

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE**
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Polo 10 IFRN – Campus Natal Central



UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ENTROPIA NO ENSINO MÉDIO

UBALDO FERNANDES DE ALMEIDA

Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Profissional em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Samuel Rodrigues Gomes Júnior, DSc

Natal, RN
Setembro de 2015

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ENTROPIA DO ENSINO MÉDIO

UBALDO FERNANDES DE ALMEIDA

Orientador:
Samuel Rodrigues Gomes Júnior, DSc

Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Profissional em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Samuel Rodrigues Gomes Júnior, DSc (Presidente)

Iramaia Jorge Cabral de Paulo, DSc (Examinador Externo)

Manoel Leonel de Oliveira Neto, DSc (Examinador Interno)

Natal, RN
Setembro de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

A447p Almeida, Ubaldo Fernandes de.

Uma proposta para o ensino de entropia no ensino médio /
Ubaldo Fernandes de Almeida – 2015.

109 f : il. color.

Orientador(a): Prof. D.r Samuel Rodrigues Gomes Júnior.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande
do Norte. Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física.
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2015.

1. Ensino de física – Dissertação. 2. Termodinâmica - Ensino
médio - Dissertação. 3. Entropia - Dissertação. I. Gomes Júnior,
Samuel Rodrigues. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte. III. Título.

CDU 53:373.5

Dedico este trabalho ao meu pai Wilson Fernandes Neto e a minha mãe Maria do Socorro de Almeida Fernandes por tudo que fizeram para meu crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente, minha noiva Jéssica Dutra Marinho e todos seus familiares que sempre estiveram comigo nos momentos bons e ruins orientando-me, motivando-me e sempre acreditando e apoiando as minhas decisões.

A todos os professores do Instituto de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte responsáveis pelo Mestrado Nacional Profissional que proporcionaram uma aprendizagem bastante significativa e enriquecedora, contribuindo para a minha formação acadêmica na Pós-Graduação *Stricto Senso* em Ensino de Física.

Agradeço em especial ao Professor e Orientador DSc. Samuel Rodrigues Gomes Júnior, que durante toda pós-graduação esteve orientando-me, em especial nesta tese de mestrado.

Aos meus companheiros da turma 2013.2 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, que durante todos os encontros contribuíram no meu amadurecimento intelectual, profissional e pessoal.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo incentivo financeiro destinado aos Estudantes de Pós-Graduação *Stricto Senso*

Aos meus familiares: meu pai Wilson Fernandes Neto que com sua tranquilidade e perseverança esteve comigo aconselhando-me em todos os momentos, minha mãe Maria do Socorro que me orientou durante parte de minha caminhada, minha madrasta Maria Piedade de Lima que no papel de mãe acolheu-me como um filho. Aos meus irmãos Karen, Miguel, Daniel e Ana Clara pelas suas companhias. A toda minha família, os meus agradecimentos.

Aos meus companheiros de trabalho: Alexandre Amaral, Alexandre Barros, Adriano Henrique e Alysson Ulisses que são como irmãos completando a minha família.

Aos meus caros estudantes da Terceira Série (3A, 3B, 3C e 3D) do Colégio Salesiano Dom Bosco do ano de 2015 pelas contribuições na pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ENTROPIA PARA O ENSINO MÉDIO

Ubaldo Fernandes de Almeida

Orientador:

Samuel Rodrigues Gomes Júnior, DSc

Ensinar conceitos de Termodinâmica para os estudantes do Ensino Médio, principalmente, aqueles relativos à Segunda Lei, não é tarefa simples, tendo em vista as poucas atividades propostas pelos livros didáticos para a abordagem desses conceitos em sala de aula. Para minimizar essa dificuldade, a presente dissertação tem como finalidade propor uma unidade didática contemplando o conceito de entropia, para tanto, inicialmente, vamos apresentar uma revisão da literatura com a finalidade de apresentar algumas ideias centrais de alguns trabalhos que contribuíram para o ensino de conteúdos relativos à da termodinâmica e que nos nortearam na dissertação. Na sequência, apresentaremos nossos referenciais teóricos os quais respaldaram nossa proposta. Mediante a revisão da literatura e o referencial teórico e, sobretudo, como forma de minimizar essa dificuldade verificada no entendimento do conceito de entropia e, sobretudo reduzir a abstração evidente na maioria dos livros didáticos analisados nesta dissertação, vamos propor uma unidade didática na qual contempla a sequência do referido conceito intercalando com vídeos os quais evidenciam demonstrações experimentais lúdicas. Em seguida, para mensurar a contribuição da nossa proposta na produção da unidade didática, vamos investigar por meio de uma análise desenvolvida através de uma pesquisa de campo, aplicando-se questionários antes da utilização do produto instrucional e depois a estudantes de quatro turmas distintas do Colégio Salesiano Dom Bosco. Por fim, apresentaremos as conclusões da presente dissertação, uma vez que como é um assunto tão importante para o entendimento do comportamento da natureza, que transcende os limites da Física, a abordagem pelos docentes e pelos livros didáticos deveria ser mais rica em práticas experimentais para facilitar no entendimento do conceito de entropia em detrimento de informações abstratas e simplistas.

Palavras-chaves: Ensino de Física; Termodinâmica; Entropia.

ABSTRACT

A PROPOSAL FOR TEACHING ENTROPY FOR HIGH SCHOOL

Ubaldo Fernandes de Almeida

Advisor:

Samuel Rodrigues Gomes Júnior, DSc

Teach concepts of Thermodynamics for high school students, especially those related to the Second Law, is no easy task, considering a few activities proposed by the textbooks to the approach of those concepts in the classroom. In order to minimize this difficulty, this dissertation has the goal of proposing a didactic unit contemplating the concept of entropy. First, we show a literature review to present central ideas from some works that contributed for the teaching of thermodynamics, which guided us in the dissertation. In sequence, we present our theoretical references which endorsed our proposal. Through a literature review and a theoretical reference, as a way to minimize this difficulty checked in understanding the concept of entropy, and also trying to reduce the evident abstraction in the majority of textbooks analyzed in this dissertation, we propose a didactic unit which includes the sequence of the said concept interspersing with videos which show ludic experimental demonstrations. Next, for to measure the contribution of our proposal in producing of the didactic unit, we investigated through an analysis developed through a field research applying questionnaires before use of the product Instructional and, then, at students of four distinct classes of *Salesiano Dom Bosco* College. of concept We show the conclusions of the present dissertation, once is such an important subject to understand the behavior of nature, that transcends the limits of physics. The approach by teachers and by the textbooks ought to be richer in experimental practice for facilitating the understanding of concept of entropy to the detriment of abstract and simplistic information.

Keywords: Physical Education; Thermodynamics; Entropy.

Lista de Figuras

Figura 1. Imagem inicial do vídeo introdutório - Utilizado como vídeo motivacional introdutório. .31	31
Figura 2. Etapas ilustrativas da mistura de água e óleo. (a) porção de água. (b) porção de óleo. (c) instantes iniciais após a mistura. (d) alguns instantes após mistura.....36	36
Figura 3. Esquema ilustrativo que evidencia a relação entre ocupação de estados, macroestado, microestado e entropia.42	42
Figura 4. Texto e imagem da questão 01.43	43
Figura 5. Texto e imagem da questão 02.44	44
Figura 6. Texto e imagem da questão 03.45	45
Figura 7. Texto e imagem da questão 04.46	46
Figura 8. Texto da questão 05.47	47
Figura 9. Texto e imagem da questão 06.48	48
Figura 10. Sequência dos microestados atingidos no vídeo 4.49	49
Figura 11. Texto da questão 07.49	49
Figura 12. Sequência dos microestados atingidos no vídeo 5.50	50
Figura 13. Texto da questão 08.50	50
Figura 14. Sequência dos microestados atingidos no vídeo 7.51	51
Figura 15. Texto e imagem da questão 09.51	51
Figura 16. Expansão das baratinhas. (a) baratinhas movimentando-se apenas do lado direito. (b) retirando a tira de papelão permitindo a expansão. (c) baratinhas ocupando todo espaço da caixa de papelão.52	52
Figura 17. Texto da questão 10.52	52
Figura 18. Texto da questão 11.53	53
Figura 19. Texto da questão 12.53	53
Figura 20. Esquema de dois corpos confinados em um recipiente isolado de influências externas. 105	105
Figura 21. Esquema de dois corpos confinados em um recipiente. (a) com divisória. (b) sem a divisória.105	105
Figura 22. Spray desodorante. (a) Sendo utilizado. (b) após ser utilizado.106	106
Figura 23. Esquema da expansão de um gás.106	106
Figura 24. Esquema de uma repartição. (a) duas esferas coloridas do lado direito. (b) quatro esferas pintadas de preto do lado esquerdo. (c) quatro esferas coloridas do lado esquerdo.106	106
Figura 25. Esquema ilustrativo contendo esferas em um compartimento.107	107

Lista de Tabelas

Tabela 1. Resumo da Metodologia utilizada na Pesquisa para coleta de dados.	40
Tabela 2. Resumo da análise dos livros	90

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Média de acertos dos estudantes das quatro turmas no pré e no pós-teste.	54
Gráfico 2. Histograma da frequência de acertos no pré-teste.	55
Gráfico 3. Histograma de frequências de acertos no pós-teste sem computadar o total de acertos da turma controle.	55
Gráfico 4. Histograma de frequências de acertos no pós-teste da turma controle.	56
Gráfico 5. Média de acertos em cada turma no pré e no pós-teste.	57
Gráfico 6. Percentual de acertos das turmas em cada questão no pré e no pós-teste.	59
Gráfico 7. Resultado do pré-teste da turma controle.	61
Gráfico 8. Resultado do pós-teste da turma controle.	61
Gráfico 9. Resultado do pré-teste da turma 1.	62
Gráfico 10. Resultado do pós-teste da turma 1.	62
Gráfico 11. Resultado do pré-teste da turma 2.	63
Gráfico 12. Resultados do pós-teste da turma 2.	63
Gráfico 13. Resultado do pré-teste da turma 3.	64
Gráfico 14. Resultado do pós-teste da turma 3.	64

Sumário

Capítulo 1 Introdução.....	12
Capítulo 2 Revisão da Literatura	16
Capítulo 3 Referencial Teórico	21
3.1 A utilização de vídeo durante uma aula: A linguagem do vídeo	22
3.2 O vídeo como ferramenta educacional no processo de ensino e aprendizagem	23
3.3 Sobre o uso adequado e inadequado de vídeos durante uma aula	25
3.3.1 Usos adequados em sala de aula	25
3.3.2 Usos inadequados em sala de aula	28
3.4 Algumas conclusões sobre a exploração de vídeo no ensino de física	29
Capítulo 4 Produto Educacional	30
4.1 Uma proposta à utilização de vídeos no ensino do conceito de entropia.....	30
4.1.1 Vídeo como sensibilização: Motivação para o estudo do conceito de entropia.....	30
4.1.2 Vídeos como ilustração: Diferença entre processos reversíveis e irreversíveis.....	31
4.1.3 Vídeos como simulação: Interpretação do micro a partir de observações macroscópicas.	32
4.1.4 Vídeo 4 como conteúdo de ensino: Apresentação direta da associação equivocada do conceito de entropia ao termo desordem.....	35
Capítulo 5 Metodologia e Resultados	37
5.1 Metodologia	37
5.2 Análises dos Resultados.....	41
5.2.1 Avaliação do questionário e observações	41
5.2.2 Análise do pré e do pós-teste	54
Capítulo 6 Considerações finais.....	72
Referências.....	75
Apêndices.....	79
Apêndice A – Análise dos livros didáticos	80
Apêndice B – A segunda Lei da Termodinâmica	92
Apêndice C – A entropia do ponto de vista microscópico.....	102
Apêndice D – Questionário de avaliação de estudantes sobre o conceito de entropia na perspectiva da termodinâmica e da mecânica estatística.	105

Capítulo 1

Introdução

A busca por uma aprendizagem mais significativa do conceito de entropia em detrimento das abordagens essencialmente abstratas da maioria dos livros didáticos utilizados no Ensino Médio é o ponto de partida para o desenvolvimento da presente dissertação. Esse ponto de partida tem como alicerce a carência de atividades práticas associadas a Segunda Lei da Termodinâmica¹ uma vez que, na maioria dos casos a abordagem para essa Lei é simplesmente através de modelos bastante idealizados e, sobretudo, distantes da realidade palpável dos estudantes.

Como forma de organizar estruturalmente esta dissertação, no capítulo 2, será apresentada uma breve revisão da literatura de alguns trabalhos relevantes sobre a segunda lei da termodinâmica e, sobretudo, sobre o conceito de entropia. Um dos aspectos importantes nessa revisão da literatura é que como queremos destacar a maneira pela qual os livros utilizados no ensino médio abordam o conceito de entropia nos embasaremos pelo trabalho de Santos e Pernambuco (2008) o qual faz uma análise de exemplares utilizados no ensino médio. Diante disso, vamos apresentar uma análise resumida acerca da maneira que alguns livros didáticos abordam o conceito de entropia. O espaço amostral dessa análise consiste em 10 exemplares utilizados no ensino médio. A análise detalhada pode ser lida com mais detalhes no apêndice A.

Todos os exemplares fazem parte do Programa Nacional do Livro Didático para o ensino médio (PNLEM). Das dez obras analisadas, oito associam o conceito de entropia aos termos “desordem” sem, no entanto, justificar o que vem a ser essa possível “desordem” que um sistema físico pode assumir. A partir dessa concepção abstrata lançada pela maioria dos livros didáticos analisados e sem justificativas claras, os estudantes podem fazer várias interpretações do que vem a ser essa desordem em um sistema: a primeira pode ser uma desordem meramente estética devido ao arranjo das partículas que ocupam um determinado espaço inicial e passa a ocupar outro espaço, o que de acordo com a apresentação dos conteúdos nos livros didáticos os estudantes são induzidos a fazer a associação do conceito de entropia com desordem estética.

¹ A Segunda Lei da Termodinâmica encontra-se no Apêndice B.

Outra possível interpretação do termo desordem está ligada ao conteúdo energético de cada ente que compõem um determinado sistema, ou seja, cada partícula integrante de um sistema físico apresenta certa energia inicial (e) e o sistema como um todo apresenta uma energia total (E) e após alguma alteração no espaço que essas partículas vão ocupar o que ocorre com essas energias? Será que nesse ponto de vista, após certo intervalo de tempo a “desordem” aumenta? Ou diminui? Ou não faz sentido falar em “desordem”?

Outro aspecto importante que podemos ressaltar é que a maioria dos livros didáticos quando apresentam exemplos para explicar o conceito de entropia utilizam situações microscópicas muito distantes da realidade dos discentes e isso leva mais uma vez a interpretações abstratas do conceito.

Ainda na revisão da literatura, vamos apresentar alguns trabalhos que contribuíram para uma melhor abordagem do conceito de entropia no ensino médio e que nos nortearam na presente dissertação.

Diante dessa problemática observada na pesquisa dos exemplares utilizados no ensino médio, decidimos elaborar uma proposta de ensino do conceito de entropia utilizando vídeos experimentais. Para tanto, vamos propor uma Unidade Didática a qual poderá ser utilizada como um material impresso² ou em formato de blogger. A proposta pedagógica de transformar o material impresso em um blogger baseia-se na concepção de Gomes (2005). No material impresso, constam os links dos vídeos propostos e eles são direcionados para um canal do youtube desenvolvido por nós na intenção de facilitar no acesso aos vídeos por parte dos docentes e dos estudantes.

Além desses meios para utilizar o material instrucional, também foi desenvolvida uma fanpage no facebook na intenção de aproximar mais ainda da realidade em que estão inseridos os estudantes.

Para embasar nossa estratégia de transmitir o conceito de entropia de maneira diferente da maioria dos livros didáticos mencionados na dissertação e na produção de vídeos educacionais, citaremos, no capítulo 3, nosso referencial teórico utilizado nesta dissertação o qual tem como base a teoria de aprendizagem de David Ausubel, segundo a

² Unidade Didática – Uma Aula sobre o Conceito de Entropia no Ensino Médio

leitura de Marco Antônio Moreira e as concepções de José Manuel Moran sobre a utilização de vídeo em sala de aula.

Confrontando com a breve análise dos livros, conforme apêndice A e a partir do referencial teórico utilizado no capítulo 3, o produto educacional será apresentado no capítulo 4, sendo este o ponto essencial da presente Dissertação.

O capítulo 4 é o cerne, uma vez que os vídeos são dinâmicos e com eles é possível atingir a compreensão do conceito de entropia de maneira visual e concreta em detrimento da abstração evidenciada nos livros didáticos.

Outro ponto importante que a presente dissertação vem reforçar é que com a utilização do vídeo experimental durante uma aula de física há a possibilidade de uma retomada durante a sua apresentação permitindo para aqueles estudantes que não compreenderam a ideia teórica do conceito de entropia possam vivenciar tal situação. De acordo com Cinelli (2003) e Lapolli (2013), diversas são as vantagens para utilização de vídeos experimentais e entre elas o fato do utilizador (docente) poder manuseá-lo, manipulá-lo como se “folheasse um livro”: avanços, recuos, repetições, pausas, todas essas interferências no ritmo e norma habitual de apresentação da mensagem audiovisual que distinguem a televisão do vídeo. Para Marcondes Filho (1998) o vídeo é indicado na educação formal e não formal, pois segundo ele, “desperta a curiosidade, prende a atenção, parte do concreto, mexe com a mente e o corpo do telespectador, educa mesmo sem fazer tal afirmação, procura inovar, entre outros fatores”.

A ideia de “ordem” e “desordem” associadas ao conceito de entropia expressa na maioria dos livros didáticos analisados nesta dissertação será minimizada através de visualização de situações apresentadas em dez vídeos concomitantemente com o tratamento teórico utilizado para cada vídeo. Dessa forma, o conceito de entropia tornar-se-á mais acessível à compreensão por parte dos estudantes do ensino médio.

Como forma de verificar e mensurar a contribuição do produto educacional no processo de ensino e aprendizagem do conceito de entropia citado anteriormente, o capítulo 5 está organizado de modo a, inicialmente, apresentar a metodologia utilizada para a aplicação do questionário. Em seguida, uma análise detalhada do questionário e posteriormente, uma análise dos resultados do pré e do pós-questionário. Para obtermos um espaço amostral satisfatório, vamos desenvolver a pesquisa em quatro turmas da Terceira

Série do Colégio Salesiano Dom Bosco³. Uma turma corresponderá a TURMA CONTROLE na qual não será desenvolvido o produto educacional e nas outras TRÊS, o produto será aplicado. Com isso poderemos verificar as contribuições do produto educacional.

Antes de iniciar a abordagem dos conteúdos relativos à Segunda Lei da Termodinâmica, será aplicado um questionário com questões de múltipla escolha (ver questionário no apêndice D) cujo objetivo é averiguar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre temas relativos a processos reversíveis, irreversíveis, microestado, macroestado e sobre o conceito de entropia. Essa análise inicial dos conhecimentos prévios está embasada na teoria da aprendizagem de David Ausubel (1918-2008).

Aplicado o questionário em cada turma as quais como já foi citado denominaremos TURMA CONTROLE, TURMA 1, TURMA 2 e TURMA 3, coletaremos nossa amostragem inicial na pesquisa. Após a aplicação desse questionário, será aplicado o produto nas TURMAS 1, 2 e 3 e na TURMA CONTROLE será convidado um professor para ministrar os conceitos relativos ao conceito de entropia. Ao término da sequência dos conteúdos ministrados por nós e pelo professor convidado, será aplicado o mesmo questionário e obtido a amostragem final a qual será confrontada com os resultados amostrais iniciais. Por fim, apresentaremos conclusões no capítulo 6.

Esperamos que esta proposta auxilie os professores durante a apresentação do conceito de entropia bem como minimize a abstração apresentada pelos livros didáticos durante a exposição do referido conceito. Para Silva (2000) a pedagogia interativa é uma proposta que engrandece o papel do docente como mediador de novas e recorrentes interações e estimulador da rede de conhecimentos que os alunos constroem e do desenvolvimento de novas competências e habilidades comunicativas.

³ Os estudantes dessas quatro turmas corresponderão à população alvo a quem a pesquisa se aplica.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, mais conhecido como PNLEM, foi Implantado em 2004, e visa a distribuição e universalização de livros didáticos para os alunos do ensino médio público de todo o País. A Resolução nº 38 do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), que criou o programa, define o atendimento, de forma progressiva, aos alunos das três séries do ensino médio de todo o Brasil.

Aliado a esse programa e corroborando com Oliveira (2008) a utilização em sala de aula dos livros didáticos é uma ferramenta de extrema importância para contribuir no ensino e aprendizagem dos estudantes.

Levando em conta que na maioria das escolas a única forma de transmitir o conhecimento seja o livro, o mesmo torna-se peça essencial na construção do conhecimento. Entretanto, nem sempre as informações são expostas de maneira “didática” e muitas vezes até para os professores compreenderem e transmitirem tais informações se torna tarefa complexa, o que resulta na omissão de alguns conceitos.

