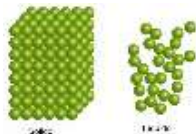


5. Existe alguma relação entre entropia e processos espontâneos ou irreversíveis? Explique.

6. A variação de entropia dos processos I e IV abaixo são positivas.



Ambos os exemplos e não desses



processos são irreversíveis? Ainda, baseado nas suas conclusões acerca da irreversibilidade ou processos, você acha que a afirmação “a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível” está correta ou errada? Justifique.

Fonte: Autoria Própria (2018).

O texto trabalhado foi sobre “entropia, processos irreversíveis e leis da termodinâmica” (Anexo 2). Após a leitura, utilizamos, como instrumento de coleta de dados, 6 questões norteadoras para o debate, sendo solicitado sua resolução pelos estudantes. Posteriormente, o debate foi mediado pela pesquisadora. As questões norteadoras estão no quadro 2, a seguir:

Quadro 2 – Questões para o debate

1. Dê outros exemplos do cotidiano nos quais os conceitos de entropia e espontaneidade aparecem e se relacionam.
2. Na reação de dissolução do cloreto de sódio em água a entropia aumenta ou diminui? Qual a explicação?

3. Em um processo de transformação de um sólido em líquido e, posteriormente, do líquido em um vapor, pelo aumento da temperatura, como se comporta a entropia? O processo é espontâneo?
4. Utilize os conceitos de entropia e espontaneidade para explicar com o máximo de detalhes os seguintes fenômenos:
 - a) O enferrujamento de um portão de ferro não galvanizado colocado em uma casa de veraneio na praia.
 - b) Uma amostra de açúcar em cubos é pulverizada utilizando um almofariz e pistilo.
5. Como você interpreta a afirmação: “existe uma tendência a energia mínima e a entropia máxima em um sistema isolado”? Explique sua resposta em termos dos conceitos termodinâmicos (energia livre de Gibbs, entropia, temperatura, entalpia, calor, trabalho).
6. Após a leitura do texto a sua visão sobre entropia e espontaneidade foi modificada? Como?

Fonte: Autoria Própria (2018).

2º Encontro: Exibição do Filme: "O mundo sem ninguém" (*Life After People*, History Channel, 2009, 90 minutos), documentário exibido pelo History Channel, que consistiu em mostrar a espontaneidade dos processos naturais quando não existem cuidados e manutenção. Os estudantes receberam uma ficha para registro de informações, disponível no apêndice C, no qual individualmente escreveram sobre as principais ideias identificadas no filme com os conceitos de entropia e espontaneidade.

3º Encontro: Consistiu na leitura e apresentação de três situações-problema pela pesquisadora, os quais, posteriormente, foram entregues aos estudantes para resolução. O quadro 3 apresenta as situações-problema.

Quadro 3 – Problemas propostos

SP1. Uma exposição sobre ciência e arte estava sendo organizada pelo grupo de divulgação científica de uma universidade no agreste de Pernambuco. Uma das obras expostas era a charge de Sidney Harris apresentada a seguir:



Com base na imagem e nos seus conhecimentos sobre termodinâmica, qual a principal ideia sobre entropia apresentada na charge? Quais elementos da imagem corroboram para identificação dessa ideia?

SP2. O homem tem o poder de modificar o mundo! Desde a pré-história até os dias atuais o planeta foi submetido a inúmeras modificações, sendo hoje a paisagem totalmente modificada pelos avanços na ciência, tecnologia, engenharia e arquitetura. Observe a sequência de imagens a seguir:



Como os conceitos de entropia e espontaneidade podem ajudar a explicar essas imagens?

SP3. Quando abastecemos um carro estamos pensando na energia que o combustível pode fornecer para colocá-lo em movimento. Com base nas leis da termodinâmica sabemos que a energia se conserva em todos os processos físicos, químicos e biológicos. Porém, não podemos transitar com o carro sem abastecê-lo novamente após alguns dias.



Se a energia se conserva, por que devemos abastecer regularmente os automóveis com mais combustível? Forneça duas explicações para a pergunta, considerando aspectos macroscópicos e aspectos microscópicos.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Esse momento consistiu no levantamento das concepções dos estudantes sobre a identificação dos conceitos de entropia frente aos conhecimentos sobre as leis da termodinâmica, e em processos que sofreram uma modificação pelo homem, bem como na energia que se conserva em processos físicos, químicos e biológicos.

Neste encontro, os estudantes foram divididos em dois grupos, buscando a resolução das três situações-problema. Após a resolução, cada grupo teve cinco minutos para expor suas respostas ao grande grupo (a sala foi organizada em círculo), com mediação da pesquisadora (um gravador foi utilizado para registro da discussão). Como instrumento de coleta de dados, utilizamos uma ficha que constou de enunciados das Situação Problema 1 (SP₁), Situação Problema 2 (SP₂) e Situação Problema 3 (SP₃), e solicitada sua resolução pelos estudantes.

Encontro 4: Aula Experimental: Consistiu em um momento de relacionar a teoria e a prática, ressaltando a importância de se trabalhar o potencial de atividades experimentais a partir da realização de dois experimentos sobre entropia e espontaneidade, utilizando o laboratório de química, com orientação da pesquisadora. O tempo previsto para a realização da prática e explicação dos experimentos foi de 90 minutos. Os dois experimentos selecionados foram: 1) influência da temperatura na velocidade da reação e 2) mistura de tintas com água.

Os instrumentos de coletas de dados utilizados nesse momento foram as fotografias da atividade/aula experimental e a resolução das questões propostas sobre a atividade. Os materiais utilizados foram béqueres, água, tintas, e comprimidos efervescentes. Antes de começar os experimentos, a pesquisadora fez uma breve explanação sobre os conceitos de entropia e espontaneidade, processos reversíveis e irreversíveis, e também sobre processos espontâneos e não espontâneos. Seguem as descrições dos experimentos.

Experimento I: Os alunos deverão encher três copos transparentes com água a temperaturas diferentes (água gelada, água temperatura ambiente, e água morna cerca de 40°C). Ao mesmo tempo os três copos recebem um comprimido efervescente de Sonrisal e/ou Vitamina C. Pode-se observar que cada um possui uma velocidade diferente, e esses fenômenos visuais mostram que na água quente, as partículas têm maior desordem, isto é, maior entropia do que na água fria, por isso a dissolução do comprimido é mais rápida.

Experimento II: Os alunos deverão colocar água em béqueres ou prato raso. Logo após devem adicionar as tintas na água (uma de cada vez). Portanto, não temos como reverter o processo, essa mistura representa a desordem do sistema.

Alguns dos objetivos esperados:

- Relacionar a teoria de acordo com a prática por meio de um experimento simples;
- Observar e indicar utilizando os fenômenos abordados os conceitos de velocidade de reação, processos espontâneos e não espontâneos no experimento sobre entropia e espontaneidade, bem como, os processos reversível e irreversível;
- Identificar a partir das falas a evolução conceitual de cada experimento.

Após a entrega dos roteiros, cada grupo deu início aos experimentos, anotando os fenômenos observados, para no final apresentarem o que foi observado em cada experimento. O roteiro da aula experimental encontra-se no (Apêndice D). No quadro 4, apresentamos a Identificação da Proposta para sequência Didática.

Quadro 4 – Identificação da Proposta

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Pernambuco UFPE-CAA
PÚBLICO-ALVO: Alunos de Graduação/Disciplina: Físico-Química I
CONTEÚDO: Entropia e Espontaneidade
TEMA: 2ª Lei da Termodinâmica
TÍTULO DA INTERVENÇÃO DIDÁTICA: Entropia e Espontaneidade
OBJETIVOS: • Articular os temas abordados com o cotidiano do aluno e fazer com que o próprio aluno seja conduzido a estruturar relações entre as situações reais e os conhecimentos específicos; • Criar uma motivação ao aprendizado de um conhecimento pré-existente; • Motivar o aluno no intuito de permitir gerar uma curiosidade epistemológica.

Fonte: Autoria Própria (2018).

No quadro 5, apresentamos uma síntese do planejamento das atividades desenvolvidas na sequência didática.

Quadro 5 – Atividades Desenvolvidas na Sequência Didática

<u>Encontro 1</u>
ATIVIDADE 1: Aplicação de questionário prévio, leitura e debate de um texto.
TEMPO: 90 minutos

ESPAÇO FÍSICO: Sala de aula
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Inicialmente foi aplicado um questionário para os alunos, no intuito de mapear os conhecimentos pré-estabelecidos sobre entropia e espontaneidade. Depois foi entregue o texto “entropia, processos irreversíveis e leis da termodinâmica”. Em seguida foi proposto um debate com 6 questões sobre algumas proposições reais que o texto apresenta.
OBJETIVOS: • Mapear os conhecimentos prévios dos alunos sobre entropia e espontaneidade; • Identificar no texto situações diferentes sobre modos de pensar e formas de falar.
ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Questionário individual, leitura individual e coletiva, debate grande grupo.
RECURSOS DIDÁTICOS: Papel, caneta, gravador
<u>Encontro 2</u>
ATIVIDADE 2: Situações-problema
TEMPO: 90 minutos
ESPAÇO FÍSICO: Sala de aula
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Os grupos buscaram a resolução de três problemas, sobre a identificação dos conceitos de entropia frente aos conhecimentos sobre as leis da termodinâmica e em processos que sofreram uma modificação pelo homem, bem como na energia que se conserva em processos físicos, químicos e biológicos. Após a resolução, cada grupo terá cinco minutos para expor suas respostas ao grande grupo, com mediação da pesquisadora.
OBJETIVOS: • Propor um debate onde os alunos possam colocar suas dúvidas para o grande grupo na construção e reelaboração de suas respostas; • Refletir sobre suas concepções frente aos conceitos de entropia e sobre máquina termais visto nos problemas; • Identificar a partir das formas de falar e modos de pensar a proposição das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade.
ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Grupos
RECURSOS DIDÁTICOS: Notebook, Datashow, Lousa, Caneta, Papel
<u>Encontro 3</u>

ATIVIDADE 3: Exibição do Filme (O Mundo sem ninguém) https://www.youtube.com/watch?v=wwI3wcdbA2g (Completo)
TEMPO: 90 minutos
ESPAÇO FÍSICO: Sala de aula
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Nessa atividade, os estudantes receberam uma ficha para registro de informações, (APÊNDICE C), na qual escreveram sobre as principais ideias do filme, buscando relacionar aspectos apresentados no documentário com os conceitos de entropia e espontaneidade. Essa ficha para registro vai servir como fonte de consulta para mais um debate, mediado pela pesquisadora, com duração de 30 minutos.
OBJETIVOS: • Mostrar a espontaneidade dos processos naturais quando não existem cuidados e manutenção nas cidades; • Despertar nos alunos a criticidade sobre a abordagem trazida pelo filme sobre o impacto de um mundo sem ninguém e a desordem que isso pode causar; • Identificar através da fala e da escrita diante da discussão os modos de pensar e formas de falar de acordo também com as concepções alternativas dos alunos.
ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Individual e Coletiva
RECURSOS DIDÁTICOS: Notebook, Data show, Lousa, Papel, Caneta
<u>Encontro 4</u> ATIVIDADE 4: Aula Experimental Experimento I: Influência da temperatura na velocidade da reação Experimento II: Mistura de tinta com água TEMPO: 90 min ESPAÇO FÍSICO: Laboratório DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Experimento I: Os alunos deverão encher três copos transparentes com água em temperaturas diferentes (água gelada, água temperatura ambiente, e água morna cerca de 40°C). Ao mesmo tempo, os três copos recebem um comprimido efervescente de Sonrisal e/ou Vitamina C. Pode-se observar que cada um possui uma velocidade diferente, e esses fenômenos visuais mostram que na água quente, as partículas têm maior desordem, isto é,

maior entropia do que na água fria, por isso a dissolução do comprimido é mais rápida. Vejamos a seguir:



Experimento II: Os alunos deverão colocar água em uma bandeja ou prato raso. Logo após devem adicionar as tintas na água. Portanto, não temos como reverter o processo, essa mistura representa a desordem do sistema. Vejamos a seguir:



OBJETIVOS:

- Relacionar a teoria de acordo com a prática por meio de um experimento simples;
- Observar e indicar através dos fenômenos abordados os conceitos de velocidade de reação, processos espontâneos e não espontâneos no experimento sobre entropia e espontaneidade, bem como os processos reversível e irreversível;
- Identificar através das falas a evolução conceitual de cada experimento.

ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Grupos

RECURSOS DIDÁTICOS: Materiais alternativos:

- Tintas
- Bandeja branca ou um prato raso
- Copos transparentes de vidro ou descartáveis
- Comprimidos efervescentes
- Papel, Caneta e Vidrarias

Fonte: Autoria Própria (2018).

4.5 Análise dos Dados

A seguir apresentamos os critérios para análise dos dados da pesquisa, coletados e na aplicação da sequência didática.

A) Questionário, leitura e debate de um texto.

A análise das respostas dos questionários foi realizada com a identificação dos sujeitos diante da apresentação das respostas. As respostas de cada estudante para cada questão foram analisadas e categorizadas de acordo com a emergência de cada zona do perfil conceitual, conforme aponta Mortimer (2001), que afirma que podemos identificar a emergência de modos de pensar a partir da estruturação de formas de falar, pela relação entre pensamento e linguagem descrita por Vigotski.

Para esta análise, foi atribuído um código composto por duas letras, que indicam o contexto escolar por exemplo: P para a pesquisadora, PROF para o professor da disciplina, e para os alunos, a sigla AL seguido de um número de ordenação (AL1 para o aluno 1, AL2 para o aluno 2).

A análise do debate após a transcrição dos áudios foi analisada com a identificação de episódios extraídos das interações discursivas, e assim foi possível construir episódios e identificação das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

B) Situações-problema

As situações problemas foram analisadas segundo a proposta de padrões temáticos de Lemke (1997). O autor defende que a aprendizagem em ciências está diretamente associada com a aprendizagem da linguagem especializada da ciência, incluindo aspectos referentes a ler, escrever, interpretar e resolver problemas a partir de e mediado por essa linguagem. Para Lemke (1997), ao se referir a linguagem científica, saber utilizar a linguagem não se resume a utilização de termos técnicos ou um conjunto de definições da área em questão, é preciso utilizar os termos relacionando-os uns com outros numa variedade de contextos.

Nesse sentido, para compreender a relação entre os significados das palavras, Lemke (1997) propõe o uso de uma ferramenta chamada por ele de diagrama temático. O diagrama é uma forma de representar graficamente o padrão temático produzido nas interações discursivas em sala de aula ou em qualquer outro discurso sobre um tópico da ciência. Em nosso caso, observaremos o discurso produzido nas situações-problema.

O padrão temático é a forma como uma comunidade fala sobre um tema. Esse padrão é composto por itens temáticos, elementos que podem ser expressos de diferentes formas, por

exemplo, som, ondas de som, vibrações, expressam a mesma coisa. Os diferentes itens temáticos guardam uma relação entre si, chamada de relação semântica. De acordo com o autor, as palavras podem ser usadas de formas diferentes para construir as relações semânticas, chamando de formações temáticas tudo aquilo que os diferentes textos têm em comum quando trata de um mesmo tema.

Partindo disso, ele destaca que cada grupo e categoria social elabora diferentes significados, apresentam diferentes estruturas de atividades e formações temáticas, e diversas maneiras de utilizar essas formações. A forma como uma pessoa fala sobre um tema, pode diferenciá-la ou incluí-la em um grupo social. Na medida em que os sujeitos participam de uma comunidade, e aquilo que se fala não é diferente do que normalmente ocorre na experiência dos seus membros, a tendência é chegar ao mesmo padrão de significados. No entanto, pode haver diferenças nos padrões devido a questões como teorias, opiniões, sistemas de valores, que podem ser diferentes para uma determinada parcela de membros.

Baseado nessas reflexões, para a construção do diagrama seguimos os seguintes passos: (1) identificação de trechos que o conceito de entropia e espontaneidade está sendo expressado; (2) construção/identificação dos itens temáticos – termos da ciência e da prática cotidiana dos licenciandos; (3) construção das relações semânticas estabelecida entre cada um dos termos; (4) junção dessas relações semânticas em um padrão temático.

Vale ressaltar, que um item temático é, de acordo com Lemke (1997), uma palavra (item simples) ou frase (itens condensados), usada para se falar de um tema particular. As relações semânticas, em minúsculo, descrevem como esses itens temáticos relacionam, ou seja, quais os significados de duas palavras ou frases quando são usadas conjuntamente para se falar sobre o tema em questão. Para nossa investigação, utilizamos algumas relações semânticas, baseadas na proposta de Lemke, e outras que podiam surgir ao longo da análise. Lemke enumera cinco relações semânticas básicas, nomeadamente: relações nominais; relações de transitividade; relações de identificação/posse; relações circunstanciais e relações que ocorrem entre conjuntos completos ou vinculados.

O debate acerca das situações-problema foi transcrito na íntegra e organizado de maneira sequencial, respeitando, as falas dos participantes.

C) Exibição do Filme “O Mundo sem Ninguém”

Os itens **c** e **d** foram analisados de acordo com as interações discursivas de episódios que emergem a partir das formas de falar identificados nas respostas. A seguir são apresentados os critérios para análise dos dados construídos na pesquisa, a saber: respostas aos textos escritos

pelos alunos após o filme e episódios selecionados das interações discursivas no momento do debate sobre o conceito de entropia e espontaneidade em diversos contextos. Esse conjunto de dados foi selecionado para compor parte importante da pesquisa, e por estarem associados aos momentos nos quais o conceito é discutido com maior possibilidade de emergência de modos de pensar a partir das formas de falar (MORTIMER, 2001).

Nesse sentido, as falas dos alunos foram observadas e categorizadas de acordo com os modos de pensar e formas de falar sobre os conceitos de entropia e espontaneidade, observados no perfil conceitual (AMARAL, 2004; AMARAL e MORTIMER, 2004; MORTIMER et al., 2014), a partir da relação da resposta com as três zonas para o perfil conceitual de entropia e espontaneidade: **Zona Perceptiva/intuitiva, Zona Empírica e Zona Racionalista.**

D) Aula Experimental

Os experimentos foram analisados de acordo com as interações discursivas de episódios que emergem a partir das formas de falar identificados nas respostas, em que buscamos identificar quais as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

Justificamos a análise dos momentos vivenciados das interações discursivas nos estudantes durante a sequência didática, assim, os enunciados são tomados como a unidade de análise, que se concretizam nos momentos da sequência didática (SIMÕES NETO, 2016).