Aliado a essas omissões e/ou simplificações de alguns livros didáticos na apresentação dos conteúdos, temos a natureza peculiar de algumas leis físicas as quais não são simples de compreenderem. No caso específico da presente dissertação, verifica-se que ensinar a Segunda Lei da Termodinâmica e mais especificamente o conceito de entropia não é tarefa trivial. Somada a essa dificuldade inerente, poucos livros didáticos contribuem para o ensino, tornando o conceito de entropia muito abstrato e em muitos casos irrelevante em comparação com o restante dos conteúdos referentes à Termodinâmica apresentados nos livros didáticos. Santos e Pernambuco (2008) citam vários autores e suas discussões sobre essas dificuldades verificadas associadas à Segunda Lei da Termodinâmica e ao conceito de Entropia. Para Oliveira e Dechhoum (2003) a Segunda Lei da Termodinâmica é uma das construções mais intrigantes de todos os tempos. Já para Styler (2002) o conceito mais difícil da Física Clássica é o conceito de entropia. Como na visão de Styler o conceito de entropia é o mais difícil, para Lambert (2006) esse conceito torna-se o mais temido na

química universitária por estudantes e pelos professores devido às falhas inerentes em seu entendimento.

Ainda segundo Santos e Pernambuco as dificuldades evidenciadas nos livros didáticos e, conseqüentemente, o entendimento da Segunda Lei da Termodinâmica e na definição do conceito de entropia, manifestam-se na não correspondência entre o modelo macroscópico e o modelo microscópico, bem como nas maneiras alternativas de conceituar.

Para verificar como os livros expressam os conteúdos relativos à Termodinâmica, Santos e Pernambuco fazem uma análise de alguns livros didáticos utilizados no Ensino Médio na tentativa de identificar os elementos que promovem essas dificuldades observadas pelos autores citados acima.

Nessa mesma linha de raciocínio de Santos e Pernambuco, vamos fazer uma análise de dez exemplares⁴. A escolha desses exemplares reflete somente o nosso interesse em identificar o tratamento conceitual dado ao assunto Entropia. Desse modo, optamos por não analisar um número elevado de exemplares, mas eleger somente alguns aspectos conceituais que se mostraram necessários para uma discussão conceitual. A análise detalhada dos exemplares encontra-se no apêndice A.

Na tentativa de reduzir as dificuldades no entendimento da Segunda Lei da Termodinâmica e na compreensão menos abstrata do conceito de entropia, vários autores contribuíram com trabalhos acadêmicos de cunho apenas teórico ou de cunho teórico/prático.

Rodrigues (2014) propõe uma abordagem prática/didática sobre a irreversibilidade dos processos naturais e suas relações com a Segunda Lei da Termodinâmica. Diferentemente, de muitos livros didáticos nos quais a irreversibilidade é tratada de maneira bastante abstrata, utiliza-se de vídeos com situações do cotidiano para exemplificar a diferença de processos reversíveis e irreversíveis.

Em virtude da conexão entre a irreversibilidade e o conceito de entropia, vamos utilizar-se da mesma ideia proposta. Entretanto, iremos registrar em vídeos, situações diferentes de processos irreversíveis apresentadas na dissertação.

⁴ Alguns exemplares analisados na presente dissertação, também foram analisados no trabalho de Santos e Pernambuco (2008).

Borges (1999) faz uma abordagem envolvendo a irreversibilidade, a desordem e a incerteza. Inicialmente apresentando uma visão da termodinâmica e na sequência uma visão da mecânica estatística.

Vamos compartilhar, em um nível matemático próximo à realidade dos estudantes do ensino médio, de maneira teórica e experimental das duas visões apresentadas por Borges. Entretanto, queremos desvincular o conceito de entropia do termo “desordem”. Esse é o ponto central da presente dissertação.

Covolan e Silva (2005) discutem o conceito de entropia no ensino médio levando em conta os conhecimentos prévios dos estudantes. Mediante esses conhecimentos prévios, propõem uma atividade teórica organizada em um minicurso para ser trabalhada em sala de aula de maneira que, os estudantes possam ao longo da atividade fortalecer suas concepções. Além disso, relatam as dificuldades existentes na elaboração de estratégias didáticas para ministrar tal conceito devido às incoerências com os modelos teóricos.

Diferentemente de Covolan e Silva, Monteiro et al. (2009) propõem uma atividade prática para abordagem do conceito de entropia no ensino médio. Nesse trabalho são apresentados de maneira bastante didática os conceitos de microestado e macroestado em um sistema formado por N partículas. A partir dessas concepções, podemos de maneira probabilística definir o conceito de entropia conforme fez Ludwig Boltzmann.

Seguindo a mesma linha de raciocínio de Covolan e Silva, iremos considerar os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto de partida para o entendimento do conceito de entropia. Entretanto, nosso produto educacional será baseado na proposta prática de Monteiro et al. uma vez que, buscaremos apresentar para os estudantes o conceito de entropia num ponto de vista da mecânica estatística.

Para minimizar a abstração do conceito de entropia apresentado na maioria dos livros analisados não somente nesta dissertação e, sobretudo, tornar a informação mais atrativa para os estudantes, vamos também compartilhar da proposta de Gomes (2005) a qual utiliza o blogger (saindo do tradicional – material físico⁵) como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes. Gomes cita duas possibilidades de utilização de um blogger:

⁵ O material físico também será uma proposta disponibilizada para os professores. Ver seção 4.6 do capítulo 4.

Enquanto recurso pedagógico e enquanto estratégia pedagógica. Destacamos a seguir essa duas possibilidades:

- Enquanto **recurso pedagógico** os bloggers podem ser:
 1. Um espaço de acesso à informação especializada.
 2. Um espaço de disponibilização de informação por parte do professor.
- Enquanto **“estratégia pedagógica”** os bloggers podem assumir a forma de:
 1. Um portfólio digital.
 2. Um espaço de intercâmbio e colaboração.
 3. Um espaço de debate – role playing.
 4. Um espaço de integração.

Enquanto recurso pedagógico, nosso blogger⁶ enquadra-se no segundo formato “*Um espaço de disponibilização de informação por parte do professor*”, uma vez que, o mesmo foi desenvolvido por nós. As informações audiovisuais postadas no blogger fazem parte de nossa unidade didática e será utilizada para apresentar o conceito de entropia reduzindo a abstração evidenciada na maioria dos livros didáticos citados na dissertação. Como forma de incentivar, reduzir a distância entre professor-estudante e ao mesmo tempo verificar a aprendizagem dos estudantes, vamos manter o contato extraclasse por meio dos comentários postados por eles e do retorno a esses comentários. Nesse contexto o blogger representa um espaço virtual de socialização de informações e garante vantagens no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, como assegura Gomes (2005) “uma das vantagens desta prática é não só a de disponibilizar aos alunos mais uma fonte de recursos a utilizar nos seus estudos, mas fazê-lo procurando incentivar uma prática de consulta (e estudo) continuada, ao invés do “estudar antes do teste”.

Já no aspecto da “estratégia pedagógica”, podemos enquadrar o blogger no quarto formato “*Um espaço de integração*”. Entretanto, diferentemente da autora que atribui o blogger nesse formato como uma forma de integrar jovens de nacionalidades diferentes ou de integrar jovens que estejam afastados da escola por algum motivo, utilizaremos a palavra “**integração**” com outra conotação, ou seja, utilizaremos essa palavra no sentido de

⁶ O blogger encontra-se disponível no endereço <http://sobreoconceitodeentropia.blogspot.com.br/>

integração de conhecimento, pois mediante postagens de comentários dos estudantes poderemos socializar as dúvidas, os questionamentos, os entendimentos de modo que todos poderão contribuir na construção do conceito de entropia proposto pela unidade didática. Não queremos com isso descartar o sentido proposto pela autora. Mas, apenas estender a possibilidade dessa estratégia pedagógica.

Vale salientar que, caso o professor prefira utilizar o material físico, os links dos vídeos poderão ser acessados de um canal no youtube⁷. Esse canal também foi desenvolvido por nós na intenção de facilitar na aquisição dos vídeos pelos docentes durante a explanação dos conteúdos na unidade didática.

Ainda na perspectiva de Gomes, com a utilização do blog, possibilitaremos uma inter-relação mais efetiva entre professor-estudante de modo que o processo de ensino e aprendizagem tornar-se-á mais dinâmico e significativo, uma vez que, as redes sociais permitem esse dinamismo e reduzem as distâncias da sala de aula, dos estudantes e dos docentes.

Optamos pela utilização desses recursos da internet, pois é uma ferramenta extremamente próxima à realidade dos estudantes e, sobretudo, da realidade vivida pela era da informação.

No próximo capítulo apresentaremos o referencial teórico utilizado, com ênfase nas concepções de José Manuel Moran sobre a utilização de vídeo em sala de aula e na teoria de aprendizagem de David Ausubel, segundo a leitura ou releitura de Marco Antônio Moreira.

⁷ O canal do youtube encontra-se disponível no endereço <http://www.youtube.com/channel/UCR8ebymrGUWU57ip81-InYQ>

Capítulo 3

Referencial Teórico

As teorias de aprendizagem têm contribuído de maneira significativa nas aquisições de estratégias utilizadas pelos docentes para ministrar suas aulas nas suas respectivas áreas do conhecimento. Muito embora, algumas dessas práticas docentes, alguns materiais didáticos ou até mesmo as próprias escolas ainda continuam promovendo uma aprendizagem mecânica, memorística do que propriamente significativa.

Umas das contribuições das teorias da aprendizagem consiste na proposta de utilização de outros recursos e estratégias para complementar com os livros didáticos ou qualquer outro material utilizado durante a aula, de modo a tornar mais dinâmico o processo de ensino e aprendizagem e, sobretudo, despertando o interesse dos estudantes em adquirir o conhecimento transmitido e agregar aos seus conhecimentos prévios.

Diante disso, o referencial teórico utilizado nesta dissertação tem como base a teoria de aprendizagem de D. Ausubel, segundo a leitura de M. A. Moreira e as concepções de J. M. Moran sobre a utilização de vídeo em sala de aula.

Aliado ao referencial teórico sobre teorias de aprendizagem, nossa Unidade Didática levará em conta de maneira particular os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a segunda lei da termodinâmica. Para Ausubel (1918-2008) esse “conhecimento prévio” sobre determinado assunto, símbolo, conceito, um modelo mental, uma proposição era chamado de *subsunçor* ou *ideia-âncora*. Para Moreira, (2012):

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. (MOREIRA, 2012, p. 6)

O subunçor será peça fundamental para a construção do conceito de entropia proposto pelo material educacional. Além do conceito de entropia conectado à Segunda Lei da Termodinâmica, o material educacional também apresenta o conceito de entropia segundo uma perspectiva da mecânica estatística⁸ a qual pode ser um subunçor para alguns estudantes e pode não ser para outros. Entretanto, mesmo não sendo um conhecimento prévio de alguns estudantes, haja vista, poucos materiais didáticos utilizados no ensino médio abordam o conceito de entropia de maneira estatística, o presente material educacional estabelece relações com a Segunda Lei da Termodinâmica as quais favoreceram na construção e na relação da mecânica estatística⁹ com a Termodinâmica e, conseqüentemente, com o conceito de entropia. Essas interações estão intimamente ligadas à aprendizagem significativa.

Mediante essas interações entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, queremos reforçar mais ainda o conceito de entropia na perspectiva da Termodinâmica e apresentar uma “nova”¹⁰ maneira de interpretar o conceito de entropia segundo a Mecânica Estatística. Com isso, desvincularemos tal conceito aos termos “*ordem*” e “*desordem*”.

Na sequência vamos justificar o motivo pelo qual estamos utilizando vídeos experimentais para intercalar com a abordagem teórica sobre o conceito de entropia. Para tanto, vamos apresentar de maneira resumida as concepções de J. M. Moran sobre a utilização de vídeos durante uma aula.

3.1 A utilização de vídeo durante uma aula: A linguagem do vídeo

O vídeo é um meio de comunicação e através dele uma mensagem é transmitida seja ela de caráter educacional, cultural, social, econômico, político, religioso e científico. O vídeo naturalmente se espalha de modo não hierárquico atingindo de maneira subjetiva cada telespectador nas suas mais variadas sensações e emoções.

⁸ Essa perspectiva é apresentada por apenas 30% dos exemplares utilizados no ensino médio citados nesta dissertação, conforme tabela 1 apresentada no capítulo 2.

⁹ No apêndice C, é apresentada uma breve descrição estatística do conceito de entropia.

¹⁰ Essa maneira é “nova” do ponto de vista da abordagem atual de alguns livros didáticos tradicionalmente utilizados no ensino médio.

O vídeo também articula o imaginário e o real apresentando diversas noções espaciais em várias perspectivas. Possibilita para os telespectadores uma dinâmica no processo de informações bem como uma proximidade entre passado, presente e futuro.

De acordo com Moran (1995), a linguagem audiovisual desenvolve várias atitudes perceptivas solicitando demasiadamente a imaginação e molda a afetividade com um papel de mediação primordial no mundo. Além disso, conecta o indivíduo a uma rede de informações a qual beneficiará sua formação intelectual.

3.2 O vídeo como ferramenta educacional no processo de ensino e aprendizagem

Tradicionalmente, os processos de ensino e aprendizagem respaldam-se nas linguagens verbal e escrita. Transmite-se o conhecimento por meio da fala do professor, das intervenções dos alunos, da leitura, perguntas e respostas orais e escritas, havendo pouco espaço para a utilização de outras linguagens e ferramentas educacionais nos processos de ensino e aprendizagem, que aos poucos vem sendo incorporadas no ambiente escolar.

Aqui no Brasil, um dos pioneiros na utilização de recursos audiovisuais no processo de ensino e aprendizagem foi Roberto Marinho¹¹. Para ele, a televisão era um instrumento que poderia levar a educação ao maior número possível de brasileiros. Para alcançar suas ideias e promover o acesso à educação a milhares de pessoas, desenvolveu juntamente com Fundação Roberto Marinho o Telecurso 2000¹² o qual estreou em 1978 como Telecurso 2º grau e poucos anos depois, em 1981, passou a ser titulado de Telecurso 1º grau e atualmente, é chamado de Novo Telecurso. Com essa metodologia, o docente atua como mediador do processo ensino e aprendizagem, utilizando, em suas aulas, os livros do Telecurso, as tele aulas e material didático complementar – cadernos de cultura, livros de literatura,

¹¹ Roberto Pisani Marinho foi um jornalista e empresário brasileiro. Proprietário das Organizações Globo de 1925 a 2003, foi um dos homens mais influentes do país no século XX.

¹² O **Telecurso** é uma tecnologia educacional, reconhecida pelo MEC, que oferece escolaridade básica de qualidade a quem precisa. No Brasil, ele é utilizado para a diminuição da defasagem idade-ano, Educação de Jovens e Adultos (EJA) e como alternativa ao ensino regular em municípios e comunidades distantes. Desde 1995, a Fundação Roberto Marinho, por meio de parcerias com prefeituras, governos e instituições públicas e particulares, já programou, em todo Brasil, **32 mil salas de aula** com a Metodologia Tele sala.

dicionários, mapas. A metodologia prevê o ensino das disciplinas por módulos, e não séries, como o ensino regular no país.

Além do Telecurso 2000, outros projetos foram desenvolvidos nesse mesmo contexto – utilização de algum recurso audiovisual na educação – proporcionando um acesso a materiais educacionais para diversos fins. Podemos citar a TV Escola¹³, que foi criada em 1996 pelo Ministério da Educação a qual corresponde a uma emissora de televisão pública que visa facilitar e disponibilizar conteúdos da grade curricular para educadores e alunos da rede de ensino. A TV Escola não foi desenvolvida com a intenção de “ministrar aula”, ela é mais uma ferramenta pedagógica disponível ao docente para complementar a sua formação acadêmica ou para ser utilizada em suas práticas de ensino.

Também podemos fazer referência a algumas comunidades virtuais que utilizam a metodologia de vídeos e fotos de experimentos no processo de transmissão do conhecimento. Uma dessas comunidades é o Ponto ciência¹⁴ que foi desenvolvido por alunos e professores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Além dos bolsistas do projeto, os participantes da comunidade contribuem com a construção do conteúdo do portal.

A inclusão de novos recursos na esfera educacional provocou e ainda provoca indagações e ponderações acerca da função do docente em sala de aula. Se, por um lado, havia a sua disseminação como fonte de lazer e entretenimento durante uma aula, por outro crescia a produção e utilização de vídeos educativos e tele aulas, de caráter informativo, numa concepção tradicional de ensino em que o livro era substituído pelo vídeo ou tele aulas e seguido de atividades tradicionais, como provas escritas sobre o conteúdo apresentado no vídeo.

Moran (1995) assegura que “vídeo, na cabeça dos alunos, significa descanso e não aula, o que modifica a postura, as expectativas em relação ao seu uso.” Sobre como contornar essa ideia negativa da utilização do vídeo como ferramenta educacional, Moran

¹³ A TV Escola é o canal da educação - <http://tvescola.mec.gov.br/tve/home>. É a televisão pública do Ministério da Educação destinada aos professores e educadores brasileiros, aos alunos e a todos interessados em aprender.

¹⁴ O portal pontociência - <http://www.pontociencia.org.br/> - é uma iniciativa pioneira na criação de uma comunidade virtual de professores, alunos e entusiastas da ciência. Nele você vai encontrar instruções passo-a-passo, com fotos e vídeos, de experimentos de Química, Física e Biologia. A ciência por trás dos fenômenos é explicada em uma linguagem simples e com grande cuidado e precisão nas informações fornecidas.

complementa que “Precisamos aproveitar essa expectativa positiva para atrair o aluno para os assuntos do nosso planejamento pedagógico. Mas, ao mesmo tempo, saber que necessitamos prestar atenção para estabelecer novas pontes entre vídeo e as outras dinâmicas da aula”.

A inserção do vídeo nas salas de aula promove uma interrupção nos procedimentos educacionais pautados apenas nos métodos tradicionais - na linguagem verbal e escrita. Com ele, o mundo externo é transmitido sem muito esforço para a sala de aula aproximando o cotidiano, as imagens e sons de realidades próximas e distantes, a imaginação e a fantasia do universo do aluno.

Vale salientar que o objetivo da nossa dissertação é produzir um material instrucional conectando o conteúdo entropia a vídeos contendo experiências para minimizar a abstração observada na maioria dos livros analisados e não é montar uma tele aula como faz o Novo Telecurso nem uma video aula como faz o portal *ponto ciência*. Para tanto, utilizaremos alguns tipos de vídeos como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem desse conceito tão importante para à Termodinâmica o que se enquadra melhor na metodologia utilizada na TV escola.

Ademais, é importante destacar que a função do professor não será substituída pelo vídeo e nem por outro recurso tecnológico. Apenas será mais uma ferramenta de tantas outras já disponibilizadas no processo de ensino e aprendizagem a ser utilizada pelos docentes para minimizar a abstração de alguns conteúdos ministrados durante a aula.

3.3 Sobre o uso adequado e inadequado de vídeos durante uma aula

3.3.1 Usos adequados em sala de aula

Vivemos numa era em que as barreiras impostas pelos obstáculos geográficos tornaram-se obsoletas. Guardadas as suas devidas proporções, podemos de nossas próprias casas, conhecer o mundo apenas com um *click*¹⁵ em nossos computadores sem falar que a quantidade de informações disponíveis na rede é algo incalculável e de fácil acesso. Sobre esta era, Veen e Vrakking (2009) argumentam que o espaço que as aulas eram ministradas -

¹⁵ Essa palavra foi inserida no sentido de pressionar o botão do mouse.

a sala - no ensino tradicional reduz em grande escala a quantidade de fontes de informação e de atividades que podemos realizar para os discentes, “mantendo-os fora do controle de que a informação ou tarefa deve ser escolhida – um método de ensino que é altamente artificial para o Homo zappiens e, como consequência, prejudicial para o processo de aprendizagem”. Sobre o Homo zappiens, Veen e Vrakking (2009) descrevem que:

[...] a geração que nasceu no final da década de 1980 em diante tem muitos apelidos, tais como “geração da rede”, “geração digital”, “geração instantânea” e “geração ciber”. Todas essas denominações se referem a características específicas de seu ambiente ou comportamento [...] A resposta é que a geração da rede difere de qualquer outra do passado porque cresceu em uma era digital (VEEN e VRAKKING, 2009 pp. 28-29).

Diante dessa nova geração de alunos, a utilização exclusiva do livro didático pelo professor durante a aplicação de sua metodologia de ensino torna-se antiquada, ao ponto de em algumas disciplinas, se não em todas, ficar extremamente monótona. E se tratando do conteúdo foco da nossa dissertação – O Conceito de Entropia – poucos livros didáticos disponibilizam recursos para tornar o conteúdo mais claro e menos abstrato para os alunos. Diante disso, vemos a necessidade da utilização de outras ferramentas para tornar o conceito de entropia mais inteligível. Para tanto, escolhemos o vídeo como ferramenta para inserir no processo de aprendizagem.

Assim como toda ferramenta educacional deve ser utilizada de maneira inteligente para não comprometer a compreensão dos discentes durante o processo de ensino e aprendizagem, o vídeo também não deve fugir dessa perspectiva.