Para tornar mais didática e sistemática a apresentação dos resultados obtidos nesse estudo, serão apresentadas no capítulo a seguir, as discussões por análise de respostas obtidas sobre a problemática investigada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção apresentaremos os resultados e discussões do trabalho, considerando: análise dos questionários, Análise dos episódios que emergiram a partir das questões norteadoras no debate, análise das situações-problema, análise da aula experimental e análise dos episódios do debate final.

5.1 Análise dos Questionários

As concepções prévias dos estudantes sobre os conceitos de entropia e espontaneidade foram levantadas a partir das respostas a um questionário construído para considerar esses conceitos em diferentes contextos. Conforme apresentado na metodologia desse trabalho, buscamos mapear essas concepções a partir da identificação de diferentes modos de pensar, explicitados na resposta dos estudantes.

O questionário foi disponibilizado aos estudantes, que durante todo o tempo de resolução permaneceram em silêncio e concentrados, e devolveram respondido após trinta minutos. De uma forma geral, observamos a emergência de diversos modos de pensar nas respostas dos licenciandos em Química, e caracterizamos três zonas do perfil, mostrando a pluralidade do conceito de entropia e espontaneidade. Apresentamos aqui uma análise que busca discutir a relação entre as zonas que emergem nas respostas dadas as questões com os trechos marcados em negrito, correspondendo as emergências de zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

Considerando a resposta da pergunta 1, no quadro 6, somente três estudantes associaram o conceito de entropia ao de espontaneidade.

Quadro 6 – Respostas a questão: O que você entende por entropia?

Estudante	Resposta
AL1	Entropia equivale ao quão desordenadas estão as moléculas, ou seja, quanto maior a desorganização das moléculas maior é a entropia.
AL2	Desordem do sistema.
AL3	Entropia é uma função de estado que na sua definição mais simples mede a desorganização de um processo.
AL4	A entropia é uma grandeza que mede a desordem ou aleatoriedade que as moléculas de um sistema podem assumir. Gosto da definição de entropia estatística, $S = K \ln W$ em que K é a constante de Boltzmann e W é o

	número de microestados em que este diz respeito com as maneiras com que as moléculas de um sistema podem ser distribuídas, considerando a energia totalmente constante.
AL5	A entropia está relacionada com o grau de dispersão de energia em um dado sistema. De acordo com a equação de Boltzmann ($S = K \ln \Omega$) a entropia é proporcional ao $\ln$ do número de microestados possíveis. Quanto mais níveis de energia acessíveis, maior a dispersão de energia, e consequentemente a desordem do sistema.
AL6	Entropia mede o grau de desordem em um sistema, sendo que um valor de entropia maior que zero é considerado um processo espontâneo.
AL7	-
AL8	Desorganização das moléculas.
AL9	Seria como o grau de desordem de um sistema.
AL10	É a desordem do sistema.
AL11	Processo que relaciona a espontaneidade que ocorre em um determinado fenômeno ou reação, ou seja, a entropia é a grandeza utilizada na termodinâmica que irá nos dizer se um determinado processo ocorre espontaneamente ou não. A sua variação (ΔS) é a “medida” dessa espontaneidade.
AL12	Entendo pelo nível de desordem das moléculas no sistema. Na qual a entropia, como no caso o nível dessa desordem, podem caracterizar se o processo é espontâneo ou não.
AL13	Desordem de um sistema.
AL14	Que é uma função de estado , que há uma variação na mistura dos gases.
AL15	Ela é uma função de mudança de estados para a verificação dos gases, sempre olhando o ponto final e inicial.
AL16	Desordem do sistema. É o caos.
AL17	Desordem do sistema.
AL18	A desordem de um determinado sistema.
AL19	Entropia é o grau de desordem de um sistema.
AL20	Desordem do sistema.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Dois alunos (AL6 e AL11), exemplificam que as condições do processo ocorrem de maneira espontânea, fazendo uso da expressão de variação de entropia do universo (AMARAL; MORTIMER, 2004). Essa expressão associa-se a uma variação de entropia do universo maior que zero a processos espontâneos ($\Delta S > 0$ como condição de espontaneidade), que pode ser considerado também como um modo de pensar associado a zona empírica.

O estudante AL12 também associou os conceitos de entropia e espontaneidade, mas levou em consideração que os processos espontâneos ocorrem de forma natural, sem influência externa, como por exemplo a queda de um corpo devido gravidade ou uma reação de combustão. Essa resposta inclui características da zona perceptiva/intuitiva, pois não existe intencionalidade em compreender a natureza dos conceitos, somente em descrever o fato observado por meio da ideia de espontaneidade.

Os alunos AL3, AL14 e AL15, responderam que a entropia era uma função do estado, que depende apenas dos estados inicial e final, fornecendo indícios de um pensamento científico adquirido na sua formação escolar, e assim, podemos classificar essas respostas como formas de falar associadas a zona racionalista. As respostas dos alunos AL4 e AL5 também foram classificadas nessa zona, pois descreveram a dimensão estatística do conceito, sobre o número possível de microestados e, por fim, citaram a equação de Boltzmann e dispersão de energia do sistema. Essas respostas podem ser consideradas de forma racional, pois exigem um grau maior de compreensão. Além disso, ao apresentar a equação, podemos observar uma concepção matemática de entropia, associada a antiga zona formalista, que atualmente é incluída na zona racionalista, como definido na apresentação do perfil conceitual de Amaral, Mortimer e Scott (2014).

Diante das respostas dos estudantes AL3 (zonas empírica e racionalista), AL4 (zonas empírica e racionalista) e AL12 (zonas perceptiva/intuitiva e empírica), podemos perceber diferentes modos de pensar que emergem na mesma resposta, caracterizando hibridismo (ARAÚJO, 2014; DINIZ JÚNIOR, SILVA; AMARAL, 2015). Lembramos ainda que o estudante AL7 não respondeu à questão, logo, não atendeu a condição para inclusão.

Na literatura encontramos referências que associam o conceito de entropia à desordem (COLOVAN; SILVA, 2005). Esse conceito foi definido em meados de 1866, baseado nos trabalhos em termodinâmica estatística de Ludwig Boltzmann (1844-1906). Vale ressaltar, que devido a necessidade de compreensão científico-matemática proeminente nos livros, observa-se uma definição mais clara do conceito de entropia do que é apresentada na explicação científica.

Nas respostas de 15 estudantes, foi possível observar que a entropia é compreendida como **desordem de um sistema, desordem das moléculas que compõem um sistema** ou uma **medida do grau de desordem**. As respostas dos alunos corroboram com a definição encontrada em livros didáticos do Ensino Médio, que conceitua a entropia como uma grandeza termodinâmica que mede o grau de desordem de um sistema (SANTOS et al., 2017). Desse modo, a definição de entropia como **desordem**, apesar de remeter a uma condição do **sistema** (aumento da desordem), não compreende fórmulas/equações matemáticas ou uma lógica científica, e se referem a uma experiência de pensamento associado a zona empírica.

No quadro 7 apresentamos as respostas dos licenciandos em Química para a segunda pergunta.

Quadro 7 – Respostas a questão: Entropia é função de estado, ou seja, só depende dos estados inicial e final.
Qual sua compreensão sobre essa afirmação?

Estudante	Resposta
AL1	Sim, acredito que o estado inicial ou final da matéria vai indicar sua entropia devido a sua organização.
AL2	É verdadeira, mas não consigo explicar corretamente.
AL3	Que o processo que ocorre não irá alterar a entropia final.
AL4	Sendo a entropia uma função de estado, infere-se que independente da maneira em que ocorra uma transformação num sistema por exemplo, isotérmico ou adiabático, ela só depende dos estados iniciais e finais, sendo constatado por ser uma diferencial exata.
AL5	Uma função de estado independe da forma como ocorreu um determinado processo, ou seja, depende apenas dos estados inicial e final .
AL6	Isso indica que como a entropia só depende dos estados iniciais e finais , independe o caminho pelo qual se chegou tal processo.
AL7	Sim, pois a mesma depende diretamente dos estados iniciais e finais de volume, temperatura e pressão, onde esses têm que expressar esses valores.
AL8	Sim, pois as condições como temperatura, pressão e volume deve ser indicado por seus estados finais e iniciais.
AL9	Que independente do trajeto para atingir aquele valor de entropia , isso não mudaria em nada seu valor.

AL10	Sim, pois a mudança de alguma temperatura, a pressão vai variar o estado inicial do sistema.
AL11	Sim. Já que utilizamos a relação variação, logo as informações para se descobrir a entropia são seus estados iniciais e finais.
AL12	Sendo a entropia como função de estado , não se leva em conta o “meio” pelo qual o processo aconteceu, mas sim o antes e o depois do processo.
AL13	Verdadeira.
AL14	Que é verdade, ela só depende dos estados inicial e final, e se é espontânea ou não.
AL15	Para podermos calcular sua transição, vamos precisar somente dos estados inicial e final.
AL16	Que não depende do percurso que ocorre ΔS [variação de entropia], e sim, apenas o começo e o fim.
AL17	Que não analisa o percurso da reação.
AL18	Para calcularmos a entropia não necessitamos compreender todo o processo, apenas com o estado inicial e final podemos determinar a entropia.
AL19	Funções de estado independem do processo que ocorre, pois só importa o início e o fim.
AL20	Que independente do caminho tomado o valor de ΔS será o mesmo, pois como uma função de estado é uma diferencial exata, não dependerá da curva (caminho).

Fonte: Autoria Própria (2018).

Nesse quadro, é possível observar que todos concordaram que entropia é uma função de estado, ou seja, a maioria dos estudantes disse que ela depende apenas dos estados inicial e final, independente da trajetória (percurso ou caminho da reação). Além disso, podemos observar em algumas respostas uma maior preocupação em utilizar a linguagem científica, buscando explicar a questão a partir das propriedades associadas a grandeza, manifestando pensamento científico possivelmente adquirido ao longo de sua formação inicial, por isso classificamos essas respostas (AL4, AL5, AL6, AL7, AL8, AL9, AL11, AL12, AL14, AL15, AL17, AL18, AL19) como associada à zona racionalista. Vale ressaltar a resposta do estudante AL4 que mostra uma interpretação mais detalhada em sua fala: “*sendo a entropia uma função de estado, infere-se que independente da maneira em que ocorra uma transformação num*

sistema por exemplo, isotérmico ou adiabático ela só depende dos estados iniciais e finais, sendo constatado por ser uma diferencial exata”.

Na resposta de AL1, observamos a ideia de “organização”, ou seja, ordem e desordem, que entendemos como manifestação da zona empírica. Outra manifestação de um modo de pensar que corresponde a uma das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade está na resposta de AL14, que remete a ideia de espontaneidade, associada a zona perceptiva/intuitiva.

No quadro 8 apresentamos as respostas dos licenciandos em Química para a terceira pergunta. Foi possível observar que oito estudantes (AL3, AL5, AL14, AL15, AL16, AL18, AL19, AL20) responderam sim, ou seja, concordaram com a afirmativa que a variação de entropia devido à mistura de dois gases é sempre positiva. Em contrapartida, cinco estudantes (AL4, AL6, AL8, AL12, AL13) disseram que não, além de um estudante, AL7, citar uma dependência com o valor da variação de entropia.

Quadro 8 – Respostas a questão: A afirmação “a variação de entropia devido à mistura de dois gases é sempre positiva” é correta? Justifique sua resposta

Estudante	Resposta
AL1	Não respondeu
AL2	Não respondeu
AL3	Sim, porque sempre que ocorre a mistura de dois gases a tendência é que a desorganização do sistema aumente.
AL4	Não, caso os dois gases estejam em recipientes maiores, e quando forem misturados ocupem um volume menor, isso quer dizer que a entropia da mistura é menor, logo negativa.
AL5	Sim, visto que a matéria em seu estado gasoso apresenta um grau de desordem considerável, ainda que seja uma mistura, o sistema permanece desordenado. Se o processo for espontâneo, $\Delta S > 0$, para o sistema isolado.
AL6	Não, pois nem sempre a variação de entropia em um dado sistema irá se observar valores positivos, pode-se encontrar também valores negativos, garantindo assim que a entropia não é espontânea.
AL7	Depende, pois a soma da entropia total tem que ser maior que zero, mas caso ela seja espontânea ou até mesmo reversível a mesma pode obter valores (maiores ou menores que zero ($< 0 >$)).

AL8	Não. Pois $\Delta S < 0$ o processo é reversível.
AL9	Se a variação de entropia total será a soma dos dois gases, logo pode diminuir se um deles tiver a variação de entropia baixa.
AL10	Não respondeu
AL11	Não sei
AL12	Não é correta. Depende da energia interna do sistema, ou do tipo de processo, quando ocorre troca de calor, caracterizando a espontaneidade da reação , sendo negativa ou não a entropia.
AL13	Falsa
AL14	Sim
AL15	Sim, devido ser um sistema fechado, portanto será positivo.
AL16	Sim
AL17	Não respondeu
AL18	Sim, pois ao misturarmos dois gases a desordem do sistema tende a aumentar , com isso a entropia final será maior que a inicial.
AL19	Sim, pois há um aumento de entropia na mistura, logo esse será positivo.
AL20	Sim. Pois como a entropia verifica a desordem dos gases , logo acredito que será positiva, pois haverá mais forças intermoleculares repulsivas no sistema.

Fonte: Autoria Própria (2018).

O estudante AL9 disse apenas que “*Se a variação de entropia total será a soma dos dois gases, logo pode diminuir se um deles tiver a variação de entropia baixa*”, não respondendo se a afirmativa está correta ou não. A desordem no sistema a partir da mistura de gases está presente nas respostas dos estudantes AL3, AL5, AL18 e AL20, uma forma de falar que guarda relação com a zona empírica. Lembramos ainda que os estudantes AL1, AL2, AL10, AL11 e AL17 não responderam à questão, logo, não atenderam a condição para inclusão. Em relação a presença do discurso híbrido, destacamos a resposta do estudante AL5 as zonas racionalista e perceptiva/intuitiva.

No quadro 9 apresentamos as respostas dos licenciandos para a quarta pergunta do questionário. Para a resolução, os estudantes tiveram que analisar figuras que representavam processos gasosos, desenvolvendo a capacidade de interpretação e relação com o conceito de entropia. Para melhor visualização no momento da aplicação do questionário, as imagens foram projetadas no quadro utilizando um projetor multimídia. A seguir apresentamos a análise para cada um dos processos, buscando identificar a emergência de zonas do perfil conceitual de

entropia e espontaneidade. Algumas das respostas não apresentaram justificativas, o que impede verificar a emergência das zonas.

Processo I. Os estudantes AL1 e AL2 disseram que não houve aumento na variação de entropia, devido a desorganização do processo ilustrado. Já os estudantes AL3, AL4 e AL9 disseram que houve um aumento da entropia, devido ao aumento do volume. Os estudantes AL5, AL8, AL12, AL13, AL14, AL15 e AL18 disseram que houve diminuição na variação de entropia por alguns fatores como: 1) grau de desordem das moléculas; 2) o sistema está sendo modificado; 3) a agitação; e 4) sistemas estão com um arranjo atômico e/ou molecular mais ordenado. Adicionalmente, podemos identificar o AL5 como zona racionalista, pois essa resposta exige uma compreensão e interpretação de ideias sobre a entropia e espontaneidade dos processos, que levam em consideração a distribuição de energia em um nível atômico-molecular. Os demais discursos identificados através do conceito desordem do sistema ou das moléculas estão associados a zona empírica (AL1, AL6, AL7, AL9, AL12, AL8, AL19).

Processo II. O estudante AL9 disse que no processo II o volume foi constante e não aumentou a desordem. Os estudantes AL7 e AL12 disseram que houve um aumento na desordem do processo. Os estudantes AL1, AL2, AL3, AL4, AL6, AL11, AL14, AL15, AL18 e AL20 afirmaram que houve diminuição pelos seguintes fatores: 1) aumento da pressão e diminuição da ΔS ; 2) grau de desordem das moléculas que diminui; 3) sistema está sendo modificado; 4) os gases tinham mais espaço e depois o espaço diminui fazendo com que diminuísse a possibilidade de desorganização das moléculas (ocasionada pelo movimento); e 5) os sistemas estão com um arranjo atômico e/ou molecular mais ordenado, havendo uma maior quantidade de entidades para um volume menor. Os estudantes AL8, AL10, AL13 e AL16 disseram que para o processo II não houve alteração ou variação de entropia no processo ou sistema.

Processo III. Algumas das respostas para este item se assemelham com o item anterior. Os estudantes AL1, AL2, AL4, AL5, AL6, AL14, AL15 e AL18 responderam que no processo III houve uma diminuição da entropia pelos seguintes fatores: 1) os gases tinham mais espaço e depois o espaço diminui, fazendo com que diminuísse a possibilidade de desorganização das moléculas, ocasionada pelo movimento; 2) uma maior quantidade de entidades para um volume menor os sistemas estão com um arranjo atômico e/ou molecular mais ordenado; 3) o sistema está sendo modificado e pelo grau de desordem das moléculas que diminui. O Estudante AL9 disse que não houve aumento na variação de entropia devido ao volume constante e não houve

um aumento na desordem do sistema. Os estudantes AL7, AL8, AL10, AL11, AL13 e AL20 disseram que houve um aumento na desordem e consequentemente um aumento na entropia devido aos seguintes fatores: 1) ambos saíram de um espaço maior para um menor; 2) um aumento devido aos estados e as situações das bolinhas; e 3) aumento da pressão e diminuição da variação de entropia (ΔS). Identificamos na resposta do AL3 a zona empírica, que está relacionada com as ideias nas quais a experiência começa a ser analisada, levando em consideração as condições nas quais os processos ocorrem. Lembramos ainda que o estudante AL17 não respondeu à questão, logo, não atendeu a condição para inclusão.

O quadro nove apresenta as respostas dos estudantes para essa questão.

Quadro 9 – Respostas a questão 4: Dentre os processos abaixo (ver figura no apêndice C) nas quais as bolinhas de diferentes cores representam diferentes gases, sinalize se houve aumento, diminuição ou nenhuma variação de entropia. O que levou você a analisar esses sistemas dessa forma?

Estudante	Resposta
AL1	No I não houve variação de entropia, pois considerando a imagem, a desorganização das moléculas se manteve . No II e III processos, houve diminuição da entropia pois os gases tinham mais espaço, e depois o espaço diminui fazendo que diminuísse a possibilidade de desorganização das moléculas (ocasionada pelo movimento).
AL2	I- Não houve, II- Diminuição, III- Diminuição.
AL3	I- Aumento da entropia, II- diminuição, III- não aumentou e nem diminuiu. Baseando-se na quantidade de partículas e na proximidade que se encontram foi possível analisar.
AL4	I- Houve aumento, pois há um aumento do recipiente fazendo com que as entidades químicas estejam mais dispersas. II- Houve diminuição, pois há uma maior quantidade de entidades para um volume menor. III- Houve diminuição pelo mesmo motivo.
AL5	Diminuição da entropia. Os sistemas estão com um arranjo atômico e/ou molecular mais ordenado.
AL6	No processo I, não houve variação de entropia. No processo II, houve diminuição de entropia. No processo III, houve diminuição de entropia. No sólido, as partículas estão organizadas, não havendo variação de entropia. No líquido observa-se maior desordem das partículas, e nos gases apresenta maior variação de entropia comparado com os anteriores.

	Quanto mais distantes as partículas uma das outras, maior é o grau de desordem do sistema e consequente entropia.
AL7	I- Nenhuma variação, II- aumento, III- aumento. O que me levou a essa análise, foi que no I apenas somou, ou seja, não houve alteração; no II houve um aumento, pois, os dois gases foram confinados no mesmo espaço onde ambos antes estavam isolados; no III houve um aumento onde ambos saíram de um espaço maior para um menor; já no IV houve uma diminuição, pois, o espaço se tornou maior, e a desordem também.
AL8	I- Diminuição da entropia, II- não alterou a entropia, III- houve aumento da entropia.
AL9	No I, na mudança de fase a variação de entropia aumenta, com o aumento do volume. No II e III o volume foi constante e não aumentou a desordem.
AL10	No caso I: Não houve variação de entropia. No caso II: Não houve a alteração do sistema. No caso III, houve o aumento da entropia, devido aos estados e as situações das bolinhas.
AL11	I- Entropia permaneceu, II- Entropia diminuiu, III- Entropia aumentou.
AL12	No primeiro exemplo houve uma diminuição na agitação das moléculas, já no segundo exemplo houve um aumento na desordem. Assim, no primeiro uma diminuição na entropia do sistema, e no segundo um aumento da entropia, o que faz essa análise e a desordem das bolinhas (nível).
AL13	I- Diminuição, II- Nenhuma, III, Aumento.
AL14	Houve uma diminuição na variação de entropia.
AL15	Houve uma diminuição, devido ao sistema está sendo modificado.
AL16	Nenhuma variação
AL17	Não respondeu
AL18	Houve diminuição na variação de entropia, pelo fato da percepção através das imagens do grau de desordem das moléculas que diminui.
AL19	Que no final a desordem dos sistemas termina relativamente igual.
AL20	I- Não variou, II- houve aumento da pressão e diminuição da ΔS , III- vejo que o processo é parecido com o II.

O uso de situações ou questões contextualizadas em sala de aula pode promover diferentes modos de pensar sobre um conceito químico. Nesse sentido, ao discutir uma situação familiar a partir de um conceito químico, estudantes muitas vezes expressam ideias que não necessariamente apresentam o mesmo sentido ou relações entre si. Dessa forma, podemos considerar que diferentes situações podem mobilizar modos de pensar específicos em cada sujeito.

Estes modos de pensar específicos estão, na maioria dos casos, vinculados a diferentes contextos sociais, entre os quais destacamos: 1) o contexto escolar, no qual o conhecimento científico escolar é apresentado aos sujeitos e, em geral, pretende-se construir uma visão científica de mundo; e 2) o contexto cotidiano, no qual os sujeitos vivem e convivem com familiares, comunidades, grupos sociais, entre outros, nos quais circulam predominantemente ideias mais intuitivas e do senso comum, não sendo necessário um rigor científico na maneira de falar e expressar ideias (DINIZ JÚNIOR, SILVA; AMARAL, 2015).

No quadro 10 apresentamos as respostas dos licenciandos para a quinta pergunta.

Quadro 10 – Respostas a questão: Existe alguma relação entre entropia e processos espontâneos?

Estudante	Resposta
AL1	Levando em consideração o ΔG (Energia de Gibbs) e sua equação, há uma relação, pois $\Delta G > 0$ é um processo não espontâneo e $\Delta S < 0$ é um processo espontâneo , e a equação leva em consideração a entropia, ou seja, maior entropia mais espontânea a reação .
AL2	Existe, se for positiva o processo é espontâneo . O porquê eu não sei direito. Algo sobre energia livre.
AL3	Sim. Porque o aumento da entropia indica que o processo é espontâneo.
AL4	Sim. Os processos espontâneos são aqueles que ocorrem com o aumento da entropia total dos sistemas. Processos espontâneos são aqueles que ocorrem sem haver trabalho. As transformações espontâneas ocorrem quando o sentido da mudança se dá para a maior dispersão da energia total do sistema.
AL5	Sim. A entropia é uma função de estado utilizada para nos predizer a espontaneidade ou não de um processo.
AL6	Sim. Pois quanto maior o grau de desordem de um dado sistema sendo $\Delta S > 0$, o processo se apresenta como espontâneo . $\Delta S < 0$ não apresenta processo de espontaneidade .

AL7	Não respondeu
AL8	Sim. Por exemplo, a entropia do ser vivo que diminui ou permanece constante ao expor entropia ao ambiente e esse processo ocorre espontaneamente .
AL9	Sim. A variação de entropia sendo maior que zero ela é determinada como espontânea .
AL10	Não respondeu.
AL11	Sim. O meu processo será espontâneo se tivermos um ΔS indicando “intensidade” dessa entropia.
AL12	Sim. Quanto maior for a entropia, positivamente maior a espontaneidade do sistema.
AL13	Não respondeu.
AL14	Sim.
AL15	Sim. Pelo fato de ela ser sempre positiva, sendo o sistema fechado ela irá ser espontânea .
AL16	Não sei, mas tem explicação.
AL17	Sim, quanto maior o processo espontâneo maior é a desordem.
AL18	Sim, se $\Delta S > 0$ o processo é espontâneo , ou seja, através da variação de entropia podemos observar a espontaneidade do sistema.
AL19	Sim. Processos espontâneos acontecem de maneira natural, e devido a alguns processos como esse, há um aumento ou diminuição do grau de entropia.
AL20	Sim, pois a entropia será espontânea quando não houver nenhuma força na forma de trabalho sobre o sistema.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Foi possível observar que os estudantes afirmaram a existência de alguma relação entre entropia e processos espontâneos. Essa foi a resposta de 16 estudantes. O estudante AL16 disse: “*Não sei, mas tem explicação*”. Os demais não responderam.

Apenas cinco estudantes (AL3, AL4, AL5, AL12 e AL20) associaram de forma direta o conceito de entropia ao conceito de espontaneidade. Treze estudantes se preocuparam em explicar as condições de ocorrência do processo de forma espontânea, mas apenas quatro estudantes (AL1, AL6, AL9 e AL18) utilizaram a expressão de variação de entropia do universo (AMARAL; MORTIMER, 2004), que associa uma variação de entropia do universo maior que

zero a processos espontâneos ($\Delta S > 0$ como condição de espontaneidade), algo característico também de um modo de pensar associado a zona empírica.

O AL19 diz: “*Sim. Processos espontâneos acontecem de maneira natural, e devido a alguns processos como esse, há um aumento ou diminuição do grau de entropia*”. No entanto, a entropia está relacionada com a direção em que os eventos aconteçam espontaneamente, ou seja, a direção dos processos naturais (MENEZES, 2005). Identificamos a partir das respostas a relação que os estudantes fizeram frente a pergunta, ao apresentarem modos de pensar que associam entropia e processos espontâneos, mostrando assim uma construção do conhecimento acerca do conceito.

Lembramos ainda que os estudantes AL7, AL10 e AL13 não responderam à questão, logo, não atenderam a condição para inclusão. A presença de discursos híbridos fica evidente nas respostas dos estudantes AL1 (zonas racionalista e empírica), AL6 (zonas racionalista e empírica) e AL18 (zonas racionalista e empírica).

No quadro 11 apresentamos as respostas dos licenciandos para a sexta pergunta do questionário.

Quadro 11 – Respostas a questão: Ambos os processos são irreversíveis? (Ver figura no apêndice D). Ainda, baseado nos exemplos e nas suas conclusões acerca da irreversibilidade ou não desses processos, você acha que a afirmação “a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível” está correta ou errada?

Estudante	Resposta
AL1	Não respondeu
AL2	Não respondeu
AL3	Errada, pode ser possível por meio de processos físico-químicos separar os gases.
AL4	Sim, está correta, pois como os gases ideais são diferentes, é improvável que ocorra uma reversibilidade do sistema, logo, ocorre com um aumento da entropia .
AL5	Não. Está incorreta. Todo processo espontâneo perpassa por uma reversibilidade do sistema. Por tratar-se de gases ideais, conforme a definição de pressão parcial, considera-se como se os gases estivessem ocupando sozinhos o recipiente, visto que não existem interação intermoleculares entre eles.

AL6	O processo IV é reversível pois pode-se utilizar uma forma de aumentar ou diminuir a entropia. O I é irreversível. Um processo espontâneo é reversível.
AL7	No meu ponto de vista está correto, pois se é irreversível já diz que não tem que separar estes gases.
AL8	Errada. Pode ser espontâneo reversível.
AL9	Eles podem ser separados na mudança de fase, o ponto (temperatura) de condensação deles podem ser distintos.
AL10	Não. Apenas no sistema IV, acho que não, pois não será espontâneo.
AL11	I- Processo Reversível, IV- Processo Irreversível (Errada).
AL12	Sim.
AL13	Errada, devido à pressão no sistema, seus estados, final e inicial podem variar, podendo ser reversíveis.
AL14	São irreversível e é espontâneo , logo está correta.
AL15	Não respondeu.
AL16	Não é espontâneo.
AL17	Não respondeu.
AL18	Correta.
AL19	Acredito que sejam processos reversíveis.
AL20	O processo I não notei nenhuma diferença. O processo IV houve a retirada das barreiras e o sistema se dividiu??!! Acredito que ambos os processos podem ser reversíveis.

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir das respostas é possível identificar que os 6 estudantes (AL3, AL5, AL8, AL10, AL11 e AL13) disseram que a mistura de dois gases ideais diferentes não é um processo inerentemente espontâneo irreversível. É apresentado pelo AL5 a ideia de que “*Todo processo espontâneo perpassa por uma reversibilidade do sistema*” ao relacionar sua resposta aos gases ideais, conforme a definição de pressão parcial, e a não existência de interação intermoleculares entre os dois gases, afirmando assim que os processos abordados nesta questão não são irreversíveis.

Os estudantes AL4, AL6, AL7, AL12, AL14, AL18, AL19, AL20 confirmam a afirmativa de que “*a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível*” pois relacionam a espontaneidade ao processo de irreversibilidade do sistema. Logo, ocorre um **aumento da entropia**.

Para esta questão podemos identificar os modos de pensar na zona empírica (AL3, AL4, AL5, AL6, AL7, AL8, AL9, AL10, AL11, AL12, AL13, AL14, AL16, AL18, AL19, AL20) que está relacionada com as ideias nas quais a experiência começa a ser analisada, levando em consideração as condições nas quais os processos ocorrem. A zona racionalista é identificada na resposta de AL5. Lembramos ainda que os estudantes AL1, AL2, AL15 e AL17 não responderam à questão, logo, não atendeu a condição para inclusão. A presença dos discursos híbridos também emerge na resposta do estudante AL5 (zonas racionalista e empírica).

Para análise desta questão é importante saber que Clausius, em 1865, distinguiu processos reversíveis de processos irreversíveis, e introduziu o conceito de entropia: uma grandeza que aumenta com a dissipação e atinge o seu valor máximo, quando todo o potencial de transformação da energia está esgotado. Desse modo, em um processo reversível, a variação de entropia é nula, enquanto que em um processo irreversível a entropia sempre aumenta (COVENEY; HIGHFIELD, 1991). Segundo Colovan e Silva (2005), os processos irreversíveis são aqueles que possuem um sentido preferencial no tempo, não havendo meios de serem executados no sentido temporal contrário.

5.1.1 Emergência de Zonas do Perfil Conceitual de Entropia e Espontaneidade nos Modos de Pensar dos Estudantes

O quadro 12 apresenta a distribuição dos modos de pensar apresentados pelos estudantes, informais ou científicas, nas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, para a primeira pergunta. Em negrito, os estudantes que apresentaram discursos híbridos, ou seja, que apresentaram na resposta mais de um modo de pensar o conceito de entropia e espontaneidade.

Quadro 12 – Respostas a questão: O que você entende por entropia?

Zona	Estudantes
Zona perceptiva/intuitiva	AL12.
Zona Empírica	AL1, AL2, AL3, AL4 , AL6, AL8, AL9, AL10, AL11, AL12 , AL13, AL16, AL17, AL18, AL19, AL20.
Zona Racionalista	AL3, AL4 , AL5, AL14, AL15.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Referente a zona perceptiva/intuitiva, podemos inferir que a pequena emergência desse modo de pensar pode estar associada a duas questões: 1) o grau de instrução formal dos estudantes que participaram da pesquisa, licenciandos em química ao menos no sexto período do curso, e 2) a ausência da palavra espontaneidade na pergunta. Assim, acreditamos que tal construção seja convencional nos grupos de respostas apresentadas, devido as características da pergunta e da ambientação em sala de aula, fazendo com que os estudantes busquem respostas que consideram corretas. Pela teoria dos perfis conceituais, um mesmo conceito pode ser visto sob diferentes perspectivas, que podem ser complementares, estando associadas a diferentes modos de pensar pragmáticos em contextos específicos de aplicação, pois a aprendizagem dos conceitos científicos e a discussão de novas ideias não conduz necessariamente os alunos ao abandono de suas convicções previamente estabilizadas (AMARAL, 2004).

O quadro 13 apresenta, para a segunda questão, a distribuição das concepções apresentadas pelos estudantes, informais ou científicas, nas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Em negrito, os estudantes que apresentaram discursos híbridos, ou seja, que apresentaram na resposta mais de um modo de pensar o conceito de entropia e espontaneidade.

Quadro 13 – Respostas a questão: Entropia é função de estado, ou seja, só depende dos estados inicial e final.
Qual sua compreensão sobre essa afirmação?

Zona	Estudantes
Zona perceptiva/intuitiva	AL14
Zona Empírica	AL1, AL2, AL3, AL5, AL6, AL7, AL8 , AL9, AL10 , AL11, AL12, AL13, AL14 , AL15, AL16, AL17, AL18, AL19.
Zona Racionalista	AL4, AL8, AL10, AL20. AL4, AL5, AL6, AL7, AL8, AL9, AL11, AL12, AL14, AL15, AL17, AL18, AL19

Fonte: Autoria Própria (2018).

O quadro 14 apresenta a distribuição das concepções apresentadas pelos estudantes, informais ou científicas, nas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, para a terceira questão. Em negrito, os estudantes que apresentaram discursos híbridos, ou seja, que apresentaram na resposta mais de um modo de pensar o conceito de entropia e espontaneidade.

Quadro 14 – Respostas a questão: “A variação de entropia devido à mistura de dois gases é sempre positiva”

Zona	Estudantes
Zona perceptiva/intuitiva	AL5, AL6, AL9, AL12, AL20
Zona Empírica	AL3, AL6 , AL7, AL8 , AL9 , AL12 , AL13, AL14, AL15, AL16, AL18, AL19, AL20
Zona Racionalista	AL5 , AL7, AL8

Fonte: Autoria Própria (2018).

O quadro 15 apresenta a distribuição das concepções apresentadas pelos estudantes para a quarta questão, informais ou científicas, nas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Em negrito, os estudantes que apresentaram discursos híbridos, ou seja, que apresentaram na resposta mais de um modo de pensar o conceito de entropia e espontaneidade. A presença do hibridismo fica evidente nas respostas dos estudantes AL5 (zonas racionalista e empírica).

Quadro 15 – Respostas a questão: Dentre os processos abaixo, nos quais as bolinhas de diferentes cores representam diferentes gases, sinalize se houve aumento, diminuição ou nenhuma variação de entropia. O que levou você a analisar esses sistemas dessa forma?

Zona	Estudantes
Zona perceptiva/intuitiva	AL7, AL18
Zona Empírica	AL1, AL2, AL3, AL4, AL5 , AL8, AL9, AL10, AL11, AL12, AL13, AL14, AL15, AL19, AL20 AL7, AL8, AL10, AL11, AL13, AL20
Zona Racionalista	AL5 , AL6

Fonte: Autoria Própria (2018).

O quadro 16 apresenta a distribuição das concepções apresentadas pelos estudantes para a quinta questão, informais ou científicas, nas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Em negrito, os estudantes que apresentaram discursos híbridos, ou seja, que apresentaram na resposta mais de um modo de pensar o conceito de entropia e espontaneidade.

Quadro 16 – Respostas a questão: Existe alguma relação entre entropia e processos espontâneos?

Zona	Estudantes
Zona perceptiva/intuitiva	-

Zona Empírica	AL1 , AL2, AL3, AL4, AL5, AL6 , AL8, AL9, AL11, AL12, AL14, AL15, AL18 , AL19, AL20
Zona Racionalista	AL1, AL6, A18

Fonte: Autoria Própria (2018).

O quadro 17 apresenta a distribuição das concepções apresentadas pelos estudantes, informais ou científicas, nas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, para a sexta questão. Em negrito, os estudantes que apresentaram discursos híbridos, ou seja, que apresentaram na resposta mais de um modo de pensar o conceito de entropia e espontaneidade. Para esta pergunta não foi possível identificar nenhuma zona perceptiva/intuitiva, visto que corresponde às ideias de espontaneidade que emergem das impressões imediatas, das sensações e intuições, e que não consideram as condições em que os processos ocorrem. Assim, é a zona que trata da ideia de entender um fenômeno como espontâneo, mas sem preocupação com as causas.

Quadro 17 – Respostas a questão: Ambos os processos são irreversíveis? Ainda, baseado nos exemplos e nas suas conclusões acerca da irreversibilidade ou não desses processos, você acha que a afirmação “a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível” está correta ou errada?

Zona	Estudantes
Zona perceptiva/intuitiva	-
Zona Empírica	AL3, AL4, AL5 , AL6, AL7, AL8, AL9, AL10, AL11, AL12, AL13, AL14, AL16, AL18, AL19, AL20
Zona Racionalista	AL5

Fonte: Autoria Própria (2018).

Foi possível identificar a emergência da zona empírica no modo de pensar dos seguintes estudantes (AL3, AL4, AL5, AL6, AL7, AL8, AL9, AL10, AL11, AL12, AL13, AL14, AL16, AL18, AL19 e AL20), nas quais podemos identificar as ideias nas quais a experiência começa a ser analisada, levando em consideração as condições nas quais os processos ocorrem. A zona racionalista emerge na resposta do estudante AL5, quando compreende as ideias sobre a espontaneidade dos processos que levam em consideração a distribuição de energia em um nível atômico-molecular. E por fim, é identificado a presença de um discurso híbrido, também na resposta do estudante AL5, em que emergem as zonas (empírica e racionalista).