Acerca dos diversos tipos de vídeos que são produzidos, Moran (1995) destaca oito propostas as quais podem ser utilizadas durante uma aula:

- 1) **Vídeo como SENSIBILIZAÇÃO**
- 2) **Vídeo como ILUSTRAÇÃO**
- 3) **Vídeo como SIMULAÇÃO**
- 4) **Vídeo como CONTEÚDO DE ENSINO**
- 5) **Vídeo como PRODUÇÃO**
- 6) **Vídeo como AVALIAÇÃO**
- 7) **Vídeo ESPELHO**
- 8) **Vídeo como INTEGRAÇÃO/SUPORTE**

Das propostas apresentadas por J. M. Moran (1995), o presente trabalho ira utilizar apenas quatro: **(1) Vídeo como sensibilização, (2) Vídeo como ilustração, (3) Vídeo como simulação e (4) Vídeo como conteúdo de ensino.** Todos os vídeos utilizados foram pensados, necessariamente, nessa ordem – 1, 2, 3 e 4, como veremos adiante no capítulo 4.

Queremos destacar que, dos dez vídeos utilizados na Unidade Didática, apenas o vídeo introdutório – *Vídeo como Sensibilização* – não foi produzido por nós. Esse vídeo introdutório da Unidade Didática servirá de alicerce para os demais vídeos que iremos utilizar no decorrer da explanação dos conteúdos relacionados à entropia.

De acordo com a teoria ausubeliana esse vídeo introdutório funciona como um “*organizador prévio*”, isto é, tem finalidade de identificar e desenvolver conceitos subsunçores facilitando a aprendizagem significativa dos conteúdos que serão apresentados posteriormente. Moreira (2012) esclarece:

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este. (MOREIRA, 2012, p. 14)

Moreira (2012), ainda acrescenta que há dois tipos de organizadores prévios: organizador expositivo e organizador comparativo. Para o caso do vídeo introdutório, ele enquadra-se no organizador comparativo, pois o conteúdo do vídeo é familiar com o conteúdo expresso na unidade didática. Dessa forma, proporcionará aos estudantes a integração dos novos conhecimentos à estrutura cognitiva como “*pontes cognitivas*” (Moreira, 2012)

3.3.2 Usos inadequados em sala de aula

Apesar de existir várias experiências bastante interessantes, vale salientar que o uso indevido do vídeo pode ser inapropriado para o processo de aprendizagem dos discentes. Moran (1995) ratifica essa ideia ao chamar atenção para os usos inadequados que a escola e o professor possam vir a fazer de tal recurso tecnológico. Para o autor, o vídeo pode ser utilizado inversamente aos critérios recomendados. Dessa forma, acarretaria em um prejuízo no aproveitamento das potencialidades educativas e criativas do vídeo. Moran (1995) descreve algumas formas inadequadas do uso do audiovisual:

* **Vídeo tapa-buraco:** colocar vídeo quando há um problema inesperado, como ausência do professor. Usar este expediente eventualmente pode ser útil, mas se for feito com frequência desvaloriza o uso do vídeo e o associa na cabeça do aluno a não ter aula.

* **Vídeo enrolação:** Exibir um vídeo sem muita ligação com a matéria. O aluno percebe que o vídeo é usado como forma de camuflar a aula. Pode concordar na hora, mas discorda do seu mau uso.

* **Vídeo deslumbramento:** O professor que acaba de descobrir o uso do vídeo costuma empolgar-se e passa vídeo em todas as aulas esquecendo outras dinâmicas mais pertinentes. O uso exagerado do vídeo diminui a sua eficácia e empobrece as aulas.

* **Vídeo perfeição:** Existem professores que questionam todos os vídeos possíveis porque possuem defeitos de informação ou estéticos. Os vídeos que apresentam conceitos problemáticos podem ser usados para descobri-los, junto com os alunos, e questioná-los.

* **Só vídeo:** Não é satisfatório didaticamente exibir sem discuti-lo, sem integrá-lo com o assunto de aula, sem voltar e mostrar alguns momentos mais importantes. (MORAN, 1995, p. 3)

Essas posturas indevidas ou os vícios na utilização do vídeo estão associados a um fator muito importante para a prática didática cotidiana do docente, com implicações desfavoráveis sérias para o processo de ensino e aprendizagem, pois, o uso inadequado compromete tanto a credibilidade dessa ferramenta, quanto a credibilidade do trabalho do docente e da instituição a qual o professor representa.

3.4 Algumas conclusões sobre a exploração de vídeo no ensino de física

Como foi visto anteriormente, os docentes devem utilizar-se dessas ferramentas bastante útil no processo de ensino e aprendizagem, sobretudo, com os devidos cuidados. Entretanto, como destaca Moran (1995) não deve ficar refém do vídeo e acabando por utilizar em todas as aulas e em todas as circunstâncias e ocasiões.

No caso de algumas disciplinas como, por exemplo, química e física, alguns experimentos não podem ser realizados em qualquer ambiente e muito menos na presença dos alunos o que torna imprescindível a utilização do vídeo como ferramenta educacional. Segundo Santos et al (2010):

O vídeo pode atuar no processo ensino/aprendizagem não apenas como um auxílio, mas também como um elemento configurador da relação professor, aluno, conteúdos e objetivos que se refletem nos processos cognitivos e atitudinais dos estudantes. Podem ser úteis em diversas situações, tais como na introdução de novos conteúdos, para despertar a motivação e curiosidade, para simular experiências de química que seriam perigosas em laboratório ou exigiriam tempo e recursos não disponíveis, para simular situações as quais os alunos não teriam facilidade de acesso, para demonstrar e ilustrar fenômenos e processos demorados como, por exemplo, o crescimento de uma planta, etc. (SANTOS et al. 2010, p. 2)

No caso específico do tema central do presente trabalho, a intenção da utilização do vídeo é minimizar a abstração da maioria dos livros analisados quando apresentam o conceito de entropia. A linguagem audiovisual consegue chegar e expandir além do que o ser humano percebe através de imagens básicas, simbólicas e padronizadas que de alguma forma se apresentam e se relacionam conosco, provocando diferentes emoções, experiências e sensações (ARROIO; GIORDAN, 2006).

No próximo capítulo vamos mostrar, inicialmente, os argumentos para a utilização de cada vídeo no decorrer da sequência do conceito de entropia e, em seguida, apresentar a Unidade Didática que será utilizada pelo professor.

Capítulo 4

Produto Educacional

4.1 Uma proposta à utilização de vídeos no ensino do conceito de entropia

Como forma de minimizar essa dificuldade no entendimento do conceito de entropia e reduzir a abstração evidente na maioria dos livros didáticos analisados nesta dissertação, vamos apresentar a sequência do referido conceito intercalando com vídeos, os quais evidenciam demonstrações experimentais lúdicas. Cada vídeo utilizando terá uma importância durante o tratamento teórico sobre o conceito de entropia e, sobretudo, tornar-se-á peça fundamental em nosso produto instrucional de modo que, com a utilização deste produto por parte dos docentes o conceito de entropia não estará vinculado aos termos ORDEM e DESORDEM.

4.1.1 Vídeo como sensibilização: Apresenta uma motivação para o estudo do conceito de entropia.

Mesmo com as constantes mudanças metodológicas utilizadas pelos docentes para abordar assuntos relacionados à Física, ela ainda é taxada como uma “disciplina difícil” por muitos estudantes: *“Física é toda difícil”*; *“não consigo compreender a física”*; *“na hora da aula é super. fácil, mas depois...”*; *“A física é muito abstrata”*. Para reverter esse quadro e despertar a curiosidade dos estudantes durante a apresentação dos conteúdos, decidimos iniciar a aula com um vídeo de curta duração para apresentar uma ideia do que queremos ministrar sobre o conceito de Entropia.

O vídeo introdutório que utilizaremos com essa finalidade não foi produzido por nós. Entretanto, julgamos que ele sendo bastante interessante, do ponto de vista de sua simplicidade, servirá de alicerce para os demais vídeos que iremos utilizar no decorrer da explanação dos conteúdos relacionados à entropia.

Como já foi citado, esse vídeo não foi editado por nós, mas sim obtido após uma pesquisa intensa em sites de domínios públicos. Durante a pesquisa, utilizamos várias palavras chaves relacionadas ao conceito de entropia e encontramos, no *YOUTUBE*, o referido VÍDEO 1 com o seguinte título: A ENTROPIA DO TEMPO, conforme figura 1.



Figura 1. Imagem inicial do vídeo introdutório - Utilizado como vídeo motivacional introdutório.
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QIFGL0v5SDc>

Após a apresentação desse vídeo, naturalmente, será questionado para os estudantes qual o sentido preferencial para a ocorrência dos eventos cotidianos sugeridos no vídeo. Seguindo nos questionamentos, mencionar o princípio da conservação da energia através da Primeira Lei da Termodinâmica. Por fim, propor se há alguma implicação em se utilizar o princípio da conservação da energia para explicar os eventos observados no vídeo.

4.1.2 Vídeos como ilustração: Mostra a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis

Após o vídeo motivacional, para a compreensão do conceito de entropia precisamos apresentar para os estudantes a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. Para isso, os livros didáticos trazem algumas situações¹⁶, muitas vezes hipotética, e bem distante

¹⁶ Leia o Apêndice A.

da realidade dos estudantes, dificultando a compreensão. Quando trazem situações do cotidiano, elas são apresentadas de modo idealizado, ou seja, os estudantes precisam utilizar a imaginação para construir tal exemplo exposto pelo livro. Sobre o vídeo como ilustração, Moran (2000) esclarece que esse formato de vídeo trás o cotidiano do estudante para a escola de modo que ele possa perceber a manifestação dos conteúdos trabalhados durante a aula e acrescenta “O vídeo muitas vezes ajuda a mostrar o que se fala em aula, a compor cenários desconhecidos dos alunos”. [...]. A vida se aproxima da escola através do vídeo. (MORAN, 2000, p.3)

Diante dessa lacuna entre os exemplos expostos pelos livros e a imaginação dos alunos, editamos três vídeos distintos para utilizarmos durante a exposição dos processos reversíveis e irreversíveis. Vale salientar que, escolhemos essas situações retratadas pelos vídeos 1, 2 e 3, pois após uma pesquisa em sites e em livros, não as encontramos como exemplos.

O vídeo 1 ilustra uma situação bastante comum quando vamos ao cinema ou até mesmo quando estamos em casa assistindo um filme. Esse vídeo é utilizado como vídeo ilustracional para mostrar a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. O vídeo 2 não retrata uma situação tão comum quanto o vídeo 1, mas também ilustra um evento que podemos utilizar para mostrar a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. O vídeo 3 fecha os exemplos utilizados para diferenciar os processos reversíveis e irreversíveis.

Durante a apresentação dos vídeos, é esperado que os estudantes recordem-se, naturalmente, de outros eventos cotidianos os quais retratam processos irreversíveis. Caso isso não ocorra, é importante destacar que existem várias situações, as quais podem ilustrar a temática expressa pelos três vídeos.

4.1.3 Vídeos como simulação: Interpretação do micro a partir de observações macroscópicas

O vídeo introdutório e os vídeos 1, 2 e 3, retratam alguns eventos observados no cotidiano e ao mesmo tempo possibilitam que os estudantes vivenciem de modo concreto a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis, bem como a partir da visualização dos

vídeos, atribuir a outros eventos as mesmas características de irreversibilidade. Entretanto, esses eventos revelam um caráter puramente macroscópico.

Para ilustrar de maneira mais elaborada os aspectos microscópicos de um sistema termodinâmicos, vamos utilizar cinco vídeos como simulação. Esse formato de vídeo é importante, pois em algumas ocasiões não podemos realizar uma experiência em sala devido ao seu grau de complexidade ou de periculosidade. Por exemplo, nem todas as reações químicas podem ser realizadas dentro de uma sala de aula; não conseguimos ver partículas de um gás confinadas dentro de um recipiente; algumas experiências requerem um bom tempo de observação, outras apresentam uma duração bem ínfima. Enfim, dentre esses motivos e vários outros, o vídeo como simulação permite que possamos ter um “controle” sobre o que queremos que os estudantes percebam.

Baseado na perspectiva do vídeo como simulação proposto por Moran (2000), vamos explorar de maneira lúdica os aspectos microscópicos os quais aparecem de modo bastante abstrato nos exemplares pesquisados nesta dissertação¹⁷. Como forma de minimizar essa abstração, os vídeos 4, 5, 6, 7 e 8 serão utilizados para ilustrar tais aspectos dos sistemas termodinâmicos.

A partir desses cinco vídeos, será possível construir e diferenciar gradativamente os conceitos de microestado e macroestado¹⁸ e, sobretudo, permitirá fazer a conexão com o conceito de entropia apresentado por Ludwig Boltzmann.

O vídeo 4 inicia a discussão sobre macroestado e microestado. A proposta inicial é simular um sistema formado apenas por duas partículas¹⁹ diferenciadas pelas cores azul e vermelha, tornando a análise mais simples em um primeiro momento.

Durante a execução do vídeo, são apresentados os termos macroestado e microestado, bem como os possíveis microestados que o sistema formado por apenas duas

¹⁷ Leia o apêndice A.

¹⁸ Apenas três exemplares pesquisados nesta dissertação abordam direta ou indiretamente esses conceitos.

¹⁹ Estamos utilizando pequenas baratinhas de brinquedo para simular as partículas de um gás denominadas **MÓBARATO**. Essas baratinhas são movidas por uma pilha de “LR44” 1,5V. Decidimos pela utilização desses objetos, pois os mesmos apresentam um movimento bastante caótico o que é característico das partículas de um gás. Além disso, não precisamos agitar o sistema manualmente para obter o resultado esperado.

partículas pode assumir. Ao término do vídeo, será questionado aos estudantes o que vem a ser um macroestado e um microestado.

Na sequência, será apresentado o vídeo 5. Nesse vídeo, também são utilizadas duas partículas, porém a cor delas não será levada em conta.

Dessa forma, queremos mostrar aos estudantes que poderemos obter um número de microestados diferentes do vídeo 4. Com isso, será possível perceber que os microestados possíveis que um sistema pode assumir depende de condições impostas ao sistema.

O vídeo 6, contém um número de baratinhas maior (4 baratinhas). Apesar delas estarem identificadas por cores, esse aspecto não será considerado para analisar o número de microestados que o sistema pode assumir.

Até esse momento da apresentação dos vídeos 4, 5 e 6, é importante destacar que antes de analisarmos a quantidade de microestados que um sistema pode assumir, temos que escolher o macroestado. Além disso, sempre fazer a conexão da simulação das baratinhas com as partículas de um gás confinadas em um compartimento.

O vídeo 7, contém a mesma quantidade de baratinhas do vídeo 6. Entretanto, o macroestado escolhido para essa nova situação é diferente da situação anterior e, conseqüentemente, o número de microestados também será diferente.

Analisando o vídeo 7 e fazendo uma conexão com os vídeos anteriores (vídeos 4, 5 e 6), é esperado que os estudantes percebessem que o maior número de *microestados* é atingido para o *macroestado* no qual o mesmo número de baratinhas nos dois compartimentos é igual. Logo, essa será a configuração de maior probabilidade de acontecer. Além disso, podemos mostrar também que, quanto maior for o número de baratinhas (partículas confinadas em um compartimento), maior será o número de microestados associados ao macroestado no qual o número de baratinhas é igual para ambos os compartimentos.

Nesse momento da aula, a partir da compreensão de *macroestado* e *microestado*, podemos apresentar o vídeo 8, o qual tem o objetivo de fazer uma conexão entre macroestado, microestado e o conceito de entropia apresentado por Ludwig Boltzmann.

Diferentemente, do conceito proposto por Rudolf Julius Emanuel Clausius o qual contempla uma perspectiva Termodinâmica, Ludwig Boltzmann contempla uma concepção Estatística.

Como já vimos, a entropia pode ser definida utilizando os conceitos macroscópicos de calor e temperatura como foi proposto por Rudolf J. Clausius. Entretanto, a partir da compreensão de *macroestado* e *microestado* proposto por Ludwig Boltzmann, o vídeo 8 juntamente com os vídeos 4, 5, 6 e 7, mostra que a entropia também pode ser tratada de um ponto de vista microscópico com a análise estatística de movimentos moleculares.

4.1.4 Vídeo 4 como conteúdo de ensino: Apresentação direta da associação equivocada do conceito de entropia ao termo desordem

Dos 10 exemplares analisados nesta dissertação, 7 referem-se à entropia como uma *grandeza associada ao grau de desordem de um sistema sem*, no entanto, não explicam o que vem a ser essa “*desordem*”. Nesse ponto, a entropia torna-se uma grandeza com uma definição vaga e imprecisa, pois de acordo com as informações apresentadas nos livros, essa desordem está associada à configuração das moléculas num determinado espaço, ou seja, essa desordem é puramente estética.

Baseando-se nos vídeos 4, 5, 6, 7 e 8, podemos definir o conceito de entropia numa escala microscópica fazendo uma conexão com o número de microestados associados a um determinado macroestado e, com isso desvincular com os termos *ordem e desordem*. Como os macroestados mais prováveis são os com maior número de microestados e os maiores números de microestados estão associados a mais partículas confinadas num sistema, *a entropia é uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir*.

Utilizando esse raciocínio para um sistema microscópico, o vídeo 9 evidencia de maneira direta que, em um sistema macroscópico a entropia não está associada à “*desordem*”.

Essa evidência direta observada no vídeo 9 é percebida misturando-se em um Becker uma porção de água e uma porção de óleo, após certo intervalo de tempo, a mistura água óleo apresenta um aspecto visual descontínuo possuindo duas fases, conforme figura 2.

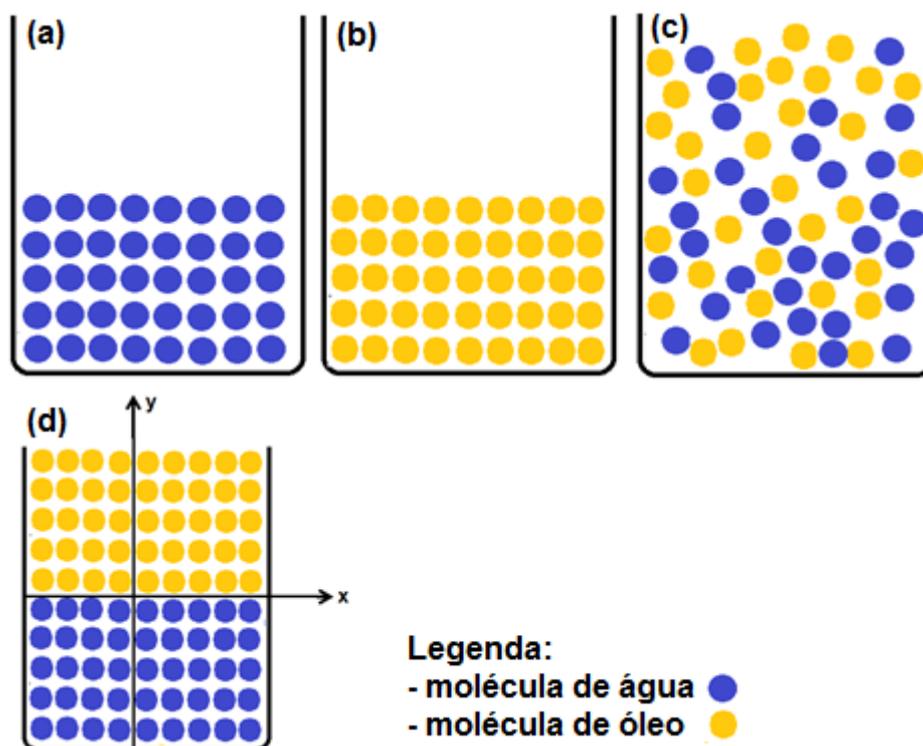


Figura 2. Etapas ilustrativas da mistura de água e óleo. (a) porção de água. (b) porção de óleo. (c) instantes iniciais após a mistura. (d) alguns instantes após mistura.

Nessa mistura água óleo ilustrada acima, houve uma *maximização da entropia*, pois após certo intervalo de tempo, cada partícula de água e de óleo ocupará os microestados prováveis e possíveis. Como podemos observar na figura 2d, os estados mais prováveis e possíveis para as moléculas de água estão abaixo do eixo da abscissa, enquanto os estados mais prováveis e possíveis para as moléculas de óleo estão acima do eixo da abscissa. Dessa forma, a mistura não retornará ao seu estado inicial e o sistema e nesse caso, o sistema encontra-se mais “ordenado”.

Capítulo 5

Metodologia e Resultados

Neste capítulo, inicialmente, nos dedicaremos à metodologia utilizada para mensurar a contribuição do nosso produto educacional. Em seguida, relataremos os resultados da pesquisa realizada antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da utilização do produto educacional.

5.1 Metodologia

Antes de iniciarmos o detalhamento da metodologia desenvolvida na aplicação do produto educacional, vamos descrever sobre a Instituição que iremos coletar os dados e posteriormente, analisá-los. Escolhemos o Colégio Salesiano Dom Bosco o qual:

- Faz parte da rede particular de ensino do Estado do Rio Grande do Norte. Estando situado em Parnamirim-Rn na Avenida Ayrton Senna, s/n. Oferece o Ensino Fundamental e Médio.
- O colégio possui um laboratório completo para realização de práticas experimentais;
- Todas as salas de aula possuem recursos multimídias facilitando na utilização de método não tradicional para abordagem de conteúdos;
- Todos os espaços físicos possuem conectividade com redes *wi-fi* e é de boa qualidade permitindo o acesso às informações extraclasse.