5.2 Análise dos Episódios que Emergiram a partir das Questões Norteadoras no Debate

O debate acerca do Texto “*Entropia, processos irreversíveis e leis da termodinâmica*” foi transcrito na íntegra e organizado de maneira lógica e sequencial, respeitando as falas dos participantes. Cada aluno recebeu um exemplar do texto, que foi lido coletivamente. A partir desse material, foram selecionados episódios, nos quais emergem uma ou mais formas de falar sobre os conceitos de entropia e espontaneidade, além das relações com processos reversíveis e irreversíveis. Os resultados relacionados ao debate são apresentados a partir dos direcionamentos de análise descritos na metodologia desse trabalho. Os episódios estão apresentados por turnos de fala, com a finalidade de organizar as interações ocorridas em cada sujeito.

O roteiro com as seis perguntas do debate foi lido em voz alta pela pesquisadora e foi solicitado aos alunos que fizessem um círculo. Para descrever os resultados do debate, os participantes envolvidos foram identificados da seguinte forma: aluno (AL), pesquisadora (P). Para cada quadro foi criado uma categoria de acordo com o conceito que estava sendo abordado.

Para cada pergunta norteadora proposta aos alunos foi possível identificar a emergência de zonas do perfil conceitual a partir das formas de falar dos licenciandos, em negrito, nos quadros que apresentam os episódios.

A primeiro episódio, quadro 18, está relacionado a entropia e suas possíveis relações no cotidiano, e nele foi possível identificar a emergência de modos de pensar as seguintes possíveis zonas do perfil conceitual: perceptiva/intuitiva (turno 4), ou seja, a entropia como grau de desordem do ambiente; empírica (turnos 7 e 9), a partir da percepção de aumento na desordem tornando assim uma desordem maior.

Quadro 18 – Episódio 1 – Pergunta 1: Dê outros exemplos do cotidiano nos quais os conceitos de entropia e espontaneidade aparecem e se relacionam

Debate	Categoria: Entropia e suas possíveis relações no cotidiano
Turno	Fala
1	AL2: Os seres vivos. No caso a entropia dos seres vivos , ela pode ser constante e pode diminuir porque ela exporta entropia para o ambiente.
2	P: Explique melhor? E as Plantas?
3	AL6: No caso o processo de fotossíntese é irreversível , porque a noite libera gás carbônico, e respira (inaudível).

4	AL11: Um exemplo que podemos ver de entropia . Por exemplo, se nós temos um depósito fechado, aí com o passar do tempo se a gente deixar aquilo sozinho espontaneamente vai ficar mais desorganizado , vai surgir seres vivos como ratos, a gente pode ver um processo que tem uma certa entropia que vai ter uma desorganização .
5	P: Mais alguém? Mais um exemplo?
6	AL1: A fabricação de produtos, seria a transformação de uma matéria prima em outra.
7	AL15: Mudança de estado físico da água , ou seja, quando você esquentar e ela evapora a medida do grau de desordem é bem maior , que vai até para a atmosfera.
8	AL2: Mas nesse caso o processo é reversível .
9	AL9: Um exemplo é se você tem uma garrafa de refrigerante que você abre ela com liberação de gás , caso ocorre uma entropia e o processo é irreversível , porque você mesmo fechando a garrafa de refrigerante, não tem como absorver de volta o gás liberado.
10	AL6: Combustão de qualquer matéria é um processo irreversível .
11	AL11: É que no Ensino Básico a gente vê muito esse processo reversível e irreversível quando a gente estuda transformação química e física. Que a gente poderia dizer que o processo irreversível é uma transformação química que não dá pra voltar ao estado anterior, e o processo reversível seria uma transformação física que a gente pode ver a água mesmo em um ambiente fechado.
12	P: Vamos para próxima pergunta.

Fonte: Autoria Própria (2018).

No entanto, verificamos uma predominância de uma linguagem mais ligada ao senso comum ao tratar o conceito, pois os estudantes falam da espontaneidade e processos reversíveis e irreversíveis de modo sem conseguir associar os conceitos com o conhecimento científico. Além disso, observamos que os alunos conseguiram identificar e relacionar alguns exemplos de uso do termo entropia nos turnos 1 (seres vivos), 3 (fotossíntese), 4 (depósito fechado), 6 (fabricação de produtos), 9 (liberação de gás) e 10 (combustão).

No turno 7, AL15 afirma que com a mudança de estado físico da água ao entrar em ebulição, o grau de desordem se torna maior. Os alunos conseguem identificar que a desordem

de um sistema é maior no estado físico gasoso. Referente ao turno 11, o AL11 descreve que os conceitos abordados no Ensino Médio sobre transformação química e física, e consequentemente aos processos reversíveis e irreversíveis, destaca a relação entre o conceito novo e a abordagem com o conhecimento escolar.

O quadro 19 apresenta o segundo episódio, relacionado com o debate sobre a segunda questão. Único a responder durante a atividade, AL6 identifica que a entropia da reação de dissolução entre o cloreto de sódio em água aumenta, justificando que o sal se desfaz ao entrar em contado com água e devido a essa formação de íons a desordem será maior, resposta que associamos a zona empírica. O aluno identifica que o NaCl é um sal, mas não fez relação ao estado de agregação, sólido antes da dissolução e aquoso depois.

Quadro 19 – Episódio 2 – Pergunta 2: Na reação de dissolução do cloreto de sódio em água a entropia aumenta ou diminui? Qual a explicação?

Debate	Categoria: Comportamento da entropia em uma reação de dissolução
Turno	Fala
1	AL6: Aumenta. Porque tem a molécula de NaCl, porque no momento que ela se dissolve se desfaz toda a molécula, porque é um sal que se dissolve em água. Aí aumenta a entropia.
2	P: Vamos para próxima pergunta.

Fonte: Autoria Própria (2018).

No episódio 3, apresentado no quadro 20, o foco está na discussão sobre a transformação de processos e comportamento da entropia.

Quadro 20 – Episódio 3 – Pergunta 3: Em um processo de transformação de um sólido em líquido e, posteriormente, do líquido em um vapor, pelo aumento da temperatura, como se comporta a entropia? O processo é espontâneo?

Debate	Categoria: Transformação de processos e comportamento da entropia
Turno	Fala
1	AL11: A entropia aumenta do sólido para o líquido e do líquido para o gasoso, porque vai haver uma desordem nas moléculas .
2	P: E em relação a espontaneidade ?
3	AL6: Depende da temperatura e das interações .

4	AL1: Na verdade devido a um aumento maior ainda da temperatura para fazer a aproximação (inaudível).
5	P: E com a temperatura de fusão e ebulição?
6	AL11: Sim. No momento que ele mudar de fase, necessita de uma temperatura específica de fusão e ebulição.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Os alunos conseguem identificar que para a mudança de fase ocorrer é necessário um aumento da temperatura como pode ser identificado no turno 3, 4 e 6. No turno 1, AL11 identifica a desordem das moléculas de acordo com o aumento da temperatura e seus estados de agregação, em uma forma de falar que está associado a zona empírica. Em relação a espontaneidade, no turno 3, AL6 afirma que para ocorrer a transformação, existe dependência de dois fatores, a temperatura e as interações entre as moléculas, sendo manifestação da zona perceptiva/intuitiva.

Considerando o episódio 4, no quadro 21, os itens “a” e “b” estão relacionados a aplicação do conceito de entropia para identificação de fenômenos.

Quadro 21 – Episódio 4 – Pergunta 4: Utilize os conceitos de entropia e espontaneidade para explicar com o máximo de detalhes os seguintes fenômenos

Categoria: Aplicação do conceito de entropia para identificação de fenômenos	
Debate	a) O enferrujamento de um portão de ferro não galvanizado colocado em uma casa de veraneio na praia.
Turno	Fala
1	AL2: É uma reação de oxidação , dessa forma será espontâneo .
2	AL15: Oxidação do ferro. Processo espontâneo . Ocorre a entropia .
Debate	b) Uma amostra de açúcar em cubos é pulverizada utilizando um almofariz e pistilo.
Turno	Fala
1	AL5: Processo não espontâneo , pois através de uma ação externa pode-se chegar ao pó do açúcar, onde ocorre a desordem das moléculas de açúcar devido a esta ação . É um processo não espontâneo.
2	AL1: Na verdade elas estão bem agrupadas, aí quando ocorre a colisão através do almofariz e pistilo, ocorre a dissociação em partículas ainda menores.
3	P: A desordem é maior quando o açúcar está em cubos ou pulverizada?

4	AL5: Pulverizado. Pois quanto maior a desordem maior a entropia.
5	P: Mais alguém? Não.

Fonte: Autoria Própria (2018).

No item “a”, nos dois turnos apresentados os estudantes identificaram que no enferrujamento do portão de ferro ocorre uma reação de oxidação, espontânea, como uma ação natural, manifestação da zona perceptiva/intuitiva. No item “b”, no turno 2, AL1 identifica que antes da amostra de açúcar ser pulverizada, ou seja, reduzida a pó, as moléculas estão bem agrupadas e por meio de processos mecânicos, que no turno 1 AL5 vai chamar de ação externa, ao usar o almofariz e pistilo para pulverizar o açúcar, ocorre um aumento na desordem, em manifestação da zona intuitiva. No turno 4, AL5 afirma que a desordem é maior no açúcar pulverizado e justifica a que quanto maior a desordem maior é a entropia, considerando assim, que a desordem é maior no açúcar em pó, também em uma forma de falar associada ao modo de pensar da zona empírica.

O quadro 22 apresenta o quinto episódio, associado a pergunta sobre a interpretação dos conceitos termodinâmicos.

Quadro 22 – Episódio 5 – Pergunta 5: Como você interpreta a afirmação: “existe uma tendência a energia mínima e a entropia máxima em um sistema isolado”? Explique sua resposta em termos dos conceitos termodinâmicos (energia livre de Gibbs, entropia, temperatura, entropia, calor, trabalho)

Debate	Categoria: Interpretação dos conceitos termodinâmicos
Turno	Fala
1	AL15: Teria que fornecer calor para que a entropia fosse maior.
2	AL6: Sobre a entropia , um exemplo, a água tá na panela aí quando a água ferver, a água em estado gasoso ela só vai se expandir até um certo ponto, assim é, ali vai ter uma entropia máxima , até voltar a ser líquido de novo que vai diminuir a entropia .
3	P: Há alguma relação com ambiente fechado, aberto ou isolado?
4	AL13: Num sistema fechado, tem uma entropia máxima porque em relação a temperatura , quanto maior for a temperatura vai chegar um ponto em que essas moléculas vão estar tão expandidas que aquele espaço não vai ser mais suficiente. Por exemplo, uma panela de pressão se você deixar no fogo esquentando e não tirar a pressão algum momento ela vai explodir.

5	P: E em relação a organização das moléculas?
6	AL1: Pelo que entendi elas vão estar mais organizadas num sistema fechado, porque quando abrir o sistema vai haver uma desordem .
7	AL11: Em relação ao exemplo do colega sobre a panela de pressão temos que observar dois fatores, a pressão e a temperatura. E por isso o processo seria não-espontâneo .

Fonte: Autoria Própria (2018).

Os alunos conseguiram fazer a interpretação e identificação apenas sobre alguns conceitos termodinâmicos durante o debate: entropia (turnos 1, 2, 4 e 6), calor (turno 1) e temperatura (turno 7). Para entropia, os alunos conseguiram fazer uma abordagem mais propositiva em relação ao texto e as questões anteriores: nos turnos 1, 2, 4 e 6 identificamos a que a “desordem das moléculas é maior em um ambiente aberto e com o aumento da temperatura”, modo de pensar associada a zona empírica. No turno 7, AL11 identifica no exemplo do colega “dois fatores que leva uma reação a ser não espontânea, a pressão e a temperatura”. Também, pudemos perceber que não houve uma relação das respostas com o sistema isolado, e sim com sistemas fechado e aberto.

No quadro 23, temos o momento final do debate. Muitos estudantes afirmaram que sua visão sobre entropia e espontaneidade foi modificada pela leitura e debate sobre o texto (turno 1 e turno 2, AL6 e AL1 respectivamente).

Quadro 23 – Episódio 6 – Pergunta 6: Após a leitura do texto a sua visão sobre entropia e espontaneidade foi modificada? Como?

Debate	Categoria: Modificação dos conceitos
Turno	Fala
1	AL6: Sim. Foi modificada de maneira mais clara, porque eu lendo o livro é muita informação e eu não conseguia associar, aí esse momento foi bem esclarecedor.
2	AL1: Pra mim com certeza a linguagem foi bem esclarecedor.
3	AL5: A linguagem do texto deixou os conceitos mais claros, as teorias que a gente acabou vendo e revendo pra poder saber de novo.
4	AL1: Porque no livro é mais conceitual e aqui desta forma foi de uma maneira mais esclarecedora.
5	AL11: E até na hora que a gente debateu né, a gente pôde trazer significados para as situações cotidianas de entropia, processos irreversíveis e reversíveis ,

	espontaneidade e então a gente trouxe aquilo que era inicialmente um conceito para processos do nosso cotidiano e assim, ter um significado maior.
6	AL8: O problema do livro é a explicação matemática , aí quando vê dá um bloqueio, a pessoa não consegue entender, porque a pessoa já tem uma deficiência em matemática , aí a pessoa trava e acaba na entropia. E da forma como tudo foi conduzido deu pra entender.
7	P: Mais alguém? Não.

Fonte: Autoria Própria (2018).

No turno 5, o AL11 justificou que por meio das atividades, leitura e debate, aprendeu mais significados para as situações cotidianas que envolvem e relacionam a entropia e seus processos. No turno 3, AL5 ressalta que a linguagem do texto usado para o debate é clara, o que possibilita a revisar conteúdos antes vistos e associar com os novos.

Identificamos no turno 4 e 6 uma inquietação em relação a linguagem matemática acerca do conceito em foco abordado no livro utilizado por eles, e justificado pelas dificuldades de base que se torna mais difícil a compreensão dos conceitos por haver essa dificuldade em matemática. Desse modo, identificamos a presença da antiga zona formalista que compreende ideias que surgem a partir do uso de algoritmos e fórmulas matemáticas para a análise dos processos, sem que isso se traduza no entendimento das relações conceituais, e que hoje é parte integrante da zona racionalista.

No debate foi possível identificar a emergência de zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, como a empírica e perceptiva/intuitiva. Não houve, de maneira direta, a emergência da zona racionalista, porém, ao discutirem a abordagem matemática, essa zona aparece, mediante aspectos associados a antiga zona formalista, agora incorporada na zona mais científica para esse perfil. Assim, o debate proporcionou de maneira positiva a abordagem, relação e interação de conceitos bastante pertinentes e relevantes para os licenciandos, atribuindo significados as situações propostas nesse estudo.

5.3 Análise das Situações-Problema

Nessa análise, consideramos as situações-problema que foram construídas buscando abordar os conceitos de entropia e espontaneidade em diferentes contextos. Conforme descrito na metodologia, buscamos mapear os modos de pensar a partir da identificação das diferentes formas de falar explicitadas nas respostas dos estudantes.

As situações-problema foram disponibilizadas aos estudantes, que inicialmente foram divididos em 2 grupos de 9 alunos, totalizando 18 estudantes, com cada grupo recebendo as mesmas três situações-problema. Posteriormente, foi realizado um debate acerca das respostas de cada grupo.

O tempo de resolução para as respostas foi de 40 minutos. De uma forma geral, observamos a emergência de diferentes modos de pensar nas respostas dos licenciandos em Química, e partindo disso, caracterizamos as três zonas do perfil, mostrando a pluralidade do conceito de entropia e espontaneidade aplicada as situações do cotidiano.

A análise das respostas às situações-problema foi realizada de acordo com os padrões temáticos Lemke (1997), que estabelece relações semânticas de acordo com as interações discursivas. Posteriormente identificamos as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade que emergem nas respostas apresentadas para as situações-problema.

Baseado nas respostas às situações-problema dadas pelos estudantes, construímos quadros considerando os passos seguidos por Silva (2017): (1) identificação de trechos em que os conceitos de entropia e espontaneidade estão sendo expressados; (2) construção/identificação dos itens temáticos – termos da ciência e relacionados ao senso comum; (3) construção das relações semânticas estabelecidas entre cada um dos termos; (4) junção dessas relações semânticas em um padrão temático.

Vale ressaltar que, de acordo com Lemke (1997), um item temático é uma palavra (item simples) ou frase (itens condensados), usada para se falar de um tema particular (por exemplo entropia como sendo a desordem de um sistema). Desse modo, para facilitar a identificação dos itens temáticos, destacamos os trechos que estão relacionados ao domínio investigado, organizando as falas em quadros. Os nomes utilizados são fictícios.

Ao iniciar o momento de debate/explicação das ideias, a mediadora leu em voz alta cada situação-problema e orientou os estudantes na discussão. No Quadro 24 apresentamos as respostas dos alunos, que participaram dos grupos 1 e 2, para a primeira situação-problema, transcritas exatamente como respondido:

Quadro 24 – Sistematização das respostas dos alunos à situação-problema 1

ALUNOS GRUPO 1	RESPOSTAS
Pedro	<i>Bom a partir das nossas discussões, nós chegamos a seguintes conclusão: a partir da imagem infere-se que que modelo conceitual de entropia está</i>

	<i>relacionada com a desordem do sistema. Macroscopicamente temos que o sistema é a sala, e a desorganização do ambiente está relacionada com os arquivos espalhados, o piso de madeira quebrado, o lixo espalhado, e etc.</i> Mediadora: Mas alguém do grupo? (Risos)
Helena	<i>“Ou seja, a gente pode observar que o meio de pesquisa dele que é a entropia, tomou conta de tudo que está ao redor dele e a gente pode ver que toda a sala tá um verdadeiro caos, uma verdadeira desordem, ai foi isso que conseguimos relacionar ao termo entropia que esse era o departamento de entropia ou seja, a área de pesquisa dele com toda a sala, desde a porta até os papeis, tudo.</i> Mediadora: e sobre espontaneidade, é espontâneo, não espontâneo? <i>E essas coisas que aconteceram podemos dizer que foi um processo espontâneo, que assim, não sei a porta, porém a rachadura na parede, que pode ter sido com o tempo, é algo que caiu, os papeis que se desorganizaram, não foi ele que fez isso, de uma hora para outra, vai acontecendo com o tempo, num processo espontâneo.</i> Mediadora: (Alguém mais do grupo que dizer alguma coisa??? Não.
ALUNOS GRUPO 2	RESPOSTAS
Cecília	<i>A desordem do sistema (sala), O piso, parede, o vidro, porta, lixo, arquivo, relógio, mesa. Espontâneo, pois nota-se que alguns objetos são afetados pelo tempo.</i>
Rafael	<i>“Mas de fato podemos observar que existe processos que também contribuiu como o lixeiro derrubado, o telefone fora do gancho, a porta pode ter sido um processo que influenciou, mas de fato, mesmo assim ele teve que abrir para entrar pra sala.</i>
Mariana	<i>“Mostra também que a desordem afetou tanto que não foi na sala, afetou também nele que a gravata com o nó solto, os botões da camisa e até o cadarço dele está desamarrado”.</i>

	Mediadora: Então vocês estão me confirmando que a desordem é em todo o sistema, e não em locais pontuais. Inclusive na pessoa, existe a desorganização por isso que todo o ambiente é contemplado. Mais alguém? Nesse sentido, temos também que é característico da entropia, essa desordem, daí isso é provocado na charge através da desorganização do local e da pessoa como um reflexo de todo o sistema.
--	--

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir da transição da discussão relacionada com a situação-problema 1, foram identificados os itens temáticos e relações semânticas de cada grupo, conforme apresentamos na tabela 1:

Tabela 1 – Sistematização das relações semânticas presentes na fala dos estudantes da SP1 dos grupos 1 e 2

Grupos	Item temático	Relação semântica*	Item temático
Grupo 1	Entropia	Agente/processo	Desordem do sistema
	Entropia	Agente/processo	Sistema (sala)
	Entropia	Portador/atributo	Desorganização do ambiente
	Entropia	Classificador/coisa	Arquivos espalhados
Grupo 2	Entropia	Parte/todo	Desordem do sistema
	Entropia	Agente/processo	Sistema (sala)
	Entropia	Coisa/Classificador	Processo espontâneo
	Entropia	Portador/Atributo	Objetos afetados pelo tempo

*As denominações antes da barra (/) consistem no papel desempenhado pelo termo antecedente, seguido do papel desempenhado pelo termo subsequente na relação semântica.

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir da análise das respostas a situação-problema 1 dos grupos (quadro 25), é possível identificar os itens temáticos (em negrito): *Entropia*, *desordem (do sistema)*, *desorganização*, *sistema (sala)*, *processo espontâneo*.

Quadro 25 – Modos de pensar e zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade para as respostas da situação-problema 1 dos grupos

Modos de pensar	Zonas
<u>Resposta grupo 1.</u> <i>A partir da imagem infere-se que modelo conceitual de entropia está relacionada com a desordem do sistema. Macroscopicamente temos que o sistema é a sala, e a desorganização do ambiente está relacionada com os arquivos espalhados, o piso de madeira quebrado, o lixo espalhado, etc.</i>	Empírica
<u>Resposta grupo 2.</u> <i>A desordem do sistema (sala); o piso, parede, o vidro, porta, lixo, arquivo, relógio, mesa; espontâneo, pois nota-se que alguns objetos são afetados pelo tempo.</i>	Perceptiva/intuitiva

Fonte: Autoria Própria (2018).

Considerando os itens temáticos identificados nas falas dos estudantes tanto do grupo 1 como no grupo 2, eles conseguem fazer a relação de que a sala como um sistema está desorganizada, ou seja, tudo fora do lugar remetendo aos objetos que estão no local e a desorganização é identificada como uma ação espontânea que aconteceu durante um certo tempo. Foi possível identificar por meio das palavras destacadas em negrito a emergência da zona empírica na forma de falar do grupo 1 e a zona perceptiva/intuitiva no grupo 2.

No quadro 26 apresentamos as respostas dos alunos dos grupos 1 e 2 para a situação-problema 2, transcritas exatamente como no questionário por eles respondido:

Quadro 26 – Sistematização das respostas dos alunos a situação-problema 2

ALUNOS GRUPO 1	RESPOSTAS
Pedro	Inicialmente a mediadora esclareceu o problema e explicou o que representa cada imagem, em voz alta. ALUNO: “Como já foi falado inicialmente nós temos a paisagem natural que é uma jazida, depois ocorre a extração do minério e a fabricação da matéria prima, e o produto final disso tudo é a torre Eiffel. Ou seja, os conceitos de entropia estão relacionados que a paisagem natural nós temos uma entropia maior do que o produto final, porque justamente ocorre uma transformação

	<i>não espontânea porque tem a intervenção de um agente externo que nesse caso é o homem. Então a entropia ao longo dessas imagens vai diminuindo porque ocorre uma organização, já que inicialmente nós temos a desorganização total da paisagem natural do universo. E por fim nós temos que foi feita uma série de etapas em que houve a organização de todo esse material para gerar um produto”.</i>
Helena	<i>“Que o homem foi o grande responsável para tornar a partir da jazida até chegar a torre Eiffel. Então, a gente vê como um processo não espontâneo.</i> Mediadora: É uma transformação química ou física? Alunos respondem: “Física”.
ALUNOS GRUPO 2	RESPOSTAS
Rafael	Aluno: “Podemos observar que é uma transformação física da matéria. Logo... (inaudível). Também de fato olhando as imagens individualmente, a primeira jazida e a terceira, o ferro, é um processo espontâneo... (inaudível)”. Mediadora: Então os dois grupos afirmam que ocorre a intervenção humana numa organização do sistema desde o início, e os processos não são espontâneos.
Davi	Aluno: Trecho inaudível

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir da transição da discussão relacionada com a situação-problema 2, foram identificados os itens temáticos e relações semânticas de cada grupo, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Sistematização das relações semânticas presentes na fala dos estudantes da SP2 dos grupos 1 e 2

Grupos	Item temático	Relação semântica*	Item temático
Grupo 1	Jazida	Portador/atributo	Entropia do universo
	Jazida	Coisa/Classificador	Aumento (extração, matéria –prima, produto)

Grupo 2	Agente externo (homem)	Portador/atributo	Realização (Trabalho)
	Organização do ambiente	Agente/processo	Processo não espontâneo reversível
	Entropia	Agente/processo	Diminui (ação do homem)
	Entropia	Agente/processo	Processo não – espontâneo
	Processo não - espontâneo	Coisa/classificador	Transformação retira
	Transformação retira	Coisa/classificador	Transformação física
	Transformação física	Agente/processo	Transformação Química (Oxidação do metal)

*As denominações antes da barra (/) consistem no papel desempenhado pelo termo antecedente, seguido do papel desempenhado pelo termo subsequente na relação semântica.

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir da análise das respostas a situação-problema 2 dos grupos, no quadro 27, é possível identificar os itens temáticos (em negrito): *Entropia do universo tende a aumentar, influência de um agente externo (O homem), realizando trabalho, organização do ambiente, processo não – espontâneo irreversível, ação do homem, processo não espontâneo e transformação.*

Quadro 27 – Modos de pensar e zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade para as respostas da situação-problema 2 dos grupos

Modos de pensar	Zonas
<u>Resposta grupo 1.</u> Inicialmente temos a paisagem natural, uma jazida em que a entropia do universo tende a aumentar , seguindo as imagens temos a extração do minério, a matéria – prima e por fim o produto, desta forma ocorre a influência de um agente externo (O homem) realizando trabalho sobre o meio fazendo com que se tenha uma organização do ambiente e, portanto, é um processo não – espontâneo irreversível .	Empírica e Perceptiva/intuitiva

Resposta grupo 2. Ao longo do tempo a entropia diminui conforme a ação do homem , logo não é espontâneo , pois a transformação é retida. A transformação é física, mas a oxidação do metal é química.	Perceptiva/intuitiva
---	----------------------

Fonte: Autoria Própria (2018).

A relação existente por meio da identificação desses itens temáticos ocorre devido a organização dos processos, promovida pela ação humana (já que o homem pode mudar o mundo), com sua capacidade de realizar trabalho (ação humana) e organizar o sistema por meio da transformação. Logo, o processo desde a extração do minério até o produto final é não-espontâneo, já que o homem é o responsável por todo percurso. Outro sentido, o “**processo não espontâneo irreversível**” é aquele que possui um sentido preferencial no tempo, não havendo meios de serem executados no sentido temporal contrário. Logo, se as moléculas estão mais espalhadas, quer dizer que **o sistema está mais desorganizado**. Desse modo, ocorreu um **aumento da entropia** do sistema.

A partir dos itens temáticos identificados, é possível ver a emergência das zonas do perfil conceitual em cada grupo. No grupo 1, consideramos o discurso híbrido, podendo ser identificada a zona empírica, quando o grupo diz que a “**entropia do universo tende a aumentar**”, e zona perceptiva/intuitiva “**influência de um agente externo (O homem) realizando trabalho sobre o meio fazendo com que se tenha uma organização do ambiente e, portanto, é um processo não – espontâneo irreversível.**”

No quadro 28 apresentamos as respostas dos alunos dos grupos 1 e 2 para a situação-problema 3, transcritas exatamente como no questionário por eles respondido:

Quadro 28 – Sistematização das respostas dos alunos a situação-problema 3

ALUNOS GRUPO 1	RESPOSTAS
Davi	“Bom chegamos à conclusão assim, é necessário abastecer o veículo que o combustível vai funcionar como uma fonte de várias energias através de um processo físico que ocorre no motor que é o trabalho, aí parte dessa energia vai ser consumida. E o que faz o carro se movimentar é a outra parte que pode ser vista no segundo assunto que não se tem eficiência, é isso que ocorre que parte da energia se perde. Por isso, que ele tem que abastecer porque a energia tem várias... (inaudível).

Helena	<i>“A gente pode comparar também que não é uma máquina perfeita, então não pode continuar fazendo aquele ciclo, ou seja, se fosse uma máquina perfeita a gente colocaria gasolina uma vez e ali ficaria em um ciclo introduzindo 100%. Mas como a gente vê o carro libera digamos assim, pelo cano de escape que é liberada uma quantidade, a outra quantidade é dissipada em forma de calor no motor e também várias formas que a gente pode dizer que perdemos esse tipo de energia, seja para o ambiente ou para o funcionamento interno, etc.”</i>
Lúcio	<i>“É porque dentro do carro ocorre a transformação da energia térmica na energia cinética, no caso é a queima do combustível que faz com que a energia cinética seja criada e o carro entre em movimento”.</i>
ALUNOS GRUPO 2	RESPOSTAS
Cecília	<i>ALUNO: “A transformação é microscópica também justifica quando fala da queima do combustível, onde as moléculas que formam o combustível em si elas são excitadas e no caso são consumidas justamente para poder haver o trabalho”.</i>
Rafael	<i>“A parte macroscópica poderia ser de fato todo é desde início coloca o combustível que a gente vai observando pelas partes do relógio, que a gente acha que está sendo consumido, ou seja, é a parte macroscópica de fatos básicas. E a microscópica seria a queima que é utilização do combustível não sendo 100% suficiente, porque ao liberar CO₂, e o CO₂ é fonte de energia que mesmo assim a gente faz a liberação do escapamento do carro, aí por isso essa energia”.</i>
Lêda	<i>“A energia só vai se conservar se o motor do carro estiver ligado”.</i>

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir da transição da discussão relacionada com a situação-problema 3, foram identificados os itens temáticos e relações semânticas de cada grupo (tabela 3).

Tabela 3 – Sistematização das relações semânticas presentes na fala dos estudantes da situação-problema 3 dos grupos 1 e 2

Grupos	Item temático	Relação semântica*	Item temático
Grupo 1	Fonte de energia primária (combustível)	Todo/Parte	Consumo
	Consumo	Agente/processo	Impossibilidade de realizar trabalho
	Impossibilidade de realizar trabalho	Agente/processo	Conversão de energia primária
	Conversão de energia primária	Agente/processo	Energia cinética
	Energia cinética	Agente/processo	Processo de exaustão e combustão
Grupo 2	Conservação da energia	Agente/processo	Macroscópico
	Macroscópico	Coisa/ classificador	Energia transformada em trabalho
	Energia transformada em trabalho	Agente/processo	Processo irreversível
	Processo irreversível	Portador/atributo	Gasto do combustível
	Gasto do combustível	Agente/processo	Microscópico
	Microscópico	Agente/processo	Reação de combustão no sistema
	Reação de combustão no sistema	Parte/todo	Queima de combustível
	Queima de combustível	Agente/processo	Moléculas excitadas e consumidas

*As denominações antes da barra (/) consistem no papel desempenhado pelo termo antecedente, seguido do papel desempenhado pelo termo subsequente na relação semântica.

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir da análise das respostas a situação-problema 3 dos grupos, apresentada no quadro 29, é possível identificar os itens temáticos, em negrito: *Energia*, *conservação de*

energia, combustível, energia cinética, macroscópico, microscópico, combustão do sistema, moléculas, trabalho.

Quadro 29 – Modos de pensar e zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade para as respostas da situação-problema 3 dos grupos

Modos de pensar	Zonas
<u>Resposta grupo 1.</u> <i>É necessário abastecer o veículo, visto que, a fonte de energia primária (combustível) foi consumida impossibilitando o automóvel de realizar trabalho. Desta forma como há conservação da energia, a realização de trabalho possibilita a conversão de energia primária do combustível é convertida em energia cinética, a partir dos processos de exaustão, combustão e etc.</i>	_____
<u>Resposta grupo 2.</u> ➤ <i>A energia só se conserva se o motor estiver ligado;</i> ➤ <i>Macro: a energia é transformada em trabalho, o que é irreversível durante o gasto de combustível;</i> ➤ <i>Micro: a reação de combustão no sistema. O que ocorre na queima de combustível, onde as moléculas são excitadas e consumidas.</i>	_____

Fonte: Autoria Própria (2018).

Para o grupo 1, a relação identificada demonstra que é preciso reabastecer o carro, pois o combustível é uma fonte de energia primária, e sem ela o automóvel seria impossível de realizar trabalho. Desta forma, o trabalho estaria relacionado a energia cinética, a partir do processo de combustão que acontece no automóvel. Para o grupo 2, a energia só se conserva caso o motor esteja ligado, pois de acordo com a visão macroscópica o processo é irreversível, pelo fato da energia ser transformada em trabalho à medida que o automóvel está em movimento.

Para as respostas da SP3 não inferimos a emergência de nenhuma zona do perfil conceitual, pois não houve a relação com o conceito de entropia e espontaneidade: os estudantes apenas responderam sobre os processos que ocorrem no motor de um carro e que envolviam outros conceitos da termodinâmica, como trabalho, energia e combustão, ou seja, havendo uma valorização do conhecimento escolar, mas evitando a utilização do conceito de entropia.

Portanto, para cada situação-problema foi possível identificar os padrões temáticos de acordo com os modos de pensar, bem como, para as duas primeiras, verificar a emergência das zonas do perfil conceitual, como a **zona perceptiva/intuitiva**, que exprime a ideia de naturalidade na ocorrência dos fenômenos, e a **zona empírica**, relacionada a consideração das condições para ocorrência. Para esta análise não foi possível identificar a **zona racionalista**, que exprime o formalismo matemático e a interpretação mais profunda da entropia e da espontaneidade. Identificamos modos de pensar diferentes que emergem na mesma resposta, caracterizando hibridismo (ARAÚJO, 2014; DINIZ JÚNIOR, SILVA e AMARAL, 2015).

5.4 Análise da Aula Experimental

O debate acerca da aula experimental foi transcrito na íntegra e organizado de maneira lógica e sequencial, respeitando as falas dos participantes. A partir deste material foram selecionados episódios, em que emergiram uma ou mais formas de falar sobre o conceito de entropia. Alguns dos resultados em relação ao debate estão apresentados a partir dos direcionamentos de análise descritos na metodologia desse trabalho.

Os episódios estão apresentados por turnos de fala para organizar as interações ocorridas em cada grupo de sujeitos. Como já mencionamos, nessa apresentação de dados criamos uma ordenação por turno, com informações sobre o sujeito e sua fala. Os grupos são identificados da seguinte forma: grupo 1 (AL1, AL2, AL3, AL4, AL5) grupo 2 (AL6, AL7, AL8, AL9, AL10) grupo 3 (AL11, AL12, AL13, AL14) e grupo 4 (AL15, AL16, AL17, AL18). O roteiro com as perguntas foi entregue e após 40 minutos iniciamos o debate considerando as respostas de cada grupo.

A seguir, estão descritos os modos de pensar e as formas de falar dos grupos de licenciandos sobre cada experimento.

5.4.1 Modos de pensar dos licenciandos sobre o Experimento I: Influência da temperatura na velocidade da reação

Foi possível identificar nas respostas dos grupos referente a pergunta 1 (quadro 30), conceitos já existentes com os destacados nos textos e não sendo possível identificar a emergência de modos de pensar sobre o conceito de entropia e espontaneidade.

Quadro 30 – Resposta à pergunta 1: Em qual copo, consequentemente em qual temperatura o comprimido se dissolveu mais rápido? Por que?

Grupo 1	O comprimido se dissolveu mais rápido na água quente (morna), pois quanto maior a temperatura maior a velocidade da reação.
Grupo 2	No copo 3, com água quente porque com a agitação térmica das moléculas o processo foi acelerado, devido ao aumento da temperatura.
Grupo 3	No copo em que estava contida a água quente. Porque neste caso o ganho de calor pelo sistema faz com que haja a quebra das ligações (moléculas) que compõe o comprimido efervescente com maior facilidade.
Grupo 4	3. Água morna. Temperatura mais elevada, devido ao grau de agitação é maior.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Nos seguintes trechos destacados como “quanto maior a temperatura maior a velocidade da reação” (grupo 1 e 4); “agitação térmica e quebra das moléculas” (grupo 2 e 3) é verificado uma predominância de uma linguagem que remete a uma ideia de valorização de outros conceitos, do que o conceito em foco que é a entropia. Mesmo apresentando alguns termos científicos nas respostas, os estudantes falam da espontaneidade do processo mais no sentido usual em relação a agitação das moléculas, mas sem a preocupação em associar os conceitos.

Identificamos nas respostas dos grupos referente a pergunta 2, quadro 31, que apenas o grupo 1 manifestou ideias associadas a zona empírica, ao relacionar a entropia como “agente de transformação, ou seja, quanto maior a temperatura maior desordem”. Nos demais grupos não foi possível identificar a presença de nenhuma zona, pois aparentemente eles buscam explicar as situações utilizando outros conceitos como: temperatura, agitação das moléculas e calor. Inferimos que o motivo está relacionado a falta de segurança ao falar sobre o conceito de entropia e suas relações.

Quadro 31 – Resposta à pergunta 2: Com o aumento da temperatura o comprimido efervescente decompõe-se mais rápido? Por que?