Feita essa breve descrição do ambiente no qual foi desenvolvido o produto educacional, vamos agora detalhar a maneira pela qual utilizamos para coletar dados e, conseqüentemente, analisá-los. Sendo assim, nosso questionário foi aplicado em quatro turmas da Terceira Série do Ensino Médio.

A escolha da aplicação nessas turmas foi determinada em função do conteúdo teórico do referido produto educacional²⁰.

Das quatro turmas utilizadas, em uma delas será utilizado o método que o professor mediador *achar conveniente para ministrar*²¹ os conteúdos relativos ao conceito de entropia. Essa turma é formada por **37** alunos e denominaremos **TURMA CONTROLE** a qual representa o grupo de controle. Optamos por não ministrar os conteúdos relativos ao conceito de entropia na intenção de não interferir nos resultados do pré-teste.

Nas **TURMAS 1 e 2** as quais são formadas por **38 e 43** alunos, respectivamente, foi utilizado o produto educacional propostos neste trabalho para ministrar os conteúdos relativos ao conceito de entropia. O produto educacional estará disponível em formato impresso e os links dos vídeos poderão ser acessados em um canal do youtube²² (**ENTROPIA**) criado na intenção de facilitar o acesso dos vídeos durante a exposição do conteúdo.

Na **TURMA 3** a qual é formada por **38** alunos utilizaremos o mesmo material impresso utilizado na turma 2, porém em formato de um blogger. Esse blogger foi criado na intenção de aproximar o espaço físico da sala de aula à realidade que vive os estudantes do século XXI. Realidade essa, permeada de informações via web as quais muitas vezes eles (os estudantes) adquirem muito tais informações antes mesmo de nós (os professores). Dessa forma, pensamos nesse formato do blogger seguindo a proposta de Gomes (2005) já citada no capítulo 2 da dissertação. Vale salientar que o blogger apresenta a mesma sequência da Unidade didática e com os mesmos questionamentos ao final de cada seção. O diferencial do blogger é que os vídeos podem ser acessados diretamente, uma vez que, em virtude da possibilidade de postagens não somente de arquivos em formato de texto, também podemos postar vídeos.

²⁰ O Produto Educacional tem como tratamento teórico o **CONCEITO DE ENTROPIA**. Na referida instituição de ensino, bem como nas referidas turmas, esse conteúdo foi desenvolvido no período propício para coletarmos os dados necessários. Além disso, outro fator importante é que eu leciono nas quatro turmas e isso favoreceu na aplicação da pesquisa.

²¹ Nessa turma, o conteúdo será ministrado por outro professor, ou seja, não teremos nenhuma influência sobre essa turma e quando compararmos os resultados das outras três turmas com a turma controle teremos a real dimensão da potencialidade de nossa unidade.

²² O link do canal do youtube para acessar: www.youtube.com/channel/UCR8ebymrGUWU57ip81-InYQ

Como forma de verificar as contribuições do produto educacional, iremos aplicar um questionário o qual encontra-se no apêndice D nas quatro turmas (TURMA CONTROLE, TURMA 1, TURMA 2 e TURMA 3) antes (pré-teste) do início da abordagem do conteúdo. Dessa forma, coletaremos nossa amostragem inicial na pesquisa. Após a aplicação desse questionário, será desenvolvida a metodologia conforme mencionada anteriormente em cada turma para apresentar os conteúdos relativos ao conceito de entropia.

Ao final da abordagem dos conteúdos, o mesmo questionário (pós-teste) será aplicado novamente. Com isso, poderemos confrontar os dados obtidos na segunda aplicação com os dados iniciais e mediante esse confronto de dados, poderemos mensurar as contribuições do nosso produto educacional nos formatos mencionados acima no processo de ensino e aprendizagem do conceito de entropia.

Vale salientar que optamos por convidar outro docente para abordagem do conceito de entropia na **turma controle** para que não houvesse nenhuma influência nos resultados da mesma, haja vista, como nós desenvolvemos o produto, conhecemos o bastante para que isso favorecesse essa turma, quando fossemos abordar o conteúdo mesmo sem utilizar nosso produto.

Para tornar mais inteligível para o leitor, organizamos a tabela a seguir a qual apresenta brevemente a organização da pesquisa desenvolvida nas turmas mencionadas anteriormente. Na primeira coluna da tabela, contém respectivamente, a descrição referente ao total de estudantes por turma; fase inicial (aplicação dos questionários – pré-teste); metodologia utilizada em cada turma; duração da metodologia desenvolvida na turma; ausência de estudantes durante a aplicação da metodologia e a fase final (aplicação do mesmo questionário – pós-teste). Nas quatro colunas seguintes, estão contidos os dados referentes a cada turma. Confira a tabela 1.

DESCRIÇÃO	TURMA CONTROLE	TURMA 1	TURMA 2	TURMA 3
Total de Estudantes	37 alunos	38 alunos	43 alunos	36 alunos
PRÉ-TESTE Aplicação do questionário	Questionário aplicado no dia 28/05/15	Questionário aplicado no dia 27/05/15	Questionário aplicado no dia 27/05/2015	Questionário aplicado no dia 27/05/15
Metodologia utilizada	A critério do professor	Material impresso	Material impresso	Material em formato blogger
Duração da metodologia	3 aulas de 50 min cada	3 aulas de 50 min cada	3 aulas de 50 min cada	3 aulas de 50 min cada
Ausência de estudantes durante a metodologia	Nenhuma ausência	Nenhuma ausência	Nenhuma ausência	Nenhuma ausência
PÓS-TESTE Aplicação do questionário	Questionário aplicado no dia 06/06/15	Questionário aplicado no dia 03/06/15	Questionário aplicado no dia 03/06/15	Questionário aplicado no dia 03/05/15

Tabela 1. Resumo da Metodologia utilizada na Pesquisa para coleta de dados.

A seguir, vamos apresentar uma avaliação breve do questionário utilizado para coletar dados na pesquisa e algumas observações; os resultados obtidos durante a pesquisa (pré e pós-teste). Com isso, poderemos quantificar às contribuições do nosso produto educacional e das maneiras que utilizamos para apresentá-lo.

5.2 Análises dos Resultados

Nesta seção vamos fazer uma avaliação do questionário utilizado para coletarmos os dados da pesquisa e a análise dos resultados no pré-teste e no pós-teste.

5.2.1 Avaliação do questionário e observações

O questionário²³ foi aplicado nas quatro turmas antes e depois da aplicação do produto educacional²⁴. Para que a aplicação fosse iniciada não foi preciso nenhuma orientação específica sobre o conteúdo das questões ou alguma restrição para que os estudantes iniciassem a marcação das questões propostas.

Todas as questões propostas são de múltipla escolha. Como forma de organizar a sequência dos questionamentos de cada pergunta conforme a sequência da Unidade Didática dividimos o questionário em duas partes:

A *primeira parte* contém cinco questões (na seguinte ordem: **01, 02, 03, 04 e 05**), as quais foram elaboradas levando em conta as concepções prévias dos estudantes do ensino médio sobre os conceitos de calor, temperatura, equilíbrio térmico, processos reversíveis, processos irreversíveis e, sobretudo, as concepções espontâneas sobre o conceito de entropia numa perspectiva da termodinâmica. Essas concepções foram obtidas do trabalho de Covalan e Silva (2005) e pela nossa experiência docente enquanto mediadores de tais conceitos em sala de aula.

A *segunda parte* contém sete questões (na seguinte ordem: **06, 07, 08, 09, 10, 11 e 12**) totalizando as doze questões do nosso questionário. Como nossa proposta é além de apresentar o conceito de entropia numa perspectiva da termodinâmica, abordar segundo um viés da mecânica estatística e, conseqüentemente, desvincular o conceito de entropia aos termos *ORDEM* e *DESORDEM*, fizemos uma pesquisa na literatura científica sobre as concepções prévias dos estudantes acerca dos conceitos necessários para o entendimento

²³ O questionário pode ser visualizado no apêndice D.

²⁴ Na turma de controle o produto educacional não foi aplicado. Dessa forma, poderemos confrontar os resultados e mensurar as contribuições do produto educacional e as formas que utilizaremos para expor o produto.

segundo uma visão estatística do conceito de entropia. Tais conceitos são: macroestado, microestado e ocupação de estados e principalmente a relação entre eles e o conceito de entropia, conforme figura 3.

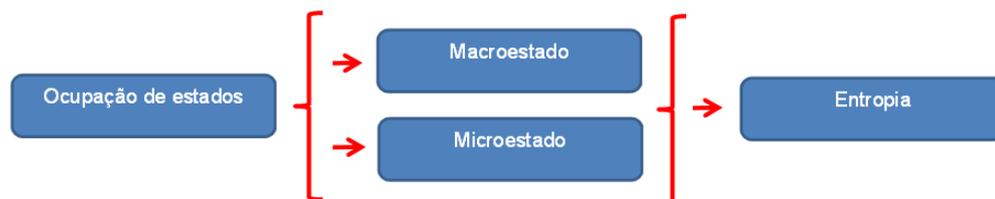
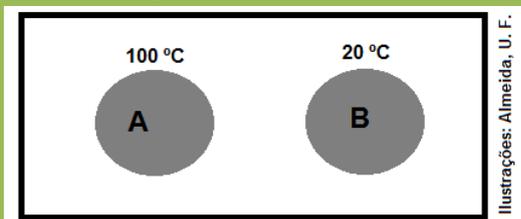


Figura 3. Esquema ilustrativo que evidencia a relação entre ocupação de estados, macroestado, microestado e entropia.

Nessa pesquisa, encontramos trabalhos realizados abordando a entropia do ponto de vista da mecânica estatística. Entretanto, nos mesmos trabalhos não encontramos pesquisas utilizando algum tipo de questionário para verificar as concepções prévias dos estudantes sobre os termos mencionados na figura 3. O que encontramos foram somente atividades práticas para serem utilizadas durante uma aula. Dessa forma, elaboramos nossas questões da segunda parte (**06, 07, 08, 09, 10, 11 e 12**) sem fazer conexão com outras pesquisas em função da escassez de literatura científica sobre o assunto. Sendo assim, para essas questões propomos situações e alternativas as quais acreditamos que, se forem concepções prévias dos estudantes, nossa Unidade Didática proporcionará uma mudança de entendimento por parte deles de maneira significativa.

A seguir, será apresentada cada questão proposta no questionário juntamente com a concepção prévia envolvida em cada alternativa e/ou com as concepções que julgamos serem prévias nos aspectos da mecânica estatística e a alternativa correta. Além disso, vamos apresentar a conexão com nosso produto educacional que busca promover a modificação de tal conhecimento prévio.

QUESTÃO 01) Considere dois corpos de mesma massa e constituídos pela mesma substância, inicialmente com temperaturas diferentes, conforme figura a seguir:



Após determinado intervalo de tempo, o que podemos afirmar?

- | | |
|----|---|
| a) | A temperatura do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico. |
| b) | O calor do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico. |
| c) | O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo A para o corpo B. |
| d) | O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo B para o corpo A. |
| e) | O calor do corpo A diminui e o do corpo B aumenta. |

Figura 4. Texto e imagem da questão 01.

As alternativas “a” e “b” evidenciam a concepção dos estudantes sobre os conceitos de *calor* e *temperatura*. De modo geral, os estudantes não fazem distinção clara entre esses dois conceitos e em muitos casos também não fazem distinção com o *frio*. É muito comum escutarmos expressões: “*estou com frio*”, “*Estou com calor*”, “*vou usar um cobertor para o frio não entrar*”, “*Vou passar temperatura ao tocar no chão frio*”.

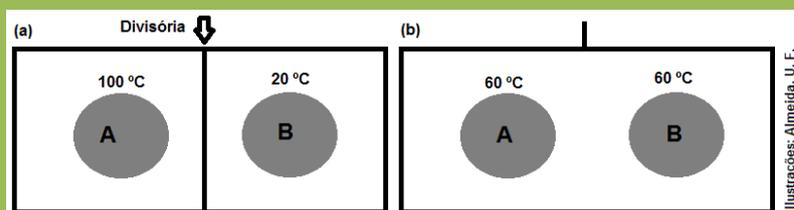
A alternativa “c” é a resposta correta.

A alternativa “d” remete-se às concepções sobre o sentido natural dos processos espontâneos e não espontâneos.

A alternativa “e” retrata a ideia de que os objetos têm propriedades e de que calor e frio são propriedades dos objetos. Logo, na concepção dos estudantes, os objetos podem perder ou ganhar tanto calor quanto frio. Além disso, eles não conseguem conceber que o calor é uma forma de energia em trânsito de um corpo para outro devido a uma diferença de temperatura.

Para essa questão os vídeos sobre irreversibilidade esclarecem o sentido preferencial dos eventos. Além disso, o tratamento teórico utilizado para explicar o conceito de entropia na perspectiva da Termodinâmica utiliza-se desses dois conceitos fundamentais. Por isso, julgamos importante verificar o entendimento dos estudantes antes (pré-teste) e após (pós-teste).

QUESTÃO 02) Considere agora os dois corpos da questão anterior dentro de um compartimento separado por uma divisória a qual não permite trocas de energia entre os objetos e isolado de influências externas (*figura a*). Removendo a divisória e após alguns minutos a temperatura de todos os objetos será de 60 °C (*figura b*).



Diante disso, é possível que o processo inverso possa ocorrer, ou seja, as temperaturas voltarem a ser como na *figura 2a* [100 °C (corpo A) e 20 °C (corpo B)]?

a)	Sim, espontaneamente
b)	Sim, mas depende da diferença de temperatura inicial dos corpos.
c)	Sim, pois uma vez atingido o equilíbrio térmico o mesmo pode ser desfeito.
d)	Não, pois a temperatura não passa espontaneamente no sentido inverso.
e)	Não, pois a energia térmica jamais flui espontaneamente de um corpo de menor da temperatura para um de maior temperatura.

Figura 5. Texto e imagem da questão 02.

A alternativa “a” evidenciam a concepção dos estudantes sobre o sentido natural da ocorrência dos eventos e, sobretudo, do sentido inverso de alguns fenômenos só ocorrerem por intermédio de uma influência externa.

A alternativa “b” também evidencia a mesma concepção do item “a”. Além disso, os estudantes não conseguem perceber as condições para a ocorrência de alguns fenômenos térmicos.

A alternativa “c” remete-se à crença de que o equilíbrio térmico pode ser atingido e depois desfeito sem nenhuma restrição.

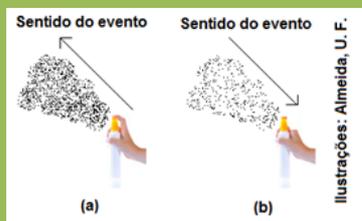
A alternativa “d” por mais que iniciem corretamente – **NÃO!** – o complemento ainda é atribuído ao conflito entre os conceitos de temperatura e calor já citados na alternativa “a” da questão 01.

A alternativa “e” é a resposta correta.

Como forma de minimizar essas concepções prévias, o vídeo introdutório evidencia algumas situações bastante inusitadas as quais certamente quando os estudantes visualizarem irão questionar se realmente são possíveis de ocorrerem ou não! Depois da exposição do

vídeo introdutório, é lançada uma discussão em sala de aula sobre a ocorrência de alguns processos naturais e um deles é a troca de energia térmica entre dois corpos com temperaturas diferentes até que o sistema atinge o equilíbrio térmico. Dessa forma, os estudantes poderão perceber qual o sentido preferencial para que o equilíbrio térmico seja atingido.

QUESTÃO 03) Na *figura 3*, está representada duas situações. Na situação expressa na *figura 3a* o desodorante sai durante a pressão exercida pelo dedo indicador. Já na *figura a seguir*, é representado o retorno do desodorante após a pressão do dedo indicador ser reduzida a zero.



Em sua opinião, qual (ais) situação (ões) pode(m) ocorrer na prática?

- | | |
|----|---|
| a) | As situações (a) e (b) ocorrem na prática. |
| b) | Somente a situação (b) ocorre na prática. |
| c) | Somente (a) ocorre na prática. |
| d) | As situações (a) e (b) são fenômenos espontâneos. |
| e) | As situações (a) e (b) não ocorrem espontaneamente. |

Figura 6. Texto e imagem da questão 03.

A alternativa “a” representa uma concepção prévia de alguns estudantes em não conseguirem estabelecer uma generalização quanto ao sentido dos processos espontâneos e, sobretudo, não diferenciarem fenômenos possíveis de sofrerem reversão daqueles totalmente irreversíveis.

A alternativa “b” remete-se a ideia de que, não existe uma restrição para a ocorrência de alguns eventos, ou seja, eles (os estudantes) não conseguem perceber que alguns eventos só podem ocorrer por meio de uma ação externa o que o torna um processo não espontâneo.

A alternativa “c” é a opção correta.

A alternativa “d” ilustra mais uma vez o conflito dos estudantes em diferenciar os fenômenos espontâneos dos não espontâneos.

A alternativa “e” evidencia o não entendimento de que um processo reversível não é o sentido inverso do processo irreversível.

Na intenção de esclarecer a diferença de processos reversíveis e irreversíveis; processos espontâneos e não espontâneos e o sentido preferencial dos eventos naturais, os vídeos 1, 2 e 3 evidencia algumas situações bastante próximas à realidade dos alunos. Ao final de cada vídeo os estudantes responderam a um questionamento o qual também está na unidade didática. Dessa forma, os estudantes poderão a partir de suas observações perceberem qual o sentido preferencial para a ocorrência dos processos naturais.

Observe a situação da figura 4 a seguir e responda às questões 04 e 05.
 Considere um recipiente isolado de qualquer ação externa dividido em duas partes iguais por uma partição, conforme figura 4. Na figura 4a, fez-se vácuo no lado direito e do lado esquerdo contém um número N de partículas.

QUESTÃO 04) Em qual situação a entropia maximizou?

- a) Figura 1a.
- b) Figura 1b.
- c) Figura 1c.
- d) Figura 1d.
- e) A entropia não mudou.

Figura 7. Texto e imagem da questão 04.

A alternativa “a” corresponde, segundo as concepções prévia dos estudantes, a uma situação na qual as partículas estando “mais organizadas” caracteriza um sistema o qual a entropia é mínima.

A alternativa “b” fornece a situação inicial de expansão das partículas. Nesse caso, os estudantes já percebem que a entropia está aumentando. E mais uma vez, esse aumento da entropia esta vinculada a uma situação de maior “desorganização”.

A alternativa “c” mostra uma evolução do sistema a partir da situação expressa na figura 4a. Como na concepção dos estudantes, essa configuração encontra-se mais desorganizada, a entropia é maior do que nas duas situações anteriores – figuras 4a e 4b.

A alternativa “d” é a resposta correta

A alternativa “e” evidencia uma situação um pouco incomum sobre o entendimento dos estudantes sobre o conceito de entropia. Esse entendimento pouco observado refere-se à associação que os estudantes fazem entre entropia e energia, ou seja, para eles entropia e energia são grandezas físicas idênticas. Dessa forma, como o sistema encontra-se isolado de ações externas, a entropia não é alterada.

Para desvincular o conceito de entropia dos termos “**ordem**” e “**desordem**”, o vídeo 8 mostrará que na questão 04 a entropia é máxima na figura 4d. Entretanto, utilizando a ideia de Ludwig Boltzmann sobre estados ocupados e microestados acessíveis.

QUESTÃO 05) Na figura 4, em que situação o sistema encontra-se mais organizado?	
a)	Figura 4a.
b)	Figura 4b.
c)	Figura 4c.
d)	Figura 4d.
e)	Em nenhuma das situações.

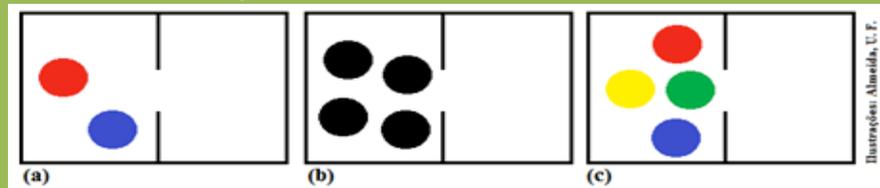
Figura 8. Texto da questão 05.

As alternativas “a”, “b”, “c” e “d” estão intimamente ligadas às concepções prévias dos estudantes sobre o ponto de vista estético, ou seja, quanto mais espalhadas estiverem as partículas em um sistema, maior será a “desordem” do mesmo e vice-versa. Essa concepção prévia não errada do ponto de vista do que é ensinado pela maioria dos livros didáticos e pelos docentes, uma vez que, é feita uma associação equivocada do conceito de entropia a uma “desordem estética” das partículas de um sistema, sem, no entanto, esclarecer sobre os aspectos energéticos do sistema.

A alternativa “e” é a resposta correta.

O vídeo 8 ilustrará o conceito de entropia, sem, no entanto, citar os termos “ordem” e “desordem”. Para tanto, utilizará a ideia de Ludwig Boltzmann sobre estados ocupados e microestados acessíveis.

Agora vamos considerar três compartimentos com duas repartições cada. As duas repartições comunicam-se por meio de um orifício cujo comprimento é suficientemente grande para permitir a passagem das esferas de um lado para o outro, como indicado na *figura 5*.