Grupo 1	Quanto maior a temperatura maior a desordem, com isso maior a entropia.
Grupo 2	Sim, porque o aumento da temperatura acelera o processo de decomposição.
Grupo 3	Sim, porque quanto maior o ganho de calor pelo sistema , mais facilmente ocorre a quebra das ligações (moléculas) que compõe o comprimido.
Grupo 4	Sim.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Considerando a pergunta 3, no quadro 32, todos os grupos identificaram o processo 3 (água quente), apresentando ideias associadas a zona empírica nas respostas. Apenas o grupo 1 e 3 se preocuparam em explicar a relação com a entropia, ou seja, com a desordem no sistema que instantaneamente dissolveu o comprimido efervescente. Desse modo, é identificada a relação entre os conceitos de entropia e desordem do sistema, mas utilizando uma linguagem mais próxima a ideias do senso comum.

Quadro 32 – Resposta à pergunta 3: Em qual dos três processos possuem uma maior desordem?

Grupo 1	A maior desordem é observada no recipiente 3 (quente).
Grupo 2	Na água morna.
Grupo 3	Instantaneamente a maior desordem estava relacionada com o copo que continha água quente , pois o comprimido dissolveu-se instantaneamente . Porém, após isso, a desordem continuou nos copos de água a temperatura ambiente e na água gelada.
Grupo 4	3.

Fonte: Autoria Própria (2018).

5.4.2 Modos de pensar dos licenciandos sobre o Experimento II: Mistura de tinta com água

Na pergunta 1, conforme o quadro 33, não foi possível identificar nas respostas dos grupos nenhuma zona.

Quadro 33 – Resposta à pergunta 1: Qual fenômeno podemos observar neste processo? Por que?

Grupo 1	Processo físico , porque pode ser revertido.
Grupo 2	Fenômeno químico , porque houve mudança na estrutura molecular das tintas.
Grupo 3	Fenômeno irreversível , pois trata de uma transformação química , onde não podemos retornar para a forma inicial, no caso a água e os tipos de tinta separados.
Grupo 4	Processo físico em relação a mistura de líquidos. Processo químico , a mistura das tintas.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Os estudantes identificaram os processos como sendo físicos, podendo ser revertido. Nas respostas dos grupos 2 e 3 identificamos a zona empírica: ambos afirmam que o processo é químico havendo uma mudança na estrutura molecular, sendo assim um processo irreversível.

Partindo disso, podemos perceber uma preocupação em associar e relacionar os conceitos como transformação química e irreversibilidade.

Na pergunta 2, quadro 34, obtivemos respostas apenas dos grupos 1 e 2. O grupo 1 justificou que é possível reverter o processo de separação das tintas e ainda apresenta duas técnicas de separação, a destilação simples e a cromatografia, demonstrando um conhecimento científico sobre o conceito. O grupo 2 afirma não ter como reverter o processo, que é irreversível, pois ocorre que adicionar tintas a água apenas aumentará a quantidade de reagente na reação.

Quadro 34 – Resposta à pergunta 2: Ao adicionar as tintas na água, temos como reverter o processo? Justifique

Grupo 1	Sim, através de destilação simples e cromatografia .
Grupo 2	Não. Porque o processo é irreversível , ao adicionar tinta apenas aumentará a quantidade de reagente na reação.
Grupo 3	Não.
Grupo 4	Não respondeu.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Para ambos os grupos, não foi possível identificar nenhuma zona, pois não houve utilização dos conceitos de entropia e espontaneidade, apenas utilizaram o conceito de reversibilidade de uma reação química e as técnicas para separação de misturas.

Podemos identificar nas respostas a pergunta 3, quadro 35, que para o grupo 1 a mistura das tintas com água representa um processo reversível desde o início do experimento. O grupo 2 chama esta mistura de homogeneização, porque a medida que o tempo passa, a mistura se torna homogênea. Os grupos 3 e 4 concordam que a mistura das tintas com a água representa a desordem, e o segundo completa que além da desordem, ocorre a influência da densidade das tintas que se misturam aos poucos, tornando assim o processo irreversível. É identificado apenas no grupo 3 a manifestação da zona empírica, ao considerar que a “mistura das tintas representa a desordem, e ao continuar se misturando o grau de desordem aumenta.”

Quadro 35 – Resposta à pergunta 3: O que representa a mistura das tintas na água?

Grupo 1	Processo reversível.
Grupo 2	Representa um processo de homogeneização porque com o tempo a cor da água ficará uma só.

Grupo 3	A mistura das tintas representa a desordem , ou seja, a medida que adicionamos a tinta, o grau de desordem aumenta .
Grupo 4	Uma desordem também . Só que cada tinta possui uma densidade diferente e aos poucos vão se misturando, tornado assim um processo irreversível .

Fonte: Autoria Própria (2018).

Portanto, a análise dos grupos em relação aos experimentos foi bem propositiva e participativa, mostrando assim, um conhecimento sobre os conceitos abordados como temperatura, calor, transformação dos processos, separação de misturas dentre outros que foram vistos pelos estudantes no ensino Médio. Porém, foi identificado que os licenciandos evitam usar o conceito de entropia, preferindo outros que tem maior familiaridade, isso foi percebido na maioria das respostas que não foi identificada nenhuma zona do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, porque acreditamos que os estudantes não se preocuparam em responder com base nos conceitos em foco, por mais que a pergunta remeta ao conceito de entropia, e alguns grupos como no experimento I, grupo 1 pergunta 2 e experimento II, grupo 3 pergunta 2 conseguiram identificar a zona empírica. Nesse sentido, acreditamos que existe uma dificuldade ao abordar o conteúdo de entropia e espontaneidade pelos estudantes.

5.4.3 Análise dos Episódios Referentes ao Debate sobre os Experimentos

As falas dos estudantes durante o debate acerca dos experimentos, etapa final da sequência didática, foram divididas em episódios, após transcrição. No total estavam presentes 18 alunos, que foram divididos em 2 grupos de 5 alunos e dois grupos de 4 alunos. Posterior a realização do experimento, todos os alunos tiveram que responder as perguntas do roteiro. Para o debate solicitamos aos alunos que fizessem um círculo.

A pesquisadora realizou inicialmente a leitura dos experimentos em voz alta, e posteriormente leu as perguntas e orientou os grupos em relação ao momento de falar. Para descrever os resultados do debate os participantes envolvidos foram identificados da seguinte forma: aluno (AL), pesquisadora (P). Para cada quadro foi criado uma categoria de acordo com o conceito que estava sendo abordado.

Experimento I: Influência da temperatura na velocidade da reação

Considerando o episódio 1 dos debates, no quadro 36, todos os grupos conseguiram identificar que foi no copo 3 que o comprimido se dissolveu mais rápido, confirmada por meio

do tempo por eles cronometrado. O tempo gasto para dissolver o comprimido na água a uma temperatura maior em torno de 35°C a 40°C foi o menor.

Quadro 36 – Episódio 1 – Pergunta 1: Em qual copo, consequentemente em qual temperatura o comprimido se dissolveu mais rápido? Por que?

Aula experimental	Categoria: Velocidade das reações
Turno	Fala
1	P: Grupo 1
2	AL1: O comprimido se dissolveu mais rápido no copo com a temperatura de 40°C (água quente), bem rápida e violenta a reação (risos).
3	AL2: Porque quanto maior a temperatura, maior é a velocidade de reação.
4	P: Qual outro conceito que podemos observar?
5	AL2: A desordem foi maior né, em relação a temperatura da água gelada e da água fria (temperatura ambiente).
6	P: Grupo 2
7	AL6: Copo 3, água quente, aí a gente chegou ao consenso de que por causa da agitação das moléculas o processo foi acelerado e que a temperatura contribuiu para um aumento da velocidade da reação da cinética.
8	P: Introdução do conceito sobre cinética.
9	P: Grupo 3
10	AL11: No copo que tinha água quente, copo 3. Ele foi o mais rápido, passou acho que uns 30s e alguns milésimos, e para observar a entropia a gente viu que esse copo de água quente no instante que a gente colocou o comprimido a entropia era maior , mas depois de um tempo ficava normal, ficava em equilíbrio. Já os outros copos, eles ainda passavam algum tempo mesmo depois de dissolver com alguns borbulhinhos (sinal com as mãos).
11	AL12: Continuavam se dissolvendo ainda, o outro (copo 3) dissolveu total em instantes, e os outros continuavam demasiadamente aos poucos para continuar se dissolvendo.

12	P: Grupo 4.
13	AL15: Copo 3, água quente, porque quanto maior a temperatura, maior é a desordem.
14	P: Todos os grupos identificam a desordem através do aumento da temperatura?
15	T: Sim.
16	P: Alguém mais quer falar?
17	AL12: Eu acho que na questão da água quente a desordem foi instantânea , agora que foi observado também que na água gelada dava para ver que a desordem continuou de modo mais lento né, dava para ver que continuava a desordem . Chegou um momento que na água quente a desordem parou né, e na água gelada continuava ainda.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Os licenciandos conseguiram relacionar que o fenômeno que estava acontecendo era devido a temperatura da água em cada copo, pois ao liberar gás ou borbulhar, as moléculas estão mais agitadas. E assim, a medida que a temperatura muda, a reação se tornava mais rápida ou mais lenta.

A discussão entre o debate foi bem propositiva na abordagem dos conceitos, como no caso do turno 7, em que AL6 trouxe o conceito de cinética justificando a causa da agitação das moléculas, por meio da aceleração do processo e que a temperatura contribuiu para um aumento da velocidade da reação. No turno 10, AL11 identifica a entropia como grau de desordem ao “observar o copo de água quente no instante que foi colocado o comprimido a entropia era maior” manifestando assim uma zona empírica.

Considerando o episódio 2 do debate, no quadro 37, observamos que os licenciandos identificam a partir do tempo que com o aumento da temperatura, o comprimido efervescente decompõe-se mais rápido, devido ao grau de agitação das moléculas que é maior na temperatura alta, sendo observado pela liberação de um gás ou borbulhamento.

Quadro 37 – Episódio 2 – Pergunta 2: Com o aumento da temperatura o comprimido efervescente decompõe-se mais rápido? Por que?

Aula experimental	Categoria: Influência da temperatura na velocidade de uma reação
Turno	Fala

1	P: Grupo 1
2	AL1: Sim. Dissolveu bem mais rápido em 34 s.
3	P: Então vocês perceberam que numa temperatura maior o comprimido se dissolveu mais rápido?
4	AL3: Sim.
5	P: E em relação a desordem ?
6	AL3: Foi bem maior.
7	P: Houve influência da temperatura na desordem?
8	AL2: sim
9	P: Como conseguiram identificar?
10	AL4: A medida que foi aumentando a temperatura , ou seja, houve uma desordem maior (inaudível).
11	AL3: Tornando a reação no final mais rápida.
12	P: Ocorreu uma organização ou desorganização no sistema?
13	AL3: Desorganização. Através da rapidez, pois quando a gente colocou o comprimido a dissolução foi bem rápida. Praticamente instantânea , já nos demais foram lentos, ou seja, liberando gás, borbulhando.
14	P: Grupo 2
15	AL6: Sim. No nosso se dissolveu em 37,24s, ou seja, esse aumento da temperatura faz com que acelere o processo de decomposição do comprimido.
16	P: Grupo 3
17	AL11: Sim. O da gente se dissolveu em 30, 51s, porque a gente viu que quanto maior o ganho de calor pelo sistema , mais facilmente ocorre a quebra das ligações que compõe o comprimido.
18	P: Grupo 4
19	AL15: Sim. O tempo foi de 43s para se dissolver totalmente, porque o grau de agitação e maior numa temperatura maior.

Fonte: Autoria Própria (2018).

No turno 13, identificamos na fala de AL13 a ideia de que existe um grau de desorganização associada a reação mais rápida, prevalecendo assim a desordem do sistema. No turno 17, AL11 aborda que quanto maior o ganho de calor (aumento de temperatura) pelo sistema, mais facilmente ocorre a quebra das ligações que compõe o comprimido, e por isso

acaba se dissolvendo mais rápido. No turno 19, AL15 se preocupa em evidenciar a desordem, mas a entropia acaba não sendo identificada como foco principal na relação entre o aumento da entropia com o aumento da desordem, assim ocorre a manifestação da zona empírica.

Considerando o episódio 3, apresentado no quadro 38, é possível observar que todos os grupos identificam o copo 3 (água morna), como sendo aquele em que o processo gerou maior desordem, devido a rapidez do processo, ou seja, uma maior efervescência. É no estado gasoso que a desordem é maior, devido a agitação das moléculas.

Quadro 38 – Episódio 3 – Pergunta 3: Em qual dos três processos possuem uma maior desordem?

Aula experimental	Categoria: Identificação dos processos através da desordem
Turno	Fala
1	P: Grupo 1
2	AL3: 3. Por causa da rapidez da reação .
3	P: Grupo 2
4	AL6: Copo 3. Ocorreu de maneira muito rápida
5	P: Grupo 3
6	AL11: Até observando visivelmente né, ela foi a que mostrou uma maior efervescência instantaneamente.
7	P: Grupo 4
8	AL15: Por causa da rapidez também.
9	P: Mais alguém quer falar? Não. Então vamos seguir para o experimento 2.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Experimento II: Mistura de tinta com água

Considerando o episódio 4, no quadro 39, observamos uma divisão de opiniões, pois houve dúvida em relação a mistura das tintas na água, visto que cada grupo utilizou 3 tintas de cores diferentes, ou seja, as tintas na verdade eram a base de corantes comestíveis e foi dito isso aos grupos na orientação antes do experimento.

Quadro 39 – Episódio 4 – Pergunta 1: Qual fenômeno podemos observar neste processo? Por que?

Aula experimental	Categoria: Identificação dos fenômenos físico ou químico
Turno	Fala
1	P: Grupo 1
2	AL2: Processo físico , porque pode ser revertido .
3	P: Grupo 2
4	AL6: A gente observou um fenômeno químico .
5	P: Por que?
6	AL6: Porque de acordo com a mistura, assim, a gente primeiro colocou a tinta amarela e depois colocou a azul, aí não deu pra ver.
7	P: Grupo 3
8	AL13: A gente também colocou que é uma transformação química , porque a partir do momento que as cores são colocadas na água, não tem como reverter o processo , pelo menos não que eu conheça alguma técnica que seja utilizada para fazer com que as cores sejam separadas novamente e a água retorne a ser incolor.
9	P: Grupo 4
10	AL16: Processo físico em relação a mistura dos líquidos e processo químico referente as misturas das tintas , porque como o colega falou não conheço nenhum processo que possa reverter. Seria reversível se fosse separar os líquidos no caso a água e as tintas, mas não teria como separar as tintas, é isso.
11	P: Então temos aqui uma divisão de opiniões (Risos). Seguimos para próxima pergunta.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Os grupos 1 e 4 colocaram que o processo é físico, porque pode ser revertido, e em relação a mistura dos líquidos, a água e as tintas, ambas são líquidas. Os grupos 2 e 3 colocaram que a transformação é química, pois quando as tintas se misturam não tem como separar. Nesse sentido, o fenômeno é visto como toda transformação que ocorre com a matéria, e pode ser assim classificado em físico ou químico. A definição de fenômeno químico é aquela que ocorre com a formação de novas substâncias como, a combustão que transforma uma substância em outra, com diferentes propriedades químicas.

Os grupos 3 e 4 citam que não conhece nenhuma técnica que faça a separação das tintas da água. Mais uma vez não foi possível relacionar as respostas dos licenciandos com o conceito de entropia.

Considerando o episódio 5 (quadro 40), foi observada uma relação de conhecimento científico e o de utilização e/ou aplicação desse conceito em situações escolares e cotidianas, o que gerou uma discussão acerca de algumas técnicas de separação de misturas citadas como uma suposta separação da então mistura (tintas e água).

Quadro 40 – Episódio 5 – Pergunta 2: Ao adicionar as tintas na água, temos como reverter o processo? Justifique

Aula experimental	Categoria: Reversibilidade dos processos
Turno	Fala
1	P: Grupo 1
2	AL2: Sim. Eu acho que através de uma destilação simples ou uma cromatografia .
3	P: Introdução das técnicas de separação de mistura.
4	P: Grupo 2
5	AL6: A gente colocou que é irreversível, porque não tem como separar , porque ao adicionar tinta a gente só vai está adicionando tinta ao reagente na solução, aí não tem como reverter por causa disso, tem que ser outro processo.
6	P: Grupo 3
7	AL11: Eu acho que pode separar tipo, todas as tintas da água, porém, para separar tinta por tinta, cor por cor não.
8	P: Grupo 4
9	AL17: Separar de modo específico acho que não, cada cor. A gente pode visualizar a água da tinta, mas cada cor separada não.
10	AL18: A gente pode utilizar um processo de centrifugação .
11	P: Como seria?
12	AL18: Ia separar a água das tintas.
13	P: Vamos para próxima pergunta.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Dentre as possibilidades de separação desta mistura, o grupo 1 diz que as técnicas de destilação simples ou cromatografia separaria a mistura, e o grupo 4 diz que pode ser utilizado uma centrifugação, apesar de ressaltar que não é possível separar cor por cor. Nesse sentido, temos uma mistura de líquidos, em que deveria ser observado se o processo é homogêneo ou heterogêneo, visto que as tintas eram comestíveis e a orientação foi colocar a mesma quantidade das 3 tintas na água.

Partindo disso, não podemos inferir se é um erro conceitual ao misturar os conceitos de tipos de separação de misturas e seus respectivos estados físicos. Então, sabemos que na destilação fracionada ocorre a fase líquido-líquido, e na destilação simples, sólido-líquido. No caso da cromatografia, que é um método que se baseia na polaridade das moléculas, pode ser realizada análise líquida ou gasosa. Portanto, os licenciandos conseguem identificar a mistura como um processo que pode ou não ocorrer a separação dos componentes, mas acabam se confundindo ao tentar identificar as técnicas de separação mais adequada. Mais uma vez não percebemos a utilização do conceito de entropia para explicar a situação.

Por fim, no quadro 41 apresentamos o sexto episódio desse debate.

Quadro 41 – Episódio 6 – Pergunta 3: O que representa a mistura das tintas na água?

Aula experimental	Categoria: Representação do processo
Turno	Fala
1	P: Grupo 1
2	AL2: Processo reversível de acordo com a densidade , porque quando a gente colocou a vermelha, a azul e a amarela, a vermelha predominou intensamente.
3	P: Grupo 2
4	AL6: A gente colocou que houve um processo de homogeneização , porque com o tempo elas ficam de uma cor só com a mistura das tintas, e o processo é irreversível .
5	P: Grupo 3
6	AL12: Tem essa parte da densidade que ficou bem claro (inaudível).
7	AL11: Observamos também a desordem .
8	P: Grupo 4

9	AL18: Observamos como o grupo anterior a desordem também. Porém, em relação a densidade observamos que cada tinta tem uma densidade diferente porque uma ficou em baixo, outra no meio e outra em cima. Porém, como o grupo 1 falou é aos poucos, sem precisar fazer nenhum tipo de agitação, as tintas automaticamente foram se misturando por questão de segundos e o processo seria irreversível .
10	P: Tem como observar algo relacionado a espontaneidade do processo?
11	P: Grupo 1
12	AL1: Em relação a espontaneidade , quando vai adicionando as tintas espontaneamente atinge todo o recipiente.
13	P: Grupo 2
14	AL9: Espontaneamente todas as tintas vão se misturando.
15	P: Grupo 3
16	AL11: Concordo com os outros grupos né, a gente só pode acelerar quando a gente mistura e fica uma mistura homogênea , então aí passou de um processo espontâneo , e acelerou um pouco mais esse processo.
17	P: Grupo 4
18	AL15: Então como os grupos falaram ao adicionar as tintas na água elas foram se misturando.
19	P: Mais alguém tem algo a acrescentar?

Fonte: Autoria Própria (2018).

Observamos que em relação a representação do processo das tintas na água, o grupo 1 mantém que o processo é reversível de acordo com a densidade das tintas, com a cor vermelha predominou em relação a outras. O grupo 2 cita que houve um processo de homogeneização (acaba ficando apenas uma cor quando todas são misturadas) e o processo é irreversível. O grupo 3, concorda com o grupo 1 em relação a densidade das tintas, mas diz que o processo é uma desordem devido a mistura das tintas. O grupo 4 identifica a desordem também, porém afirma que em relação a densidade cada tinta tem uma densidade diferente, porque uma ficou em baixo, outra no meio e outra em cima, e sem fazer nenhum tipo de agitação, as tintas automaticamente foram se misturando rapidamente e o processo seria irreversível.

Por fim, os licenciandos afirmam que o fato das tintas se misturarem na água, vai se tornando um processo espontâneo e a mistura se torna homogênea, observando assim uma mistura de cores.

Novamente os licenciandos não falaram sobre entropia e sim sobre outros conceitos em destaque no texto como: densidade, mistura homogênea e espontaneidade. No turno 7 o estudante AL11 fala em desordem, mas não faz associação ao conceito de entropia diretamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral dessa pesquisa foi analisar a emergência das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e o processo de conceituação por parte dos estudantes envolvidos na aplicação de uma sequência didática. Assim, a proposta desta pesquisa veio com intuito de analisar e mapear as formas de falar sobre o conceito de entropia nas atividades propostas na sequência didática, relacionando os conceitos de entropia e espontaneidade, de difícil compreensão pelos alunos e assim, contribuir na formação dos licenciandos em Química.

Como metodologia, foi proposto trabalhar a resolução de um questionário, leitura de textos e debates, principais ideias de um filme, resolução de situações-problema e aula experimental seguida de debate sobre os experimentos.

A análise dos modos de pensar e das formas de falar dos estudantes nas atividades realizadas na sequência didática indicou uma possível falta de segurança dos estudantes ao trabalhar com os conceitos de entropia e espontaneidade. Muitas vezes os estudantes acabavam não falando sobre o conceito de entropia, buscando outros conceitos durante as atividades, tais como: matéria e suas transformações, calor, energia, separação de misturas.

Nos questionários e no debate sobre o texto, foi possível identificar a emergência das três zonas do perfil conceitual para entropia e espontaneidade na formulação atual (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014), a saber: zona perceptiva/intuitiva, zona empírica e zona racionalista. Alguns estudantes apresentaram o conceito em um viés mais científico, racionalista, com associação à equação de Boltzmann, o que permitiu identificar a emergência de um modo de pensar racionalista, mas associado de alguma forma a antiga zona formalista.

No debate sobre o texto e na aula experimental, em alguns momentos, emergiram ideias associadas as zonas como a empírica e perceptiva/intuitiva. No debate do texto, ainda, identificamos a presença de ideias associadas a antiga zona formalista, que compreende ideias que surgem a partir do uso de algoritmos e fórmulas matemáticas para a análise dos processos, sem que isso se traduza no entendimento das relações conceituais.

A análise das respostas às situações-problema foi realizada de acordo com os padrões temáticos de Lemke (1997), que estabelece relações semânticas de acordo com as interações discursivas, além de identificarmos a emergência de duas zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, a saber: empírica e a perceptiva/intuitiva. Nem sempre foi possível identificar a presença das três zonas do perfil conceitual, pois os estudantes evitaram, principalmente nos momentos de fala, abordar o conceito de entropia, buscando trabalhar com outros conceitos que foram estudados no Ensino Médio.

Pela teoria dos perfis conceituais um mesmo conceito pode ser visto sob diferentes perspectivas, que podem ser complementares, estando associadas a diferentes modos de pensar pragmáticos em contextos específicos de aplicação, pois a aprendizagem dos conceitos científicos e a discussão de novas ideias não conduz necessariamente os alunos ao abandono de suas convicções previamente estabilizadas (AMARAL, 2004). No trabalho com a sequência didática proposta, percebemos que modos de pensar associados as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade aparecem em todos os momentos, e são trabalhados especificamente em algumas atividades, como na resolução das situações-problema. No entanto, existe uma resistência em tratar as questões a partir do conceito de entropia, como já discutimos anteriormente.

Percebemos, ainda, a emergência de discursos híbridos, ou seja, modos de pensar diferentes que emergem na mesma resposta, caracterizando hibridismo (ARAÚJO, 2014; DINIZ JÚNIOR, SILVA e AMARAL, 2015). Discursos híbridos apareceram com mais frequência nas respostas ao questionário, embora também exista ocorrência em outras atividades, como na resolução das situações-problema.

Os resultados mostram que trabalhar com sequências didáticas, considerando a pluralidade de modos de pensar, pela teoria dos perfis conceituais, pode ser uma abordagem didática eficiente, pois, permite o processo de conceituação e de reconhecimento de contextos e do valor pragmático de cada um desses modos de pensar, em um desses contextos reconhecidos.

A utilização do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, sobretudo nas disciplinas do curso de Química, que abordam os conceitos, como Físico-química I e II, pode auxiliar na aprendizagem dos conceitos, considerando a pluralidade de significados e contextos de aplicação, fugindo de uma abordagem puramente matemática e que termina não considerando modos de pensar não científicos.

Ainda em relação ao ensino do conceito, os perfis conceituais são importantes para o conhecimento de uma nova metodologia de ensino proposta aos estudantes para que possam agir de forma ampla e efetiva sobre o mundo, conhecendo os modos de pensar associados ao conceito e os contextos nos quais possui valor pragmático.

A partir deste trabalho sugere-se o desenvolvimento de novas pesquisas envolvendo uma maior discussão desta abordagem tanto nos cursos de formação inicial quanto na formação continuada para que os licenciandos (futuros professores) entenda e saiba trabalhar da melhor forma para que cada vez mais, esta ferramenta didática possa ser utilizada em sala de aula como promotora do desenvolvimento da aprendizagem dos alunos.

Como perspectivas futuras, buscamos utilizar os dados obtidos nessa pesquisa, para estruturar e repensar a proposta de sequência didática para abordagem do conteúdo relativo a entropia e espontaneidade, planejada utilizando como base teórica a teoria dos perfis conceituais e o perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, U. F. **Sobre o conceito de entropia nos livros didáticos brasileiros para o ensino médio**. 2011. 84 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Física), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2011.
- AMARAL, E. M. R. **Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada as transformações químicas: a dinâmica discursiva em uma sala de aula de Química do Ensino Médio**. 2004. 295f. Tese (Doutorado em Educação), Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. 2004.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.1, n.3 p.1-16, 2001.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de química. **Educación Química**, n. 3, p. 60-75, 2004.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. A Conceptual Profile of Entropy and Spontaneity: Characterising Modes of Thinking and Ways of Speaking in the Classroom. In: MORTIMER, E. F., EL-HANI, C. N. (orgs.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Springer, 2014.
- ARAÚJO, A. O. **O perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas**. 2014. 223 f. Tese (Doutorado em Educação), Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**, Vol. 1. 8. ed. São Paulo: LTC, 2010.
- BALL, D. W., **Físico-Química**, vol. 1, São Paulo: Cengage Learning. 2005.
- BEN-NAIM, A. Entropy: Order or Information. **Journal of Chemical Education**, v. 88, n. 594, 2011.
- CARNOT, S. Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. **Gauthier-Villars**, 1824.
- CASTELLAN, G.W. **Fundamentos de Físico-química**. 1. ed. Rio De Janeiro: LTC, 2008.

COELHO, P. **O alquimista**. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.

COLOVAN, S. C. T.; SILVA, D. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 90-117, 2005.

COVENEY, P.; HIGHFIELD, R. A flecha do tempo. São Paulo: Siciliano, 1990.

COUTINHO, F. A. **Construção de Um Perfil Conceitual de Vida**. 2005. 193 f. Tese (Doutorado em Educação), Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

CUNHA, F.A.R.; SANTOS, O.P.; QUEIROZ, J.R.O. O Ensino de Entropia com enfoque na História da Ciência. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9, 2013, Águas de Lindóia-SP. **Anais...**, São Paulo, p. 1-8, 2013.

DALRI, J. **A Dimensão Axiológica do Perfil Conceitual**. 2010. 130f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Programa de Pós-Graduação Interunidades de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo. 2010.

DINIZ JUNIOR, A. I.; SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Zonas do Perfil Conceitual de Calor que Emergem na Fala de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. especial, p. 55-67, 2015.

GIORDAN, M; GUIMARÃES, Y. A. F.; MASSI, L. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8, 2011, Campinas-SP. **Anais...**, São Paulo, p. 1-12, 2011.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

MARTINS, I. Dados com diálogo – construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em salas de aula de ciências. In: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (orgs.). **A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias**. 2 ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2011, p. 297-321.

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: BORESMA, K. **Research and Quality of Science Education**. Springer, 2005, p. 195-207.

MENDES, A.P.; SANTANA, G.P.; JÚNIOR, E.S.F.P. O uso do software PhET como ferramenta para o ensino de balanceamento de reação química. **Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v.8 n. 16 p.52-60, 2015.

MENEZES, G.F.F. **Entropia**: Uma proposta para o ensino não universitário. Monografia (Licenciatura em Física). 2005. 17 p. Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia. 2005.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 8 ed. São Paulo: Hucitec, 2004.

MOORE, W.J. **Físico-química**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

MORAIS, C.; PAIVA, J. Simulação digital e atividades experimentais em Físico-Químicas. Estudo piloto sobre o impacto do recurso “Ponto de fusão e ponto de ebulição” n° 7º ano de escolaridade. **Revista de Ciências de Educação**, n.3, p.101-112, 2007.

MORTIMER, E. F. Conceptual Chance or Conceptual Profile Chance? **Science Education**, v.4, n.3, p. 265-287. 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 1, p.20-39, 1996.

MORTIMER, E. F. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. **Química Nova**, v. 20, n. 2, p. 200-207, 1997

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000.

MORTIMER, E. F., EL-HANI, C. N. (orgs.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Springer, 2014.

MORTIMER, E; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aulas de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações No Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p.283-306, 2002.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; EL-HANI, C. N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis, p. 1-12, 2009.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; AMARAL, E. M. R.; EL-HANI, C. N. Modeling Modes of Thinking and Speaking With Conceptual Profiles. In PENA, S. D. J. **Themes in Transdisciplinary Research**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

MOURATO E. R.; SIMÕES NETO, J. E. Uma sequência didática sobre petróleo e derivados para a Construção de conceitos químicos na educação de jovens e adultos. **Cadernos de estudos e pesquisa na educação básica**, v.1, n.1, p. 78 - 97, 2015.

NICOLLI, A.A.; MORTIMER, E.F. Perfil conceitual e a escolarização do conceito de morte no ensino de ciências, **Educação em Revista**, n.44, p.19-35,2012.

OLIVEIRA, W. S.; MIRANDA, N.F.; NETO, J. M. M. Panorama da Pesquisa em Ensino de Química no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, n.3, v.3, 2008.

POZO, J. I.; GOMÉZ CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Trabalho Científico: Métodos e técnica da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RIBEIRO, A.J. Elaborando um perfil conceitual de equação: desdobramentos para o ensino e a aprendizagem de matemática. **Ciência & educação**, n.1, v.19, p.55-71, 2013.

RODRIGUES, G. M.; FERREIRA, H. S. Elaboração e análise de Sequências de Ensino-Aprendizagem sobre os estados da matéria. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8, 2011, Campinas-SP. **Anais...**, São Paulo, p. 1-12, 2011.

SABINO, J. D. **A Utilização do Perfil Conceitual de Substância em Sala de Aula**. Recife, 2015. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.

SEPULVEDA, C. **Perfil Conceitual de Adaptação: Uma Ferramenta para Análise de Discurso de Salas de Aula de Biologia em Contextos de Ensino de Evolução**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, História e Filosofia da Ciências), Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira De Santana. 2010.

SILVA, F. C. V. **Análise de Diferentes Modos de Pensar e Formas de Falar o Conceito de Ácido/Base em uma Experiência Socialmente Situada Vivenciada por Licenciandos em Química**. 2017. 241f. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências). Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2017.

SILVA, J.R.T. **Um perfil conceitual para o conceito de substância**. 2011.183f Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências), Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, S. G. As principais dificuldades na aprendizagem de química na visão dos alunos do ensino médio. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, 9, 2013, Currais Novos-RN. **Anais...**, Currais Novos-RN, 2013.

SIMÕES NETO, J.E. **Uma proposta para o perfil conceitual de energia em contextos do ensino da física e da química.** 2016. 251f. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências). Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2016.

VIGGIANO, E.; MATTOS, C. R. É possível definir contextos de uso de zonas de perfil conceitual com um questionário? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7, 2007, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis, p. 1-12, 2007.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Este questionário é parte integrante do processo de obtenção dos dados de uma dissertação de mestrado, no PPGECEM - UFPE. Não é necessário se identificar. As respostas serão fundamentais para esta pesquisa.

Você teve contato com o conceito de entropia no Ensino Médio? Sim () Não ()

Você tem dificuldade em entender o conceito de entropia? Sim () Não ()

Você tem dificuldade em relacionar entropia e espontaneidade? Sim () Não ()

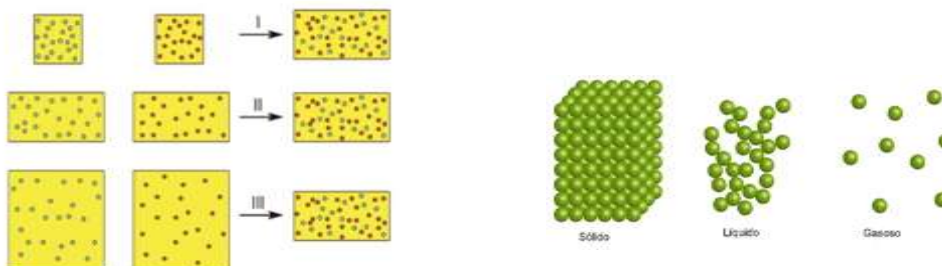
Você considera o conceito de entropia difícil? Sim () Não ()

1. Em poucas palavras, defina o que você entende por Entropia.

2. Entropia é função de estado, ou seja, só depende dos estados inicial e final. Qual sua compreensão sobre essa afirmação?

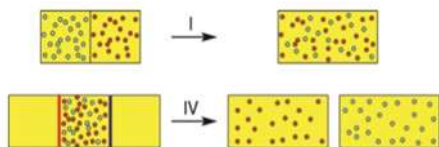
3. A afirmação: “A variação de entropia devido à mistura de dois gases é *sempre* positiva” é correta? Justifique sua resposta.

4. Dentre os processos abaixo, nos quais as bolinhas de diferentes cores representam diferentes gases, sinalize se houve aumento, diminuição ou nenhuma variação de entropia. O que levou você a analisar esses sistemas dessa forma?



5. Existe alguma relação entre entropia e processos espontâneos ou irreversíveis? Explique.

6. A variação de entropia dos processos I e IV abaixo são positivas.



Ambos os processos são irreversíveis? Ainda, baseado nos exemplos e nas suas conclusões acerca da irreversibilidade ou não desses processos, você acha que a afirmação “a mistura de dois gases ideais diferentes é um processo inerentemente espontâneo irreversível” está correta ou errada? Justifique.

Agradeço por sua atenção.

APÊNDICE B – TEXTO PARA O DEBATE

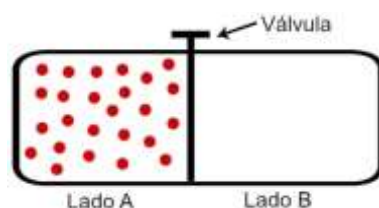
ENTROPIA, PROCESSOS IRREVERSÍVEIS E LEIS DA TERMODINÂMICA

Cleiça Rafaela de Almeida Guimarães¹

O físico Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822 – 1888), no ano de 1854, propôs a ideia de que uma **reação química somente seria considerada espontânea** se nela houvesse um aumento na desordem do sistema, ou seja, quanto maior a desordem causada nas partículas presentes na reação, mais espontânea ela é. Foi assim que surgiu o conceito de **Entropia**, **que** pode ser entendido como uma medida física relacionada a desordem de um sistema, sendo representada pela letra S.

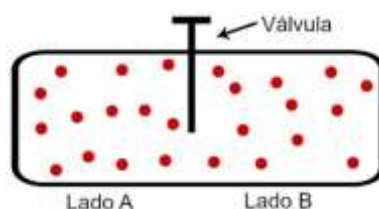
O entendimento da entropia pode ser facilitado pelas figuras 01 e 02, apresentadas na sequência.

Figura 01: Sistema A com moléculas isolado do sistema B



Podemos observar na figura 1 que o lado A está isolado do lado B (no qual temos vácuo) por meio de uma válvula. O **lado A** apresenta certa quantidade de gás, mas as **moléculas estão aprisionadas nessa região, com menor movimentação**. Quando a válvula é aberta passamos a permitir a comunicação entre os lados:

Figura 02: Aumento da desordem após a abertura da válvula do sistema



Ao abrir a válvula, permitimos que as moléculas do gás se dispersem por todo o recipiente, também para o lado B. Se as moléculas estão mais espalhadas, quer dizer que **o sistema está mais desorganizado**; logo, ocorreu um **aumento da entropia** do sistema. Um

¹ Esse material foi elaborado a partir da ampliação do texto "Processos irreversíveis e leis da termodinâmica" de Colovan e Silva (2005).

dado relevante é que, como houve o aumento da entropia porque as moléculas do gás espalharam-se, aumentando a desordem, **para organizá-las** novamente no lado A do recipiente, obrigatoriamente **deve ser realizado trabalho**. Assim, a entropia de um sistema só pode ser diminuída mediante a realização de trabalho sobre ele.