QUESTÃO 06) Na *figura 5a*, quantas combinações possíveis podemos obter para as duas esferas?

a)	Duas combinações.
b)	Três combinações.
c)	Quatro combinações.
d)	Cinco combinações.
e)	Infinitas combinações.

Figura 9. Texto e imagem da questão 06.

A alternativa “a” induz o estudante a pensar que só podemos fazer combinações com as esferas de um lado e o outro lado vazio.

A alternativa “b” propõe mais uma situação possível. Nesse caso, diferentemente da situação proposta no item “a”, o estudante será levado a pensar que as combinações possíveis para as esferas não precisa ser, necessariamente, todas de um lado e o outro lado vazio. Além disso, a cor das esferas influencia na combinação.

A alternativa “c” é a resposta correta

A alternativa “d” sugere mais possibilidades. Queremos verificar se os estudantes conseguem perceber se há um limite ou não para as combinações possíveis.

A alternativa “e” não impõe limites para as combinações possíveis das esferas. Queremos com essa alternativa verificar se os estudantes conseguem perceber que as combinações possíveis de um sistema dependem da quantidade de esferas e das características peculiares do sistema (para essa situação a característica é cor das esferas).

O vídeo 4 representa a situação evidenciada na questão seis, conforme figura 13.

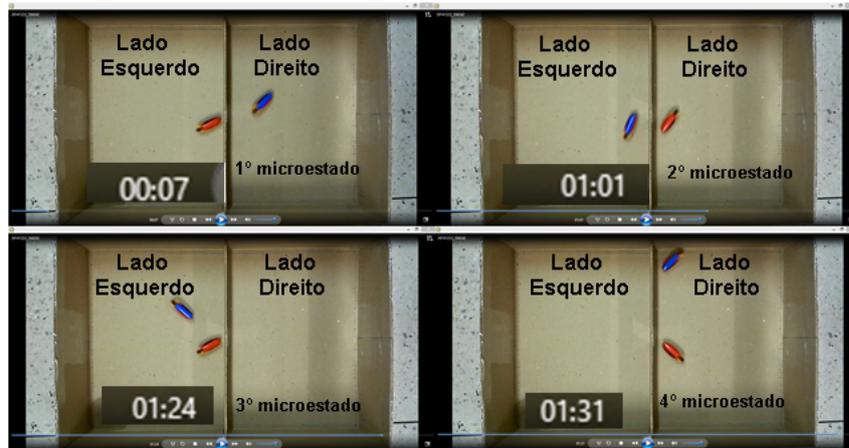


Figura 10. Sequência dos microestados atingidos no vídeo 4.

Dessa forma, para as baratinhas pintadas de vermelho e azul, podemos obter *quatro microestados* possíveis para o *macroestado duas baratinhas*.

QUESTÃO 07) Na *figura 5b*, quantos microestados possíveis podemos obter para as quatro esferas?

- a) Dois microestados.
- b) Três microestados.
- c) Quatro microestados.
- d) Cinco microestados.
- e) Não conheço a definição de microestado.

Figura 11. Texto da questão 07.

As alternativas “a”, “b” e “c” apresentam o mesmo questionamento da questão seis. Entretanto, utiliza o termo “microestado”. Cada microestado corresponde a uma combinação possível. Desejamos com a utilização desse termo verificar se os estudantes conseguem associar: combinações possíveis com microestados.

A alternativa “d” é a resposta correta.

A alternativa “e” representa uma opção caso os estudantes não conheçam a definição de microestado, haja vista, como não é uma proposta da maioria dos livros didáticos em fazer uma abordagem do conceito de entropia segundo uma perspectiva da mecânica

estatística. Dessa forma, esperamos que essa opção apresente uma porcentagem bem superior no pré-teste. O vídeo 5 ilustra a situação evidenciada na questão sete, conforme figura 14.



Figura 12. Sequência dos microestados atingidos no vídeo 5.

Dessa forma, para as baratinhas identificadas de preto podemos obter cinco *microestados* possíveis para o *macroestado quatro baratinhas*.

Questão 08) Na *figura 5c*, o que ocorre com a quantidade de microestados quando aumentamos o número de esferas e levamos em conta a cor de cada uma.

a)	Aumenta.
b)	Diminui.
c)	Não é alterado.
d)	Não há relação entre a quantidade de esferas e a quantidade de microestados.
e)	Não conheço a definição de microestado.

Figura 13. Texto da questão 08.

A alternativa “a” é a resposta correta

A alternativa “b” representa uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de esferas e o número de microestados.

A alternativa “c” evidencia uma independência entre a quantidade de esferas e o número de microestados.

A alternativa “d” caracteriza uma opção de escolha caso o conceito de microestados seja um conhecimento prévio dos estudantes, mas não a relação com a quantidade de esferas contidas em um sistema.

A alternativa “e” mais uma vez caracteriza uma opção caso os estudantes não conheçam a definição de microestados. É esperado que se o (a) estudante optar pela

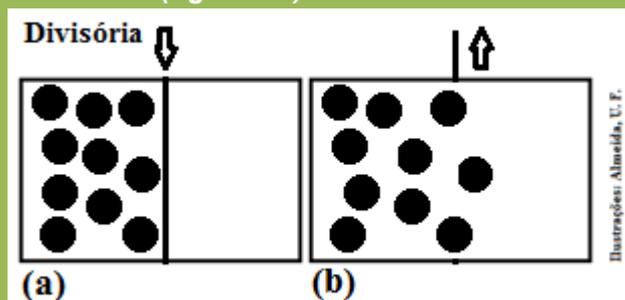
alternativa “e” na questão sete, também optará por essa alternativa nesta questão. Com isso, a porcentagem desta alternativa será igual ou muito próxima da alternativa “e” da questão anterior no pré-teste. O vídeo 7 ilustra a situação evidenciada na questão oito, conforme figura 15.



Figura 14. Sequência dos microestados atingidos no vídeo 7.

Dessa forma, para as baratinhas identificadas com as cores vermelha azul, amarela e verde, podemos obter seis microestados possíveis para o macroestado duas baratinhas de um lado e duas do outro.

Na *figura 6*, temos dez esferas do lado esquerdo do compartimento e nenhuma do lado direito (*figura 6a*). As duas repartições comunicam-se por meio de uma divisória a qual será removida (*figura 6b*).



QUESTÃO 09) Quando a divisória é removida (*figura 6b*), o que ocorre com o número de estados ocupados possíveis por cada esfera?

- | | |
|----|---|
| a) | Aumenta. |
| b) | Diminui. |
| c) | É igual ao da figura 6a. |
| d) | Não há relação entre estados ocupados e microestados. |
| e) | Não conheço a definição de estados ocupados. |

Figura 15. Texto e imagem da questão 09.

A alternativa “a” é a resposta correta.

A alternativa “b” representa uma relação inversamente proporcional entre o novo espaço disponível e o número de estados ocupados.

A alternativa “c” evidencia uma independência entre o número de estados ocupados e o novo espaço disponível.

A alternativa “d” caracteriza uma opção de escolha caso a definição de estados ocupados seja um conhecimento prévio dos estudantes, mas não a relação com o novo espaço destinado para o sistema.

A alternativa “e” caracteriza uma opção caso os estudantes não conheçam a definição de estados ocupados. Dessa forma, esperamos que no pré-teste a porcentagem desta alternativa bem considerável. O vídeo 8 ilustra a situação evidenciada na questão nove, conforme figura 16.



Figura 16. Expansão das baratinhas. (a) baratinhas movimentando-se apenas do lado direito. (b) retirando a tira de papelão permitindo a expansão. (c) baratinhas ocupando todo espaço da caixa de papelão.

Nesse vídeo é evidenciada a relação entre o novo espaço disponível e o número de estados ocupados.

QUESTÃO 10) Quando o número de estados ocupados por cada esfera aumenta o que ocorre com o número de microestados?	
a)	Aumenta.
b)	Diminui.
c)	Não é alterado.
d)	Não há relação entre estados ocupados e microestados.
e)	Não conheço a definição de estados ocupados.

Figura 17. Texto da questão 10.

A alternativa “a” é a resposta correta

As alternativas “b”, “c”, “d” e “e” apresentam as mesmas intenções das alternativas “b”, “c”, “d” e “e” da questão nove

Queremos com a questão dez verificar se os estudantes relacionam o número de estados ocupados com os microestados. Assim como a questão nove, esperamos que no pré-teste a alternativa “e” apresente uma porcentagem bem considerada.

Para que os estudantes consigam fazer a conexão entre o número de estados ocupados com a ideia de microestado, assim como na questão nove, o vídeo 8 será a ponte para tal conexão.

QUESTÃO 11) Quando o número de estados ocupados por cada esfera aumenta o que ocorre com a entropia?	
a)	Aumenta.
b)	Diminui.
c)	Não é alterado.
d)	Não há relação entre estados ocupados e o conceito de entropia.
e)	Não conheço a relação entre estados ocupados e o conceito de entropia.

Figura 18. Texto da questão 11.

A alternativa “a” é a resposta correta

As alternativas “b”, “c”, “d” e “e” apresentam as mesmas intenções das alternativas “b”, “c”, “d” e “e” da questão dez.

Queremos com a questão onze verificar se os estudantes relacionam o número de estados ocupados com conceito de entropia, bem como com a equação de Ludwig Boltzmann. Assim como nas questões nove e dez, esperamos que no pré-teste a alternativa “e” apresente uma porcentagem bem considerada.

Para que os estudantes consigam fazer a conexão entre o número de estados ocupados e o conceito de entropia, assim como nas questões nove e dez, o vídeo 8 será o mecanismo para tal conexão.

QUESTÃO 12) Qual o item abaixo melhor define o conceito de Entropia.	
a)	É uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir.
b)	Grau de desordem de um sistema.
c)	Quantidade de energia contida em um sistema.
d)	Grau de agitação das moléculas de um sistema.
e)	Não conheço a definição de entropia.

Figura 19. Texto da questão 12.

A alternativa “a” é a resposta correta.

A alternativa “b” evidencia a concepção prévia dos estudantes que associa a entropia à desordem de um sistema. Essa desordem está associada ao arranjo estético das partículas do sistema.

A alternativa “c” retrata o conflito entre o conceito de entropia e o conceito de energia.

A alternativa “d” mostra

A alternativa “e” corresponde a uma opção para verificarmos se os estudantes não apresentam o conceito de entropia como subsunçor, segundo a teoria de aprendizagem de David Ausubel.

Para essa questão específica, é esperado que após a visualização dos vídeos 4, 5, 6, 7, 8 e 9 os estudantes possam desvincular o conceito de entropia aos termos “ordem” e “desordem”.

5.2.2 Análise do pré e do pós-teste

A análise dos resultados tem como base a comparação do desempenho dos estudantes das quatro turmas no pré e no pós-teste. O gráfico 1 apresenta a média de acertos em cada um desses momentos.

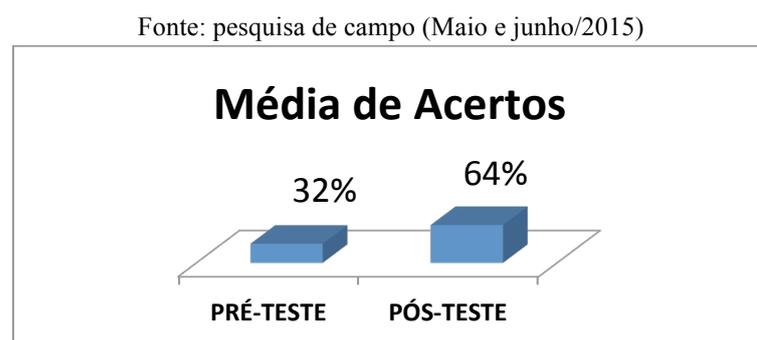


Gráfico 1. Média de acertos dos estudantes das quatro turmas no pré e no pós-teste.

Ainda baseando-se no desempenho dos estudantes, mas agora levando em conta resultado global do número de acertos no questionário no pré e no pós-teste, o gráfico 2 representa a frequência de acertos em função do total de acertos no pré-teste.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

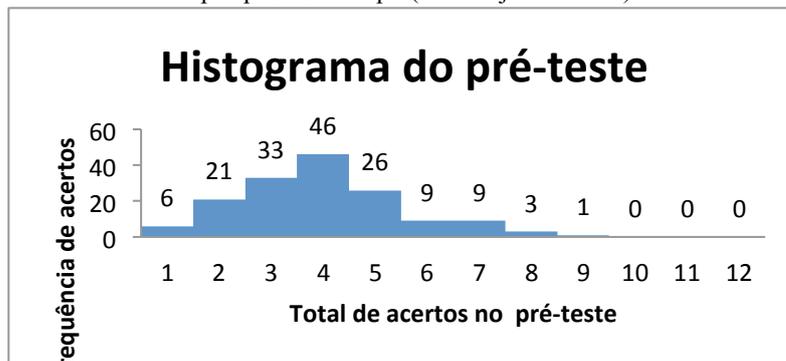


Gráfico 2. Histograma da frequência de acertos no pré-teste.

Podemos perceber que o histograma acima apresenta uma assimetria à esquerda, o que permite inferir que a maior parte dos 154 estudantes (106 estudantes) obteve, no pré-teste, um total de acertos entre 1 e 4 questões no total de 12. O resultado expresso nesse histograma corrobora com o gráfico 1, pois a media geral de acertos no pré-teste foi de 32%. O gráfico 3 mostra a evolução dos estudantes das TURMAS 1, 2 e 3 após a aplicação do produto educacional, pois o histograma apresenta uma simetria à direita, ou seja, o máximo do histograma encontra-se mais próximo do total de acertos de 12 questões.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

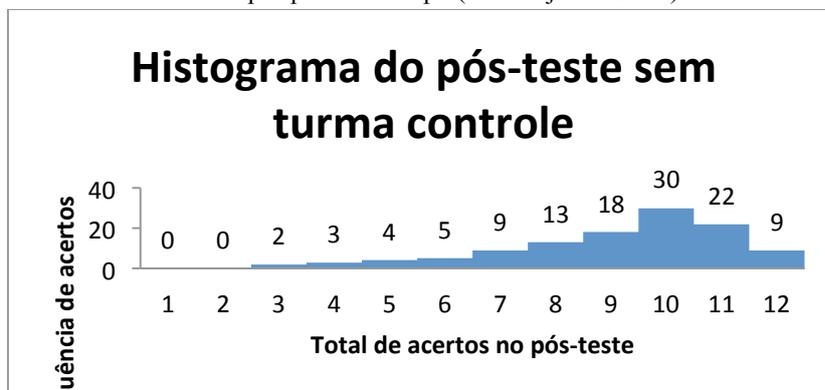


Gráfico 3. Histograma de frequências de acertos no pós-teste sem computar o total de acertos da turma controle.

As turmas que foram submetidas ao produto totalizam 115 estudantes. Diante disso, o gráfico 3 mostra que após a aplicação do produto educacional os estudantes conseguiram apresentar um desempenho satisfatório no pós-teste, como podemos perceber pelo histograma contido no gráfico 3, 79 estudantes acertaram acima de 9 questões e, sobretudo, nenhum estudante acertou apenas 1 ou 2 questões. O gráfico 4 engloba os resultados dos estudantes da turma controle no pós-teste.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

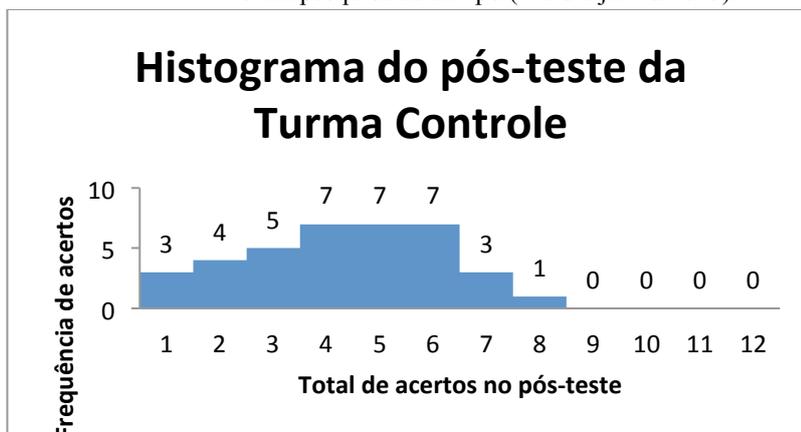


Gráfico 4. Histograma de frequências de acertos no pós-teste da turma controle.

Comparando o gráfico 4 com o gráfico 3, podemos observar que a frequência máxima de acertos ainda encontra-se deslocada para a esquerda. Isso é explicado, pois, como o produto educacional não foi aplicado na TURMA CONTROLE a qual totaliza 37 estudantes o desempenho dos estudantes dessa turma no pós-teste foi um pouco superior, entretanto manteve-se bem próximo ao desempenho no pré-teste os quais, de acordo com o gráfico 2, a média ponderada de acertos foi de 3,96 e de acordo com o gráfico 4 a média ponderada de acertos foi de 4,35. Dessa forma, a dispersão dos dados referentes ao total de acertos manteve-se à esquerda, o eu era de se esperar.

Feita essa análise por desempenho individual no questionário, voltemos a mostrar a média de acertos no pré e no pós-teste, das quatro turmas, conforme gráfico 5.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

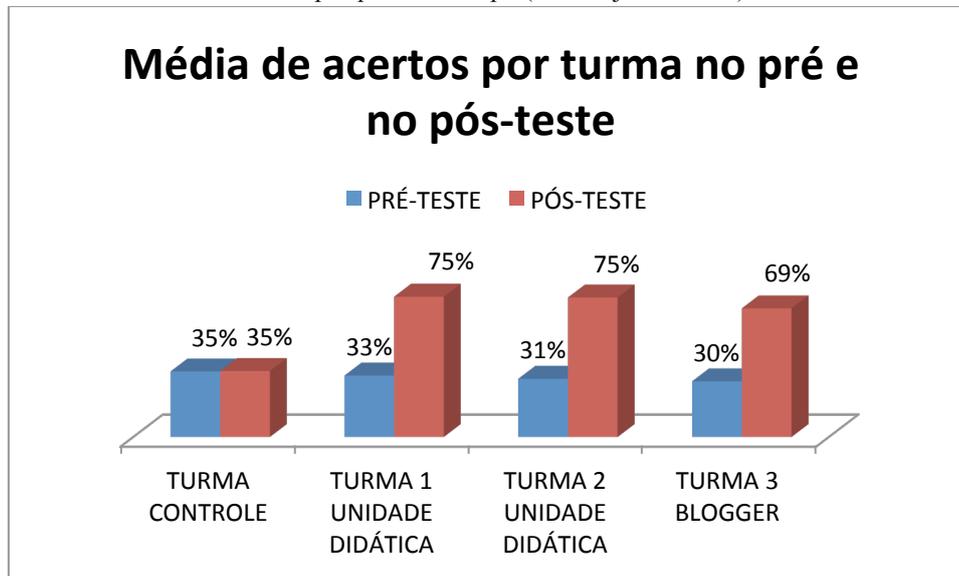


Gráfico 5. Média de acertos em cada turma no pré e no pós-teste.

Como podemos perceber no gráfico 5, na turma que o produto educacional não foi desenvolvido a média de acertos manteve-se constante (35%). Enquanto nas turmas em que o produto foi aplicado o percentual de acertos no pré e no pós-teste teve um aumento significativo. Esse resultado evidencia que os vídeos utilizados, bem como o tratamento teórico abordado proporcionaram um melhor entendimento sobre o conceito de entropia. Como podemos perceber, após a aplicação dos vídeos juntamente com o tratamento teórico no formato impresso o percentual médio de acertos evoluiu de 33% (pré-teste) para 75% (pós-teste) – TURMA 1 – e 31% (pré-teste) para 75% (pós-teste) – TURMA 2 –, ou seja, uma evolução de mais de 40%, valor bastante considerável.

Já na turma que foi desenvolvido o produto educacional no formato de blogger – TURMA 3 – apesar de a evolução percentual média ter sido um pouco inferior, 30% (pré-teste) para 69% (pós-teste), também representa um valor bastante considerável. Essa diferença sutil na evolução dos resultados das turmas 1 e 2 com a turma 3 pode ser justificada pela ausência de um professor mediador no processo de ensino e aprendizagem. Isto é, os estudantes foram orientados para, de maneira autônoma, acessarem os vídeos e o tratamento teórico pelo blogger sem a presença física do professor. Dessa forma, não

podemos garantir que todos os estudantes acessaram efetivamente o blogger antes da aplicação do pós-teste.

Outro ponto importante que podemos destacar no gráfico 5 é que antes da aplicação do pré-teste, os conhecimentos prévios dos estudantes sobre determinados assuntos abordados no questionário, bem como as ideias âncoras que os estudantes não tinham sobre outros questionamentos era bem homogênea, pois a média percentual de acertos foi bastante semelhante nas quatro turmas.