Os processos irreversíveis são aqueles que possuem um sentido preferencial no tempo, não havendo meios de serem executados no sentido temporal contrário. Quando um mergulhador pula em uma piscina, sua energia cinética, associada ao movimento, é convertida em calor, aquecendo a água. O processo é irreversível, pois o resfriamento da água não é capaz de fazer com que o mergulhador volte ao trampolim. Também é irreversível o resfriamento de uma xícara de café ou a queima de lenha em uma lareira. Seria possível observar a fumaça voltando pela chaminé, enquanto a sala esfria e a lenha é reconstituída a partir das cinzas?

Podemos citar uma série de processos irreversíveis: copos que se quebram ao cair no chão, pilhas alcalinas que se descarregam, gelo que derrete no copo de refrigerante. E o que todos eles têm em comum? Eles só ocorrem espontaneamente em um sentido. Estes processos, no entanto, poderiam acontecer nos dois sentidos, sem contrariar a 1ª Lei da Termodinâmica, isto é, sem violar o princípio da conservação da energia, que foi enunciado primeiramente por Julius F. Mayer (1814–1878): *“Quando uma quantidade de energia de qualquer natureza desaparece numa transformação, então se produz uma quantidade igual em grandeza de uma energia de outra natureza”*. (GILBERT, 1982, p. 234)

Se, no processo do movimento mecânico, a energia do corpo diminui devido à ação das forças de atrito (por exemplo, um tijolo deslizando sobre uma superfície), isso ocorre porque essa energia cinética está se transformando em calor, pois os corpos que se atritam se aquecem. Se transforma um tipo de energia em outra, seja em calor, em energia elétrica, na energia da luz, na energia das reações químicas, etc. Qualquer forma de energia, no processo de transformação, pode ser convertida em muitas outras formas de energia. Contudo, o resultado final de todas essas transformações inevitáveis é a energia térmica, pois, embora, a energia seja conservada quando ocorrem as transformações, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, ela perde a sua utilidade à medida que o calor se difunde pelo ambiente, em um processo denominado degradação ou dissipação.

Vejamos como exemplo a situação de duas canecas com o mesmo volume de água, mas em diferentes temperaturas: uma certa quantidade de energia térmica passa da caneca com a água mais quente (por exemplo, a 80°C), para a outra mais fria (a 20°C) até que ambas se encontrem à mesma temperatura (50°C), isto é, até que atinjam o equilíbrio térmico. Como o calor cedido por uma caneca foi recebido pela outra, fica evidente a conservação da energia.

No entanto não há como reverter espontaneamente esse processo. A energia trocada entre as canecas, na forma de calor, não pode ser colocada em uso novamente, tornando-se irreversível.

A 2ª Lei da Termodinâmica expressa um sentido para os processos naturais espontâneos. Existem algumas formas diferentes de se enunciar esta lei e uma delas, apresentada em meados do século XIX, por Rudolf Clausius, dizia ser impossível haver transferência espontânea de calor de um objeto frio para outro mais quente. Nas palavras do próprio Clausius:

O calor não pode nunca passar de um corpo mais frio para um corpo mais quente, sem que ocorram mudanças associadas. Tudo o que sabemos em relação às trocas de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes confirma isso, pois o calor em toda parte manifesta uma tendência em igualar diferenças de temperatura e conseqüentemente, em passar numa direção contrária, isto é, do corpo mais quente para o mais frio (CLAUSIUS, 1971, apud AURANI, 1986).

Observe a condição “espontânea”. Em sua geladeira, por exemplo, a todo instante, calor é transferido dos tubos em seu interior (no congelador), à sua vizinhança (cozinha), necessitando, para isto, que o refrigerador esteja ligado à tomada e funcionando, ou seja, consumindo energia elétrica. Sendo assim, o processo não é espontâneo, mas sim induzido. Da mesma forma, retornando ao exemplo das canecas com água, ambas a 50°C, seria necessária uma “contribuição externa”, uma “dose de energia” para que estas voltassem à condição inicial de 80°C e 20°C. Uma delas deveria receber energia térmica (calor) de uma fonte externa, enquanto a outra deveria perder energia térmica até que sua temperatura voltasse a ser 20°C.

A variação de entropia pode pela diferença entre a entropia final e a entropia inicial do sistema, ou seja, $\Delta S = S_f - S_o$. A variação de entropia positiva significa que a entropia aumentou. A variação de entropia negativa significa que a entropia diminuiu. Assim, podemos inferir que um processo que ocorre com variação de entropia positiva é um processo espontâneo, ou seja, um copo que cai e quebra, o movimento das águas em uma cachoeira e a troca de calor entre as duas canecas do experimento mental descrito anteriormente são processos que ocorrem com variação de entropia positiva.

Por fim, comentamos sobre interpretações mais atuais do conceito de entropia, associadas não unicamente a ideia de desordem, mas a distribuição da energia do sistema em níveis atômico-molecular. Nessa visão a entropia vai mensurar a quantidade de microestados disponíveis para satisfazer as restrições apontadas por determinado sistema. A espontaneidade

dos processos está diretamente relacionada a essa distribuição, conforme a equação 01, que representa a relação entre a energia livre de Gibbs, a variação de entalpia associada a transformação, a temperatura e a variação de entropia, considerando temperatura e pressão constantes.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Equação 01})$$

Assim, um ΔG menor que zero indica um processo espontâneo e um ΔG maior que zero indica um processo não-espontâneo, devido a tendência de todo sistema isolado buscar a mínima energia e a máxima entropia.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. M. R. **Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada as transformações químicas: a dinâmica discursiva em uma sala de aula de Química do Ensino Médio**. 2004. 295f. Tese (Doutorado em Educação), Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. 2004.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de química. **Educación Química**, n. 3, p. 60-75, 2004.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. A Conceptual Profile of Entropy and Spontaneity: Characterising Modes of Thinking and Ways of Speaking in the Classroom. In: MORTIMER, E. F., EL-HANI, C. N. (orgs.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Springer, 2014.
- ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**, Vol. 1. 8. ed. São Paulo: LTC, 2010.
- AURANI, K. M. **Ensino de conceitos: estudo das origens da 2ª lei da termodinâmica e do conceito de entropia a partir do século XVIII**. 1986. 113 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. 1986.
- BALL, D. W., **Físico-Química**, vol. 1, São Paulo: Cengage Learning. 2005.
- BEN-NAIM, A. Entropy: Order or Information. **Journal of Chemical Education**, v. 88, n. 594, 2011.
- CASTELLAN, G.W. **Fundamentos de Físico-química**. 1. ed. Rio De Janeiro: LTC, 2008.
- COLOVAN, S. C. T.; SILVA, D. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 90-117, 2005.

GILBERT, A. **Origens históricas da física moderna**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

SIMÕES NETO, J.E. **Uma proposta para o perfil conceitual de energia em contextos do ensino da física e da química**. 2016. 251f. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências). Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2016.

APÊNDICE C – QUESTÕES PARA O DEBATE

1. Dê outros exemplos do cotidiano nos quais os conceitos de entropia e espontaneidade aparecem e se relacionam.
2. Na reação de dissolução do cloreto de sódio em água a entropia aumenta ou diminui? Qual a explicação?
3. Em um processo de transformação de um sólido em líquido e, posteriormente, do líquido em um vapor, pelo aumento da temperatura, como se comporta a entropia? O processo é espontâneo?
4. Utilize os conceitos de entropia e espontaneidade para explicar com o máximo de detalhes os seguintes fenômenos:
 - c) O enferrujamento de um portão de ferro não galvanizado colocado em uma casa de veraneio na praia.
 - d) Uma amostra de açúcar em cubos é pulverizada utilizando um almofariz e pistilo.
5. Como você interpreta a afirmação: “existe uma tendência a energia mínima e a entropia máxima em um sistema isolado”? Explique sua resposta em termos dos conceitos termodinâmicos (energia livre de Gibbs, entropia, temperatura, entalpia, calor, trabalho).
6. Após a leitura do texto a sua visão sobre entropia e espontaneidade foi modificada? Como?

APÊNDICE D – FILME: O MUNDO SEM NINGUÉM

Título: O Mundo sem ninguém

Produtora: History Channel

Tipo: Documentário



Duração: 1 hora e 28 minutos

SINOPSE: As consequências de um mundo sem ninguém (os humanos, bem entendido) seriam basicamente as seguintes: Nos primeiros seis meses, os animais selvagens já estariam novamente vivendo nas cidades.

Com um ano, o mato estaria tomando conta da área urbana, e com cinco anos as ruas e estradas teriam desaparecido embaixo deste mato. Passados 25 anos sem ninguém, as estruturas de concreto e aço começam a ruir sem o trabalho humano de conservação, e após 200 anos somente as mais resistentes estruturas de concreto reforçado ainda estarão de pé. Mas transcorridos 500 anos, mesmo estas sucumbirão, e após mil anos quase todas as evidências da civilização terão desaparecido e as cidades serão novamente grandes florestas. Um mundo quase 100%, será esse o sonho dos ambientalistas mais radicais?

PRINCIPAIS IDEIAS SOBRE ENTROPIA E ESPONTANEIDADE OBSERVADAS NO DOCUMENTÁRIO:

Agradeço sua atenção.

APÊNDICE E – SITUAÇÕES-PROBLEMA

A resolução em grupo dessas situações-problema é parte integrante de uma pesquisa sobre modos de pensar o conceito de entropia. Não é necessário se identificar. As respostas serão fundamentais para esta pesquisa.

1. Uma exposição sobre ciência e arte estava sendo organizada pelo grupo de divulgação científica de uma universidade no agreste de Pernambuco. Uma das obras expostas era a charge de Sidney Harris apresentada a seguir:



Com base na imagem e nos seus conhecimentos sobre termodinâmica, qual a principal ideia sobre entropia apresentada na charge? Quais elementos da imagem corroboram para identificação dessa ideia?

2. O homem tem o poder de modificar o mundo! Desde a pré-história até os dias atuais o planeta foi submetido a inúmeras modificações, sendo hoje a paisagem totalmente modificada pelos avanços na ciência, tecnologia, engenharia e arquitetura. Observe a sequência de imagens a seguir:



Como os conceitos de entropia e espontaneidade podem ajudar a explicar essas imagens?

3. Quando abastecemos um carro estamos pensando na energia que o combustível pode fornecer para colocá-lo em movimento. Com base nas leis da termodinâmica sabemos que a energia se conserva em todos os processos físicos, químicos e biológicos. Porém, não podemos transitar com o carro sem abastecê-lo novamente após alguns dias.



Se a energia se conserva, porque devemos abastecer regularmente os automóveis com mais combustível? Forneça duas explicações para a pergunta, considerando aspectos macroscópicos e aspectos microscópicos.

APÊNDICE F – ROTEIRO EXPERIMENTAL

Experimento I: Influência da temperatura na velocidade da reação

Material

- Comprimidos efervescentes
- Água gelada, quente e à temperatura ambiente
- 3 Copos de vidro transparentes

Passo-a-passo

1º) Em cada copo de vidro adicione: água gelada, água à temperatura ambiente e água morna cerca de 40°C, respectivamente, (adicione o mesmo volume em cada copo, modificando apenas a temperatura) e identifique cada um deles.

2º) Coloque um comprimido efervescente em cada um dos copos;

3º) Anote suas observações, para cada copo, quanto tempo cada comprimido leva para se decompor por completo (Figura 1).



Figura 1: Influência da temperatura na velocidade de uma reação.

Questões:

- 1) Em qual copo, conseqüentemente em qual temperatura o comprimido se dissolveu mais rápido? Por que?
- 2) Com o aumento da temperatura o comprimido efervescente decompõe-se mais rápido? Por que?
- 3) Em qual dos três processos possuem uma maior desordem?

Experimento II: Mistura de tinta com água

Material

- Bandeja branca ou preto raso
- Tintas de várias cores
- Água temperatura ambiente

Passo-a-passo

1º) Em uma bandeja ou prato raso coloque água.

2º) Em seguida uma de cada vez comece a colocar as gotas de tintas de diversas cores sobre a água e observe. Anote suas observações. Vejamos na (Figura 2)

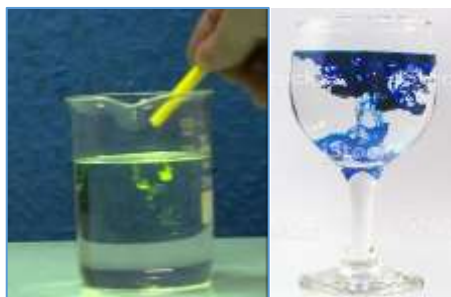


Figura 2: Processos que ocorrem ao misturar tintas na água

Questões:

- 1) Qual fenômeno podemos observar neste processo? Por que?
- 2) Ao adicionar as tintas na água, temos como reverter o processo? Justifique.
- 3) O que representa a mistura das tintas na água?

APÊNDICE G – PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A) IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Pernambuco UFPE-CAA
PÚBLICO-ALVO: Alunos de Graduação / Disciplina: Físico-Química I
CONTEÚDO: Entropia e Espontaneidade
TEMA: 2ª Lei da Termodinâmica
TÍTULO DA INTERVENÇÃO DIDÁTICA: Entropia e Espontaneidade
OBJETIVOS: Articular os temas abordados com o cotidiano do aluno e fazer com que o próprio aluno seja conduzido a estruturar relações entre as situações reais e os conhecimentos específicos. Criar uma motivação ao aprendizado de um conhecimento pré-existente. Motivar o aluno no intuito de permitir gerar uma curiosidade epistemológica

B) ATIVIDADES PROPOSTAS

<u>MOMENTO 1</u>
ATIVIDADE 1: Aplicação de questionário prévio, leitura e debate de um texto.
TEMPO: 1h/30 min
ESPAÇO FÍSICO: Sala de aula
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Inicialmente será aplicado um questionário aos alunos para mapear os conhecimentos pré-estabelecidos sobre entalpia e espontaneidade. Depois será entregue o texto “Processos Irreversíveis e leis da termodinâmica” Texto Disponível em: http://www.redalyc.org/html/2510/251019517009/ Em seguida será proposto um debate sobre algumas proposições reais que o texto apresenta. Tais como: Podemos citar uma série de processos como esses: copos que se quebram ao cair no chão, pilhas de lanterna que se descarregam, gelo que derrete no copo de refrigerante, enfim. E o que todos eles têm em comum?
OBJETIVOS: Mapear os conhecimentos prévios dos alunos sobre entropia e espontaneidade

Identificar no texto diferentes modos de pensar e formas de falar sobre situações apresentadas no próprio texto.
ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Questionário individual, leitura individual e coletiva, debate grande grupo.
RECURSOS DIDÁTICOS: Papel Caneta

<u>MOMENTO 2</u>
ATIVIDADE 2: Situação - Problema
TEMPO: 90 minutos
ESPAÇO FÍSICO: Sala de aula
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE: Os grupos buscaram a resolução de dois problemas, o primeiro sobre máquinas térmicas e sua eficiência e o segundo sobre a espontaneidade dos processos e probabilidade. Os dois problemas estão no (apêndice D). Após a resolução, cada grupo terá cinco minutos para expor suas respostas ao grande grupo, com mediação da pesquisadora.
OBJETIVOS: Propor um debate onde os alunos possam colocar suas dúvidas para o grande grupo na construção e reelaboração de suas respostas Refletir sobre suas concepções frente aos conceitos de entropia e sobre máquina térmica visto nos problemas Identificar a partir das formas de falar e modos de pensar a proposição das zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade
ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Grupos
RECURSOS DIDÁTICOS: Notebook Datashow Lousa Caneta Papel

MOMENTO 3

ATIVIDADE 3: Exibição do Filme (O Mundo sem ninguém) e debate

<https://www.youtube.com/watch?v=wwI3wcdbA2g> (Completo)

TEMPO: 90 minutos

ESPAÇO FÍSICO: Sala de aula

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE:

Nesta atividade, os estudantes receberão uma ficha para registro de informações, (apêndice C), na qual deverão escrever sobre as principais ideias do filme, buscando relacionar aspectos apresentados no documentário com os conceitos de entropia e espontaneidade. Essa ficha para registro vai servir como fonte de consulta para mais um debate, mediado pela pesquisadora, com duração de 30 minutos. Iremos buscar a emergência de modos de pensar os conceitos de entropia e espontaneidade, observando as zonas do perfil conceitual.

OBJETIVOS:

Mostrar a espontaneidade dos processos naturais quando não existem cuidados e manutenção nas cidades.

Despertar nos alunos a criticidade sobre a abordagem trazida pelo filme sobre o impacto de um mundo sem ninguém e a desordem que isso pode causar.

Identificar através da fala e da escrita diante da discussão os modos de pensar e formas de falar de acordo também com as concepções alternativas dos alunos.

ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Individual e Coletiva

RECURSOS DIDÁTICOS:

Notebook

Data show

Lousa

Papel

Caneta

MOMENTO 4

ATIVIDADE 4: Experimentação

Experimento I: Influência da temperatura na velocidade da reação

Experimento II: Mistura de tinta com água

TEMPO: 60 min

ESPAÇO FÍSICO: Laboratório**DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE:**

Experimento I: Os alunos deverão encher três copos transparentes com água a temperaturas diferentes (água gelada, água temperatura ambiente, e água morna cerca de 40°C). Ao mesmo tempo os três copos recebem um comprimido efervescente de Sonrisal e/ou Vitamina C. Pode-se observar que em cada um possui uma velocidade diferente, esses fenômenos visuais mostram que na água quente, as partículas têm maior desordem, isto é, maior entropia do que na água fria, por isso a dissolução do comprimido é mais rápida. Vejamos a seguir:



Experimento II: Os alunos deverão colocar água em uma bandeja ou prato raso. Logo após devem adicionar as tintas na água. Portanto, não temos como reverter o processo, essa mistura representa a desordem do sistema. Vejamos a seguir:

**OBJETIVOS:**

Relacionar a teoria de acordo com a prática por meio de um experimento simples.

Observar e indicar através dos fenômenos abordados os conceitos de velocidade de reação, processos espontâneos e não espontâneos no experimento sobre entropia e espontaneidade, bem como, os processos reversível e irreversível.

Identificar através das falas a evolução conceitual de cada experimento

ORGANIZAÇÃO DA TURMA: Grupos
RECURSOS DIDÁTICOS: Materiais alternativos: Tintas Bandeja branca ou um prato raso Copos transparentes de vidro ou descartáveis Comprimidos efervescentes Papel, Caneta Vidrarias