O gráfico 6 apresenta o percentual de acertos das turmas em cada uma das questões antes e depois da aplicação do produto educacional nas turmas 1, 2 e 3 e da omissão da aplicação na turma controle.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

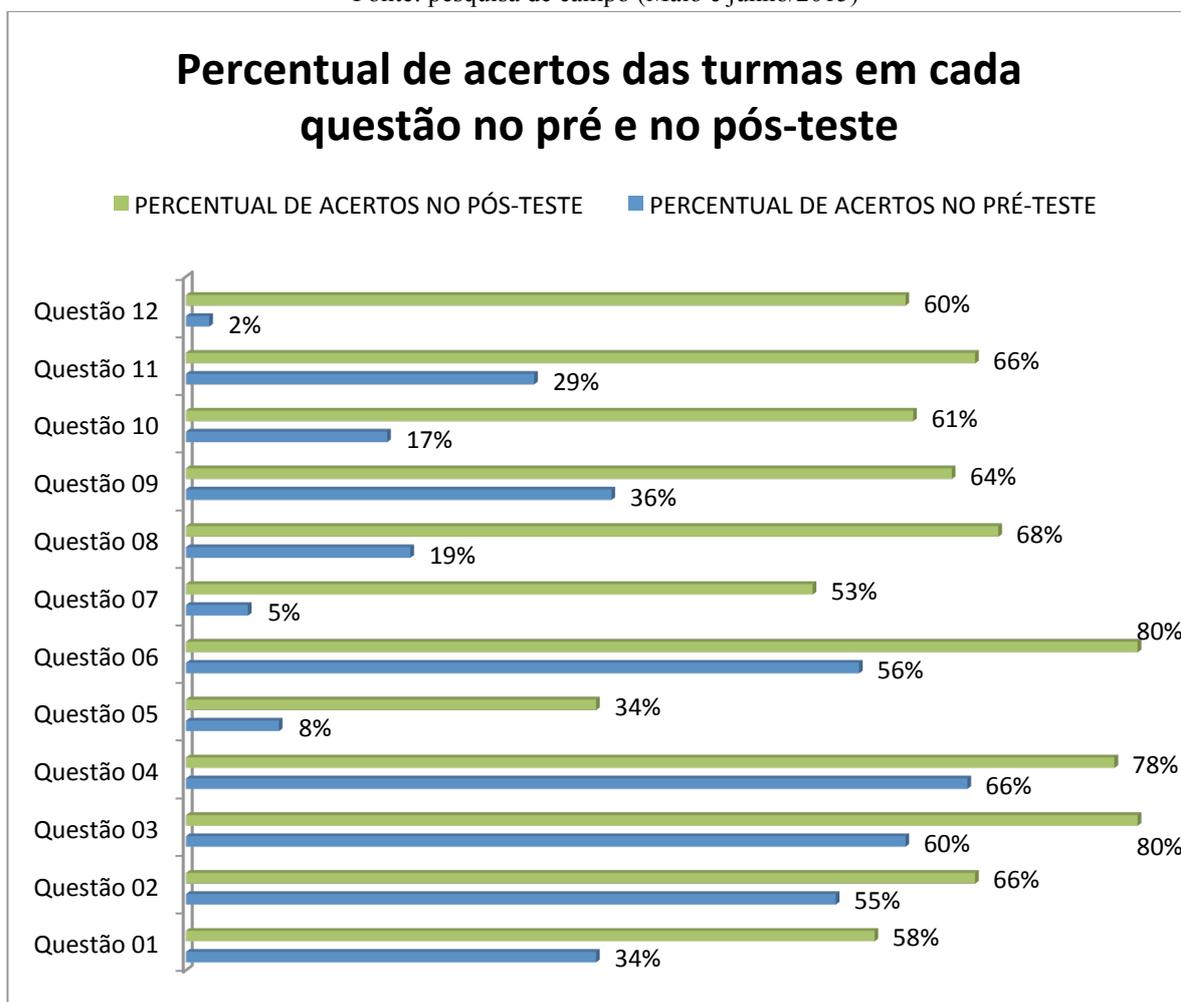


Gráfico 6. Percentual de acertos das turmas em cada questão no pré e no pós-teste.

No gráfico 6, mesmo englobando todo o espaço amostral²⁵, em todas as questões houve um aumento nos percentuais médios de acertos em todas as turmas. Entretanto, analisando com mais detalhes, podemos perceber alguns aspectos peculiares nesse gráfico. O primeiro aspecto é observado nas quatro primeiras questões (01, 02, 03 e 04) no qual, o percentual de acertos no pré e no pós-teste não apresentou uma diferença significativa em comparação com os percentuais da questão sete em diante. Logo, podemos concluir que o produto educacional reforçou os conhecimentos prévios que os estudantes já traziam consigo em suas bagagens cognitivas. O segundo pode ser visualizado na questão 05, a qual

²⁵ O espaço amostral é constituído por 154 estudantes subdivididos (em quantidades diferentes) em quatro turmas, conforme a tabela 1 da seção 5.1.

apresentou um percentual de acertos no pós-teste bem abaixo de 50%, porém comparando com o percentual de acertos no pré-teste (8%), a evolução foi de 28%. Evolução essa, superior às evoluções das questões anteriores. O terceiro é percebido da questão 07 em diante, as quais apresentaram os maiores percentuais de acertos no pós-teste em comparação com o pré-teste. E em especial, a questão 12 a qual apresentou o menor percentual de acerto no pré-teste (apenas 2%) e, conseqüentemente, a maior variação percentual de acerto dentre as questões (58%).

Os gráficos a seguir mostraram os percentuais de acertos de cada questão (em vermelho) e os percentuais de respostas erradas mais escolhidas (em azul) no pré e no pós-teste, respectivamente para as quatro turmas – TURMA CONTROLE, TURMA 1, TURMA 2 e TURMA 3. O espaço amostral para cada turma foi 37, 38, 43 e 36 estudantes, respectivamente.

Dessa forma, vamos mensurar o desempenho por turma fazendo uma conexão dos dados expressos nos gráficos seguintes com a seção 5.2.1 (Avaliação do Questionário).

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

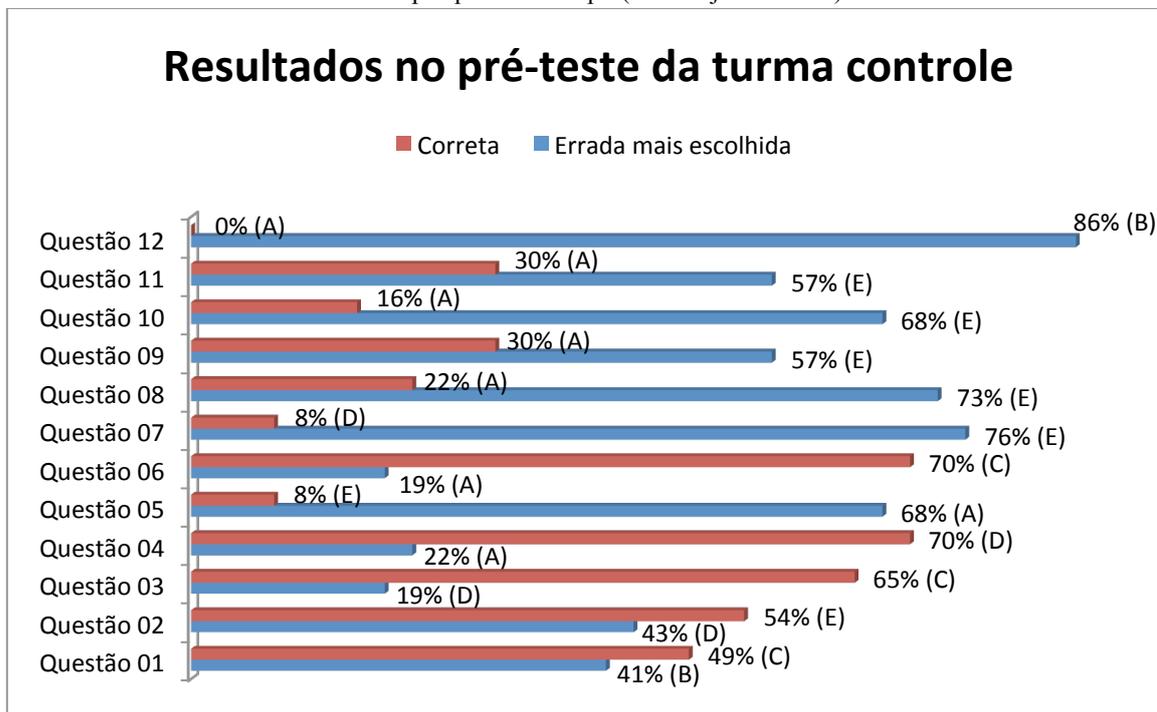


Gráfico 7. Resultado do pré-teste da turma controle.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

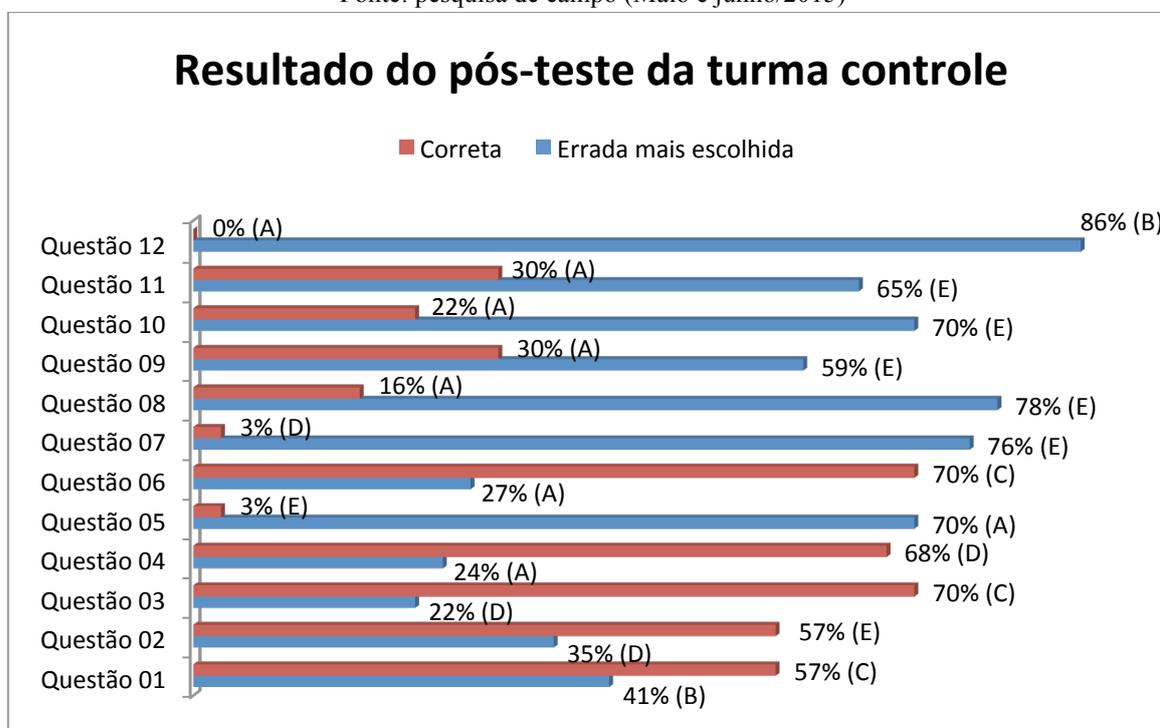


Gráfico 8. Resultado do pós-teste da turma controle.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

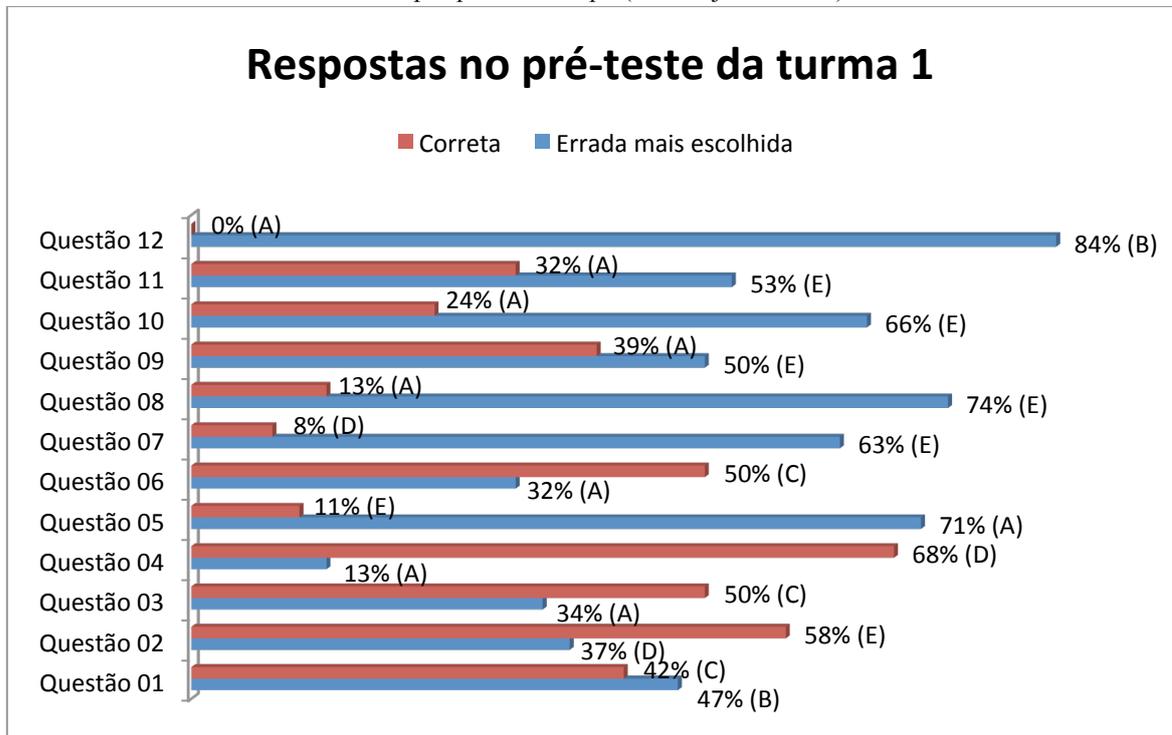


Gráfico 9. Resultado do pré-teste da turma 1.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

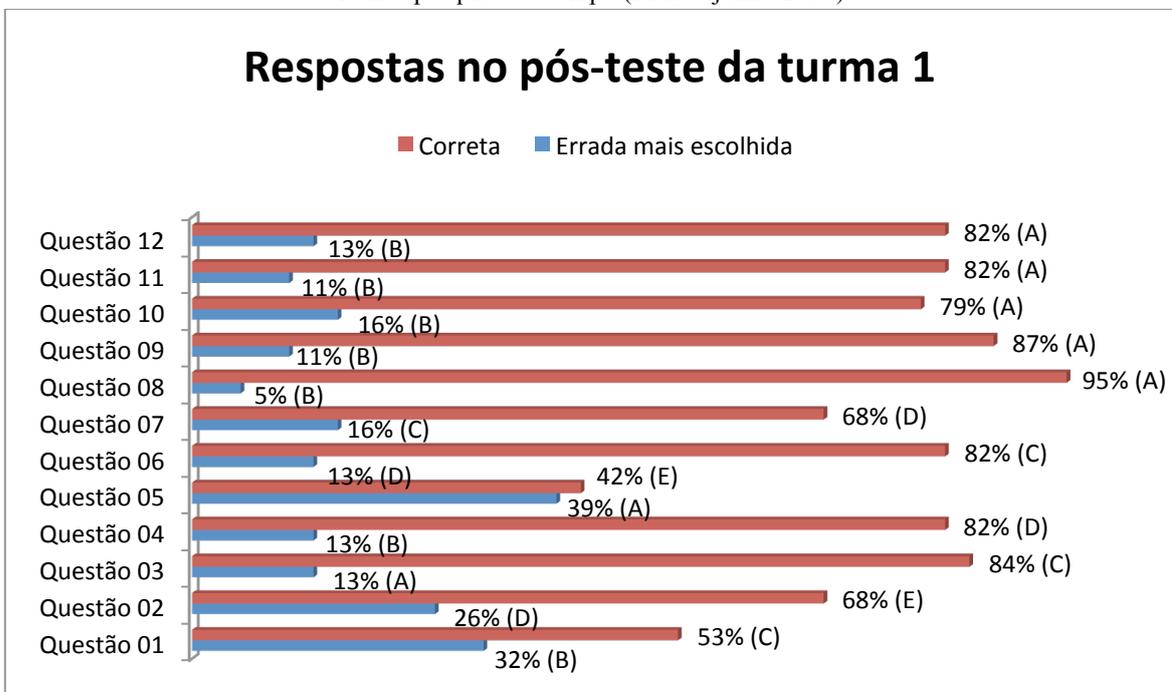


Gráfico 10. Resultado do pós-teste da turma 1.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

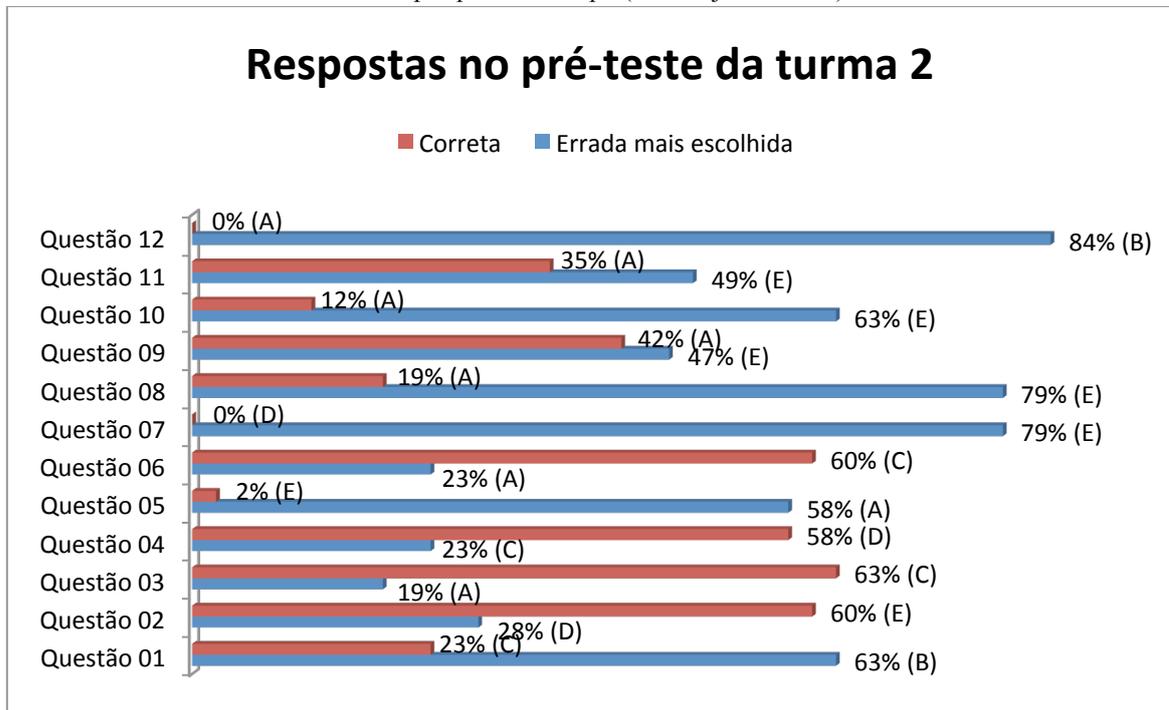


Gráfico 11. Resultado do pré-teste da turma 2.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

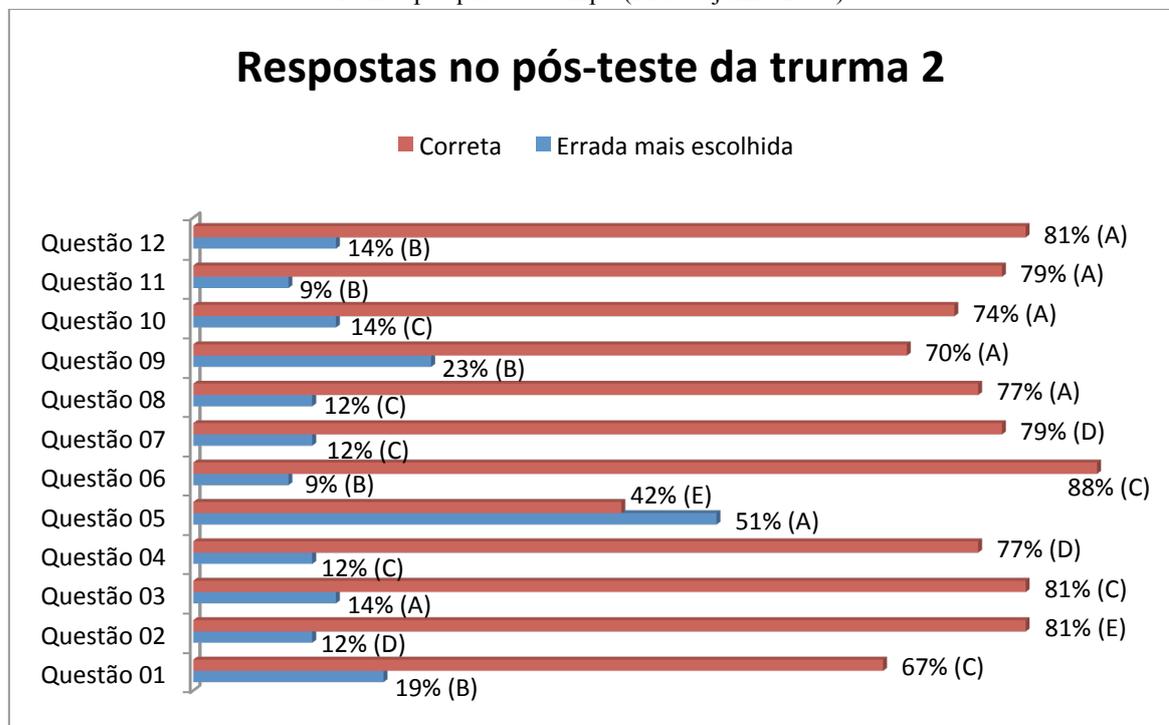


Gráfico 12. Resultados do pós-teste da turma 2.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

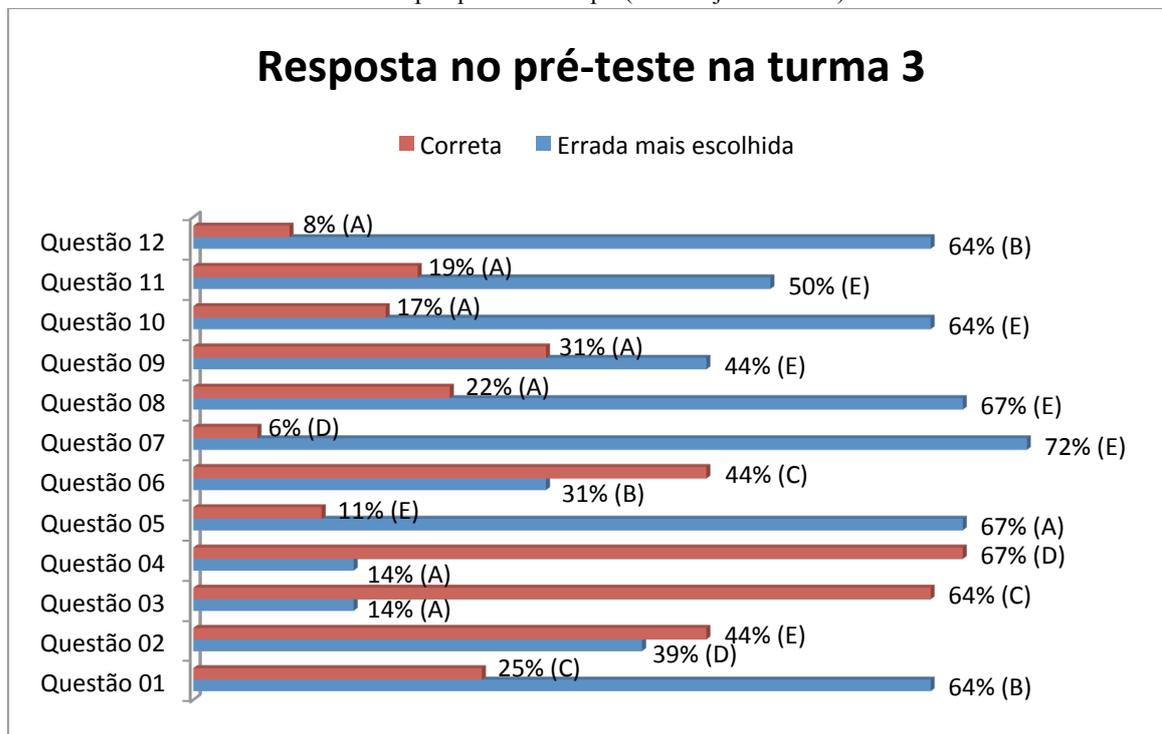


Gráfico 13. Resultado do pré-teste da turma 3.

Fonte: pesquisa de campo (Maio e junho/2015)

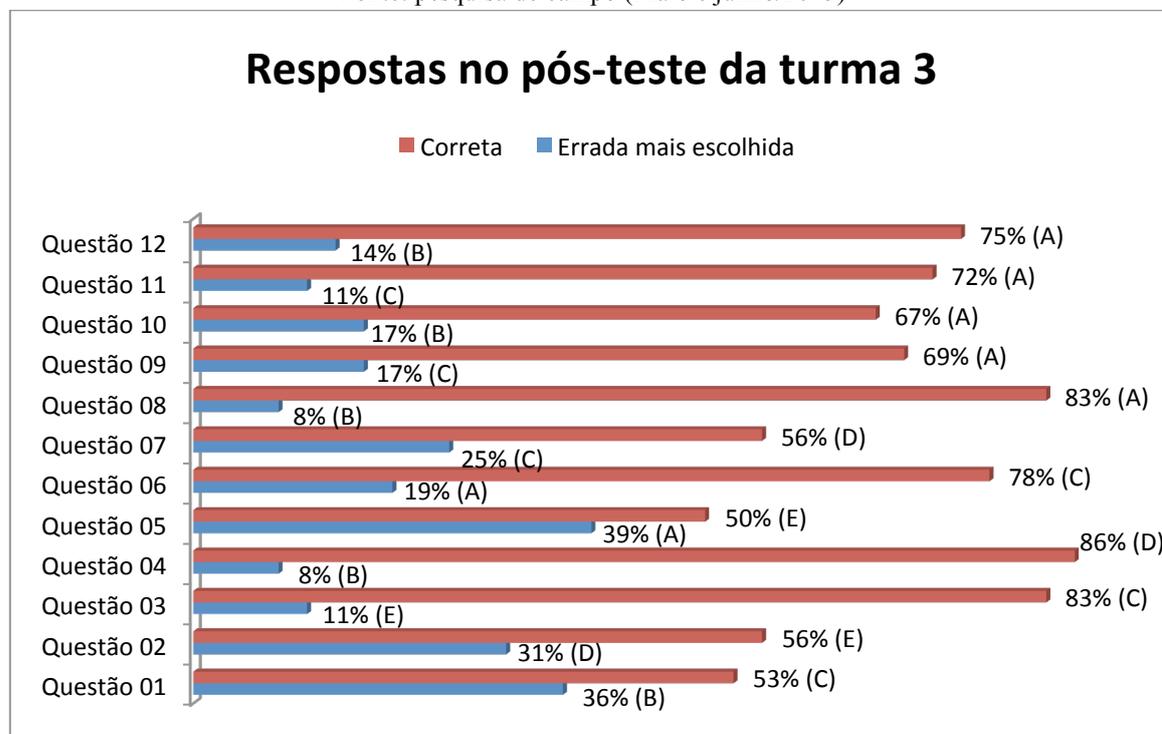


Gráfico 14. Resultado do pós-teste da turma 3.

A partir dos gráficos 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 é apresentada a seguir uma análise sobre os resultados de cada questão nas TURMAS 1, 2 e 3 bem como na turma controle.

A questão 01 apresentou um aumento no percentual de acertos em todas as turmas. Porém, na TURMA 2 (ver gráficos 11 e 12) e na TURMA 3 (ver gráficos 13 e 14) houve a maior variação percentual de acertos. Logo, podemos concluir que o produto educacional foi mais eficaz nessas turmas. Em todas as turmas, no pré-teste, a alternativa errada mais escolhida foi a letra B (TURMA CONTROLE – 41%, TURMA 1 – 47%, TURMA 2 – 63% e TURMA 3 – 64%). Isso é justificado, pois os estudantes não fazem distinção clara entre *calor* e *temperatura*. Outro ponto importante que merece destaque é que na TURMA CONTROLE a variação percentual no número de acertos foi bem inferior à variação percentual das outras turmas e, sobretudo, que o conflito entre os conceitos de *calor* e *temperatura* manteve-se, uma vez que no pré e no pós-teste o percentual de estudantes que optaram pela letra B foi exatamente o mesmo (41%).

Na questão 02, apesar de ter ocorrido um aumento no percentual de acertos em todas as turmas, os estudantes ainda manifestaram o mesmo conflito entre os conceitos de *calor* e *temperatura*, pois em todas as turmas, no pré-teste, a alternativa errada mais escolhida foi a letra D (TURMA CONTROLE – 43%, TURMA 1 – 37%, TURMA 2 – 28% e TURMA 3 – 39%). Na TURMA 3, o produto educacional proporcionou uma maior compreensão na ocorrência de alguns eventos espontâneos, uma vez que, a opção errada mais escolhida (letra D) teve uma redução no percentual mais significativa no pré e no pós-teste (de 28% para 12%) do que nas outras turmas bem como um aumento no percentual de acertos (de 60% para 81%). Do mesmo modo que na questão 01, na TURMA CONTROLE, a variação percentual no desempenho no pré e no pós-teste foi bastante próxima (ver gráficos 7 e 8).

Na questão 03, a alternativa errada mais escolhida nas TURMAS 1, 2 e 3, no pré-teste, foi a letra A (TURMA 1 – 34%, TURMA 2 – 19% e TURMA 3 – 14%). Isso corrobora com a análise feita na seção 5.2.1 sobre a concepção espontânea de alguns estudantes em não conseguirem estabelecer uma generalização quanto ao sentido dos processos espontâneos e, sobretudo, não diferenciarem fenômenos possíveis de sofrerem reversão daqueles totalmente irreversíveis. Após a utilização dos vídeos sobre reversibilidade e irreversibilidade essa concepção espontânea sofreu uma modificação mais significativa na TURMA 1 e mais branda nas TURMAS 2 e 3 como podemos perceber nos

resultados do pós-teste (TURMA 1 – 13%%, TURMA 2 – 14% e TURMA 3 – 11%). Entretanto, queremos destacar que nas quatro turmas, a maior parte dos estudantes marcou a alternativa correta (letra C) no pré-teste (TURMA CONTROLE – 65%, TURMA 1 – 50%%, TURMA 2 – 63% e TURMA 3 – 64%) e confirmaram no pós-teste (TURMA CONTROLE – 70%, TURMA 1 – 84%%, TURMA 2 – 81% e TURMA 3 – 83%). Isso evidencia que os estudantes envolvidos na pesquisa trazem consigo os conhecimentos prévios sobre processos reversíveis e irreversíveis. Na TURMA CONTROLE, os subsunçores foram mantidos e nas outras turmas o produto educacional fortaleceu esses subsunçores. Outro ponto de destaque é que na TURMA CONTROLE, a variação percentual no desempenho dos estudantes foi bem discreta no pré-teste 65% optaram pela alternativa correta e no pós-teste 70% em comparação com a variação percentual das outras turmas.

A questão 04 apresentou um aspecto bem interessante quando comparamos os resultados das quatro turmas. Na TURMA CONTROLE, a variação percentual de acertos sofreu uma redução sutil (no pré-teste 70% e no pós-teste 68%) e a variação percentual da opção errada mais escolhida sofreu um aumento sutil também (no pré-teste 22% marcaram a letra A e no pós-teste 24% marcaram a mesma letra). Isso revela que nessa turma, os estudantes não conseguiram melhorar suas compreensões sobre o conceito de entropia e, sobretudo, quais as condições para que a entropia maximize. Em contra partida, nas turmas em que o produto educacional foi desenvolvido (TURMA 1, 2 e 3), é observado que os estudantes já tinham uma compreensão sobre eventos nos quais a entropia sofre uma maximização como podemos perceber nos resultados do pré-teste, a maioria dos estudantes optaram pela letra correta que nesse caso é a letra D (TURMA 1 – 68%%, TURMA 2 – 58% e TURMA 3 – 67%). Após a utilização do **VÍDEO 8 – OCUPAÇÃO DE ESTADOS**, o percentual de acertos sofreu um aumento no pós-teste (TURMA 1 – 82%%, TURMA 2 – 77% e TURMA 3 – 86%). Dessa forma, nessas turmas o produto foi importante para fortalecer a ideia de maximização de entropia quando um gás sofre uma expansão. Queremos destacar ainda que a opção errada mais escolhida na TURMA um foi altera (no pré-teste 13% optaram pela letra A e no pós-teste 13% optaram pela letra B); na TURMA dois a opção errada mais escolhida foi mantida (letra C) e o percentual que foi alterado (no pré-teste 23 % e no pós-teste 12%); na TURMA 3 a opção errada mais escolhida também foi alterada (no pré-teste 14 % optaram pela letra A e no pós-teste 8% optaram pela letra B).

Esse percentual de estudantes que não escolheram a opção correta evidencia a associação equivocada entre o **conceito de entropia** e o termo **desordem** expressa na maioria dos livros didáticos analisados na presente dissertação e, conseqüentemente, é absorvida pelos estudantes.

Assim como a questão 04, a questão 05 apresentou um aspecto bem peculiar quando comparamos os resultados das quatro turmas. Na TURMA CONTROLE, a variação percentual de acertos sofreu uma redução (no pré-teste 8% e no pós-teste 3%) e a variação percentual da opção errada mais escolhida sofreu um aumento (no pré-teste 68% marcaram a letra A e no pós-teste 70% marcaram a mesma letra). Na TURMA 1, o percentual de estudantes que modificaram suas concepções sobre o conceito de entropia foi significativo (no pré-teste 11% haviam escolhido a opção correta (letra E) e 71% haviam escolhido a letra A e no pós-teste 42% escolheram a opção correta (letra E) e 39% haviam escolhido a letra A). Na TURMA 2, os resultados foram (no pré-teste 2% haviam escolhido a opção correta (letra E) e 58% haviam escolhido a letra A e no pós-teste 42% escolheram a opção correta (letra E) e 51% haviam escolhido a letra A). Aqui destacamos que apesar do percentual de estudantes (42%) desvincularem o conceito de entropia ao termo desordem, o percentual de estudantes (51%) que ainda associam o conceito de entropia ao termo desordem é um pouco superior. Mesmo assim, nessa turma o produto educacional proporcionou uma mudança favorável de perspectiva. Na TURMA 3, os resultados foram (no pré-teste 11% haviam escolhido a opção correta (letra E) e 67% haviam escolhido a letra A e no pós-teste 50% escolheram a opção correta (letra E) e 39% haviam escolhido a letra A). Nessa turma o resultado foi mais positivo, uma vez que ao final da aplicação do produto, o percentual de estudantes (50%) que desvincularam o conceito de entropia ao termo desordem foi superior aos demais (39%). Mais uma vez, podemos associar essa variação percentual com a associação equivocada do **conceito de entropia** com o termo **desordem**. Tal associação está intimamente ligada às concepções espontâneas dos estudantes sobre o ponto de vista estético, ou seja, quanto mais espalhadas estiverem as partículas em um sistema, maior será a “desordem” do mesmo e vice-versa.

A questão 06 apresentou um percentual de acertos no pós-teste bastante considerável (TURMA CONTROLE – 70%, TURMA 1 – 82%, TURMA 2 – 88% e TURMA 3 – 78%). Muito embora, no pré-teste, os resultados mostram que o desempenho dos estudantes que

acertaram foi maior do que os estudantes que optaram por outra alternativa (TURMA CONTROLE – 70%, TURMA 1 – 50%, TURMA 2 – 60% e TURMA 3 – 44%). Para essa questão específica, podemos inferir que o vídeo 4 utilizado nas TURMAS 1, 2 e 3 para definir os termos macroestado e microestado apenas melhoraram o entendimento dos estudantes no vem a ser uma “*combinação possível*”, pois na TURMA CONTROLE os estudantes mesmo não sendo apresentados ao vídeo 4, mantiveram o percentual de acertos no pré e no pós-teste (70%). Essa questão inicia a discussão do conceito de entropia numa perspectiva da mecânica estatística, porém usando um termo o qual acreditamos que seja “comum” para os estudantes – **COMBINAÇÃO**. Tanto é que os dados expressos anteriormente corroboram com essa ideia.

Na questão 07, em todas as turmas o percentual de estudantes que optaram pela letra E²⁶ (alternativa errada mais escolhida), no pré-teste, foi bastante considerável (TURMA CONTROLE – 76%, TURMA 1 – 63%, TURMA 2 – 79% e TURMA 3 – 72%). Além disso, um dado que chamou atenção! Na TURMA 2, nenhum estudante optou pela alternativa correta (ver gráfico 11). De um modo geral, fica evidente que o termo **MICROESTADO** era um conhecimento prévio de poucos estudantes que participaram da pesquisa. Corroborando com o que foi citado na seção 5.2.1, já esperávamos que o percentual nessa opção (letra E) fosse bem considerável. Como forma de construir esse conhecimento prévio (definição de microestado) na bagagem cognitiva dos estudantes, os vídeos 4, 5, 6 e 7 utilizados nas TURMAS 1, 2 e 3 proporcionaram essa construção por partes dos estudantes. Diante dos resultados do pós-teste, o percentual de estudantes mudaram suas concepções, ou seja, optando pela letra correta (letra D) foi bastante satisfatório (TURMA 1 – 68%, TURMA 2 – 79% e TURMA 3 – 56%). Enquanto que na TURMA CONTROLE, os resultados do pré e do pós-teste mantiveram-se (ver gráficos 7 e 8).

Assim como na questão 07, a questão 08 contém a alternativa “e” a qual mais uma vez caracteriza uma opção caso os estudantes não conheçam a definição de microestados. Dessa forma, confirmando o que já citamos na seção 5.2.1 esperávamos que se o (a)

²⁶ A alternativa “e” representa uma opção caso os estudantes não conhecessem a definição de *microestado*, haja vista, como não é uma proposta da maioria dos livros didáticos em fazer uma abordagem no conceito de entropia segundo uma perspectiva da mecânica estatística.

estudante optar pela alternativa “e” na questão sete, também optará por essa alternativa nesta questão. Com isso, o percentual dessa alternativa será igual ou muito próxima da alternativa “e” da questão sete, conforme podemos conferir: (TURMA CONTROLE – 73%, TURMA 1 – 74%, TURMA 2 – 79% e TURMA 3 – 72%). Diante dos resultados do pós-teste, o percentual de estudantes que mudaram suas concepções, ou seja, optando pela letra correta (letra A) foi bastante satisfatório (TURMA 1 – 95%, TURMA 2 – 77% e TURMA 3 – 83%). Enquanto que na TURMA CONTROLE, os resultados do pré e do pós-teste mostraram que o percentual de estudantes que optaram pela alternativa correta diminuiu (pré-teste 22% e pós-teste 16%) e o percentual de estudantes que optaram pela letra E aumentou (pré-teste 73% e pós-teste 78%).

Diferentemente das questões 07 e 08, a questão 09 também contém a alternativa “E” a qual caracteriza uma opção caso os estudantes não conhecessem a definição de *estados ocupados*. Diante disso, esperávamos que no pré-teste que o percentual de escolha dessa alternativa fosse bem considerável, conforme citamos na seção 5.2.1. Analisando os resultados, o percentual de estudantes que optaram por essa alternativa foi superior ao percentual dos estudantes que optaram pela opção correta (letra A). Entretanto, não foi tão considerável. No pré-teste esse resultados foram: TURMA CONTROLE – 57%, TURMA 1 – 50%, TURMA 2 – 47% e TURMA 3 – 44%. Após, a utilização do vídeo 8, o percentual de acertos dos estudantes das TURMAS 1, 2 e 3, no pós-teste, foi significativo (TURMA 1 – 87%, TURMA 2 – 70% e TURMA 3 – 69%). Enquanto que na TURMA CONTROLE, os resultados do pré e do pós-teste mantiveram-se (ver gráficos 7 e 8).

A questão 10 apresentou um percentual de acertos baixo em todas as turmas no pré-teste (TURMA CONTROLE – 16%, TURMA 1 – 24%, TURMA 2 – 12% e TURMA 3 – 17%). Isso mostra que os estudantes não tinham conhecimentos prévios que relacionavam *ocupação de estados* com *microestados*. Após a utilização do vídeo 8 nas TURMAS 1, 2 e 3, esse percentual de acertos sofreu uma variação considerável no pós-teste (TURMA 1 – 79%, TURMA 2 – 74% e TURMA 3 – 67%). Dessa forma, podemos inferir que esse vídeo bem como o tratamento teórico expresso na Unidade Didática proporcionou um entendimento por parte dos estudantes dos conceitos de *estados ocupados* e da relação desse conceito com o conceito de *microestado*. Enquanto que na TURMA CONTROLE, os

resultados do pré e do pós-teste apresentaram uma variação sutil nos resultados do pós-teste (ver gráficos 7 e 8).

A questão 11 apresentou um percentual de acertos no pré-teste bem próximo nas quatro turmas (TURMA CONTROLE – 30%, TURMA 1 – 32%, TURMA 2 – 35% e TURMA 3 – 19%). A intenção com essa questão era verificar se os estudantes tinham conhecimentos prévios os quais relacionavam o número de estados ocupados com conceito de entropia, bem como com a equação de Ludwig Boltzmann. Como foi verificado no percentual pré-teste, 57% dos estudantes na TURMA CONTROLE, 53% dos estudantes da TURMA 1, 49% dos estudantes da TURMA 2 e 50% dos estudantes da TURMA 3 optaram pela letra E (essa letra expressão o não conhecimento da relação entre estados ocupados e o conceito de entropia). Após a utilização do produto educacional nas TURMAS 1, 2 e 3, houve uma compreensão significativa da relação entre os estados ocupados e o conceito de entropia como podemos perceber no percentual de acertos no pós-teste (TURMA 1 – 82%, TURMA 2 – 79% e TURMA 3 – 72%). Enquanto que, na TURMA CONTROLE o percentual de estudantes que optaram pela letra correta (letra A) manteve-se exatamente igual e o percentual de estudantes que optaram pela letra E sofreu uma elevação (ver gráficos 7 e 8).

A questão 12 finaliza o nosso questionário e tem um valor significativo na nossa pesquisa, pois tem a finalidade de verificar a maneira pela qual os estudantes utilizam para definir o conceito de entropia. Sendo assim, os resultados do pré e do pós-teste serviram para mostra a contribuição real de nosso produto educacional. Após análise dos resultados, essa questão foi a questão que apresentou a maior variação percentual de acerto no pré e no pós-teste nas TURMAS 1, 2 e 3. Conforme podemos perceber no pré-teste, o percentual de estudantes que optaram opção correta foi: TURMA 1 – 0%, TURMA 2 – 0% e TURMA 3 – 8% e no pós-teste esse percentuais foram: TURMA 1 – 82%, TURMA 2 – 81% e TURMA 3 – 75%, ou seja, o produto educacional conseguiu mudar drasticamente a concepção espontânea dos estudantes sobre o conceito de entropia. Vale salientar que a alternativa errada mais escolhida foi juntamente a letra B a qual evidencia a concepção espontânea dos estudantes que associa a *entropia* ao *grau de desordem de um sistema*, como podemos observar nos percentuais do pré-teste (TURMA 1 – 84%, TURMA 2 – 84% e TURMA 3 – 64%). Outro ponto importante para mostra a contribuição do nosso produto educacional é

que na TURMA CONTROLE os resultados dos percentuais de acertos e erros no pré e no pós-teste foram exatamente iguais (0% optou pela opção correta e 86% optaram pela opção errada).

Após essa breve análise dos resultados evidenciados nos quatorze gráficos anteriores, queremos destacar que obtivemos resultados significativos nas três turmas que foram submetidas ao produto educacional (TURMAS 1, 2 e 3) em detrimento dos resultados da TURMA CONTROLE. Entretanto, não queremos com isso afirmar que somente utilizar os vídeos é a melhor ferramenta no processo ensino e aprendizagem.

Queremos propor uma forma de reduzir a abstração evidenciada na maioria dos livros analisados nesta dissertação quando menciona o conceito de entropia e, sobretudo, desvincular tal conceito aos termos “ordem” e “desordem”.

Capítulo 6

Considerações finais

Os resultados obtidos no pré e no pós-teste mostraram que o produto educacional proporcionou uma melhor compreensão sobre o conceito de entropia, haja vista, nas três turmas em que produto educacional foi aplicado a média de acertos no pós-teste foi de 73% enquanto que no pré-teste a média de acertos foi de 31%. Ou seja, um aumento percentual médio de 42%. Esses dados são significativos quando comparamos com os resultados do pré e do pós-teste obtidos na turma controle – pré-teste 35% e pós-teste 35%.

Os resultados evidenciam que nosso produto educacional compartilha com os ideais das teorias de aprendizagem a qual leva em consideração a interação entre alguma ferramenta educacional com os conhecimentos prévios dos estudantes bem como proporcionou um novo conhecimento para a bagagem cognitiva dos estudantes. Segundo Moreira, (2012):

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. (MOREIRA, 2012, p.6)

Queremos destacar que diante dessas interações entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, reforçamos mais ainda o conceito de entropia na perspectiva da Termodinâmica, pois analisando os resultados do pré e do pós-teste nas primeiras quatro questões do questionário o desempenho dos estudantes foi muito semelhante. Além disso, apresentamos uma “nova”²⁷ maneira de interpretar o conceito de entropia segundo a Mecânica Estatística. Com isso, conseguimos, parcialmente, desvincular o conceito aos termos “*ordem*” e “*desordem*”, pois antes da aplicação do produto educacional, para um universo de 154 estudantes, apenas 2% não associavam entropia a “grau de desordem de um sistema” (forma equivocada de interpretar a entropia) e após a aplicação do produto nas três

²⁷ Essa maneira é “nova” do ponto de vista da abordagem atual de alguns livros didáticos tradicionalmente utilizados no ensino médio.

turmas, mas ainda totalizando o espaço amostral, o percentual de estudantes que optaram pelo conceito coerente foi de 60%.

Diante dos resultados, queremos chamar atenção à maneira pela qual os livros didáticos do ensino médio analisados nesta dissertação abordam o conceito de entropia. Dos dez exemplares citados no apêndice A, sete (70%) refere-se a entropia como uma grandeza associada ao ***grau de desordem de um sistema*** sem, no entanto, explicar o que vem a ser essa ***“desordem”***. Neste ponto, a entropia torna-se uma grandeza com uma definição vaga, imprecisa e abstrata, pois de acordo com as informações apresentadas nos livros, essa desordem está associada à configuração das moléculas num determinado espaço, ou seja, essa desordem é puramente estética. Concluímos que os autores muitas vezes não apresentam o cuidado com a linguagem utilizada, ou seja, não conceituam palavras primordiais para um bom entendimento do conceito de entropia. Essas peculiaridades podem originar concepções alternativas, que surgirão como obstáculos na compreensão científica do conceito.

Outro ponto importante, verificado na pesquisa, baseado no resultado do pré-teste, a maior parte dos livros expõe o conceito de entropia associando a ***desordem***, conseqüentemente, a principal dúvida que os estudantes apresentam é: ***“o que é um sistema ordenado?”***. Fica evidente que, com essa ocorrência, o problema do conceito de entropia existe por causa de definições precoces, ou seja, não se considera o contexto, juntamente com o significado de outros conceitos que muitas vezes atrapalham mais que ajudam.

Com a utilização dos vídeos, conseguimos minimizar a abstração da maioria dos livros analisados quando apresentam o conceito de entropia. Para Moran (1995):

O vídeo é sensorial, visual, linguagem falada, linguagem musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Daí a sua força. Atingem-nos por todos os sentidos e de todas as maneiras. O vídeo nos seduz, informa, entretém, projeta em outras realidades (no imaginário), em outros tempos e espaços. O vídeo combina a comunicação sensorial-cenestésica com a audiovisual, a intuição com a lógica, a emoção com a razão. (MORAN, 1995, p. 2).

Apesar dos resultados bastante significativos, o nosso produto educacional ainda precisa ser melhorado do ponto de vista técnico e do ponto de vista da aplicabilidade. Do

ponto de vista técnico, queremos deixar como sugestão para os professores que queiram além de utilizar os vídeos opte por produzi-los, que possam melhorar a qualidade das filmagens. Pensando nisso, estamos propondo como material de apoio para os professores os roteiros contendo o passo a passo de todos os vídeos utilizados. Do ponto de vista da aplicabilidade três pontos a serem destacados: Para o primeiro ponto, sugerimos que no planejamento do professor para abordar o produto educacional, seja destinado uma quantidade maior de aulas²⁸ para evitar alguns imprevistos de ordem técnica. Aliado ao primeiro ponto, o segundo está associado à utilização mais significativa do ponto de vista do processo de ensino e aprendizagem que é o professor propor a seus estudantes que eles mesmos possam produzir seus próprios vídeos, tornando-os autores ou coautores. Dessa forma obter-se-á um envolvimento mais ativo por parte dos estudantes no processo de aprendizagem. Pensando nisso também, estamos propondo como material de apoio para os professores, os roteiros para os estudantes desenvolverem seus vídeos. Por fim, o terceiro ponto, está associado à utilização do Produto educacional no formato de Blogger. Essa utilização pode ser mais sistemática e acompanhada, inicialmente, com a presença física do professor em um laboratório de informática da instituição e em seguida direcionada como tarefa continuada em casa.

Voltamos a frisar, mesmo diante dos resultados aparentemente promissores e das sugestões anteriores, não é possível afirmar com certeza que houve aprendizagem significativa, apenas que há indícios de que ela ocorreu.

Como aspecto final que desejamos enfatizar, é que apesar da abstração evidenciada na pesquisa dos dez exemplares, o conceito de entropia é extremamente importância para outras áreas do conhecimento. Por isso, somos favoráveis que o conceito seja abordado no ensino médio, para tanto, é preciso utilizar a matemática como suporte no tema estatística e probabilidade. Dessa maneira, haverá um fortalecimento do conceito na perspectiva da Mecânica Estatística a qual, pelos resultados obtidos, favoreceu o desempenho dos estudantes no pós-teste.

²⁸ Para a aplicação do produto educacional nas três turmas do Colégio Salesiano Dom Bosco foi planejado duas aulas de 50 minutos cada. Esse tempo foi suficiente, entretanto se for destinado um tempo maior para que todos os vídeos sejam discutidos com mais detalhes os resultados serão melhores. Sem falar que em algumas instituições o tempo de cada aula é reduzido. Nesse caso, é necessário um número maior de aulas.

Referências

ALMEIDA, Ubaldo Fernandes. Ilustrações realizadas durante a execução da dissertação. Natal, 2014 a 2015

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, v.2, 2007.

ARROIO, A.; GIORDAN, M. **O vídeo educativo: aspectos da organização do ensino**. Química Nova na Escola, n.24, p. 8-11, 2006.

BONJORNO, J.R. **Física: história & cotidiano fundamental**. São Paulo: FTD. 1999.

BORGES, Ernesto P. **Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: Três Visões da Generalização do Conceito de Entropia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, n. 4, p. 453, 1999.

CALÇADA, J. S; SÉRGIO, C. **Física Classica: Termologia, Fluidodinâmica, Análise Dimensional**. São Paulo. ed. Atual, 1998.

CINELLI, Nair Pereira Figueiredo; LAPOLLI, Édis Mafra. **A influência do vídeo no processo de aprendizagem**. Florianópolis, 2003. 72 f.

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

ed. São Paulo: Ed. Univ. de São Paulo, 2002.

COVOLAN, Silvia Cristina Teodoro; DA SILVA, Dirceu. **A ENTROPIA NO ENSINO MÉDIO: UTILIZANDO CONCEPÇÕES PRÉVIAS DOS ESTUDANTES E ASPECTOS DA EVOLUÇÃO DO CONCEITO** Entropy in High Schools: using students spontaneous reasoning and aspects of the concept evolution. Ciência & Educação, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.

DOS SANTOS, Zanoni Tadeu Saraiva. **UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA E EPISTEMOLÓGICA PARA O ENSINO DE ENTROPIA NO ENSINO MÉDIO**

GASPAR, A.; MOURA, S. **Física, volume único: Livro do professor**. São Paulo. ed. Ática. 2008

GASPAR, A. **Física, volume único: Livro do Professor**. São Paulo: Editora Ática,

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. *Química nova na escola*, n. 10, p. 43-49, 1999.

GOMES, Maria João. **Blogs: um recurso e uma estratégia pedagógica**. 2005.

GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física Térmica e Óptica 2. 5ª**

LAGO, A.; CABRAL, F. **Física 2**. São Paulo: Harbra, v.2, 2002.

Lambert, Frank. **Disorder – Cracked crutch for Supporting Entropy Discussions**. *Journal of Chemical Education*. Vol 49, nº.2, Feb, 2002. p. 187-192.

MARCONDES FILHO, Ciro. **Televisão: a vida pelo vídeo**. São Paulo: Moderna, 1998, 7. Ed.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga et al. **Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia no ensino médio**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 367-378, 2009.

MORAN, José Manuel. **Como utilizar a Internet na educação. Ciência da informação**, v. 26, n. 2, 1997.

MORAN, José Manuel. **Integração das Tecnologias na Educação. Desafios da televisão e do vídeo à escola**. Secretaria de Educação a Distância, SEED. 2005

MORÁN, José Manuel. O vídeo na sala de aula. **Comunicação & Educação**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 27-35, 1995.

MOREIRA, M. A. (2012). **Al final qué es aprendizaje significativo?** Revista *Curriculum, La Laguna*, 25: 29-56.

NEWTON, V. B; RICARDO, H. D; GUALTER, J. B. **Tópicos de física, 2 : termologia, ondulatória e óptica**. Ed.18 reform. Em ampl. – São Paulo : Saraiva, 2007

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica 2 - Fluidos, Oscilações e Ondas, calor**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2002.

OLIVEIRA, M. A. **Uma proposta de análise de livros didáticos de ensino de física / Manoel de Araújo Oliveira**. -- São Paulo; SP: [s.n], 2008. 99 p. : il. ;

OLIVEIRA, P.M.C.; Dechoum, K. **Facilitando a compreensão da Segunda lei da Termodinâmica**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol 25, nº4, Dezembro, 2003.

PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. **Física – Ciência e Tecnologia**. São Paulo. Ed. Moderna, 2010.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física:** São Paulo: Moderna, 10 ed., v.2, 2010.

RODRIGUES, C. ***Irreversibilidade e Degradação da Energia numa abordagem para o Ensino Médio***. Tese (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

ROCHA, J. F. M. **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002. pp. 355 e 256.;il

SANTOS, R. I.; SANTOS, S. P.; NERES, M. S.; OLIVEIRA, A. C. G.; JUNIOR, W. E. F.; **Experimentação mediante vídeos: possibilidades e limitações para a aplicação em aulas de Química**. Disponível em <<http://www.xvneq2010.unb.br/resumos/R0641-2.pdf>>. Acessado em 11 de julho 2014

STYCER, D. F. **Insight into Entropy**. American Journal of Physics, ano 68, vol.12, 2000. p.1090-1096.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da Física, 2 : hidrostática, termologia, óptica**. – 2. ed. – São Paulo: Atual. 2008. – (Coleção Universo da física)

VEEN, W.; VRAKING, B. **Homo zappiens: educando na era digital** . Porto Alegre: Artmed, 2009.

Viard, Jèrôme. **Using the history of Science to Teach Thermodynamics at the University level: The Case of the Concept of Entropy**. Disponível em www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Viard.pdf , arquivo capturado em 15/12/2007.

Apêndices

Apêndice A – Análise dos livros didáticos

A. 1 Sobre o PNLEM

O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, mais conhecido como PNLEM, foi implantado em 2004, e visa a distribuição e universalização de livros didáticos para os alunos do ensino médio público de todo o País. A Resolução nº 38 do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), que criou o programa, define o atendimento, de forma progressiva, aos alunos das três séries do ensino médio de todo o Brasil.

A. 2 A escolha dos livros

A utilização em sala de aula dos livros didáticos é uma ferramenta de extrema importância para contribuir no ensino e aprendizagem dos alunos. Levando em conta que na maioria das escolas a única forma de transmitir o conhecimento seja o livro, o mesmo se torna peça essencial na formação do conhecimento. Entretanto, nem sempre as informações são expostas de maneira “didática” e muitas vezes até para os professores compreenderem e transmitirem tais informações se torna tarefa complexa, o que resulta na omissão de alguns conceitos, como veremos adiante.

No presente trabalho, foram selecionados dez exemplares: 1) [Alvarenga, B; Máximo, A., 2011] Física Contexto & Aplicações, 2) [Boas, V; Doca, H; Biscuola, J., 2007] Tópicos de Física, 3) [Bonjorno, R., 1999] Física História e Cotidiano Fundamental, 4) [Calçada, S; Sampaio, J., 1998] Física Clássica Termologia, Fluidodinâmica e Análise Dimensional, 5) [Gaspar, A., 2011] Física 2 Ondas, óptica e termodinâmica, 6) [Gref, 1998] Física Térmica e óptica 2, 7) [Lago, A.; Cabral, F., 2004] Física 2, 8) [Torres, A.; Ferraro, N.; Soares, P., 2010] Física Ciência e Tecnologia: termologia, óptica e ondas, 9) [Oliveira, M.; Pogibin, A; Oliveira, R.; Romero, T., 2011] Física em contextos e 10) [Ramalho, F.; Ferraro, G.; Toledo, A., 2010] Os Fundamentos da Física.

A escolha desses exemplares reflete somente o nosso interesse em identificar o tratamento conceitual dado ao assunto Entropia. Desse modo, optamos por não analisar um número elevado de exemplares, mas eleger somente alguns aspectos conceituais que se

mostraram necessários para uma discussão conceitual. Nesse sentido, escolhemos os dez exemplares do ensino médio por representarem abordagens semelhantes e também porque, numa primeira análise, identificamos aspectos que dariam suporte para nossa discussão.

A. 3 Análises dos livros

A.3.1 Livro 1

No livro 1, Física Contexto & Aplicações de Antônio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga Álvares, os conteúdos são divididos em três unidades das quais apenas a segunda aborda os conteúdos referentes à termodinâmica. A referida unidade explora vários assuntos dentre eles: O calor como energia, Trabalho em uma variação de volume, A Primeira Lei da Termodinâmica, Aplicações da Primeira Lei da Termodinâmica, Máquinas térmicas - A Segunda Lei da Termodinâmica.

Deteremos-nos a análise do conceito de entropia o qual é apresentado em forma de apêndice juntamente com os seguintes conteúdos: Ciclo de Carnot e Refrigerador. Para definir o conceito de entropia os autores partem das concepções de processos reversíveis e irreversíveis os quais são de extrema importância para uma melhor compreensão dos processos termodinâmicos. Além disso, a obra também associa o conceito de entropia ao termo desordem quando apresenta um exemplo de um recipiente contendo bolas vermelhas e amarelas de mesma massa e diâmetro, inicialmente, separadas – “condição mais organizada” – após o sistema ser agitado, as bolas são misturadas. Segundo os autores, esse processo conduz a um aumento da desordem do sistema, e a continuidade da agitação não levaria o sistema de volta às condições iniciais.

Para expressar quantitativamente o conceito de entropia, os autores utilizam a definição de Clausius $\Delta S = \Delta Q/T$ exemplificando com valores numéricos e mostrando como a entropia de um sistema comporta-se quando recebe calor, cede calor e não troca calor com outro sistema. Entretanto, não é feita uma associação da expressão matemática proposta por Clausius com o termo desordem. Dessa forma, essa ideia de “desordem” fica sem significado para o aluno quando o mesmo tenta fazer a conexão com expressão matemática.

A.3.2 Livro 2

No livro 2, Tópicos de Física de Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca e Gualter José Biscuola, os autores destinam aproximadamente 7% da obra à termodinâmica explorando vários assuntos como: Energia interna, trabalho e calor, Lei zero da Termodinâmica, A Primeira Lei da Termodinâmica, Transformações termodinâmicas particulares, Diagramas termodinâmicos, Calores específicos dos gases perfeitos, O gráfico da adiabática, A energia mecânica e o calor, As máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, O ciclo de Carnot, As transformações reversíveis e irreversíveis e por fim a entropia, em trinta e oito páginas.

Apesar de fazer essa construção sequencial de assuntos desde a energia interna até as concepções de processos reversíveis e irreversíveis para chegar ao conceito de entropia, os autores também explicitam que a entropia é uma medida da desordem e os sistemas físicos tendem para estados cada vez mais desordenados. Porém, eles não se preocupam em explicar o que vem a ser essa desordem associada a um sistema físico. Dessa forma, torna-se abstrato para o aluno compreender em que nível está inserido esta desordem – se estético ou energético.

O autor encerra a seção referente à entropia citando o enunciado de Clausius apresentando a relação matemática $\Delta S = \Delta Q/T$ e mostrando como a entropia varia quando um sistema físico recebe, cede e não troca calor com a vizinhança. Mais uma vez, não está explícito a relação com o termo "desordem".

A.3.3 Livro 3

No livro 3, Física história e cotidiano de José Roberto Bonjorno e Clinton Márcico Ramos, a discussão sobre o conceito de entropia inicia-se de uma maneira bem diferente em relação aos outros livros analisados neste trabalho. Apesar de o autor iniciar associando a entropia como uma nova grandeza para caracterizar a irreversibilidade dos processos naturais, através de exemplos e figuras ilustrativas ele vai construindo uma visão diferente e bem próxima da proposta deste trabalho acerca do conceito de entropia. Por esse motivo, segue abaixo conforme consta na obra.

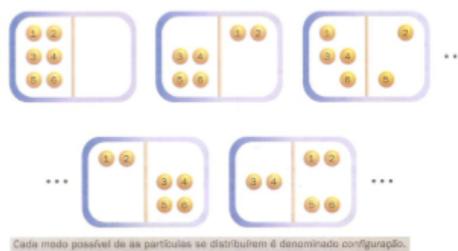
A irreversibilidade dos processos naturais é associada a uma grandeza denominada entropia, interpretada como algo que aumenta e uma transformação irreversível e se mantém constante numa transformação reversível. O aumento da entropia esta associado à quantidade de calor trocada e à temperatura em que ocorre essa troca de calor. Se os sistemas tiverem temperaturas muito próximas, a troca de calor entre eles será muito lenta. Nesse caso, a variação da entropia ΔS é dada por:

$$\Delta S = \Delta Q / T$$

Podemos fazer uma interpretação microscópica do conceito de entropia: considere um gás contido num dos lados de um recipiente com uma parede móvel, tendo no outro lado o vácuo.



Retirando-se a parede móvel, o gás passa a ocupar todo o volume disponível, realizando uma expansão livre, pois não há realização de trabalho contra forças exteriores. As partículas ficam com mais possibilidade de se acomodarem no espaço maior disponível. Decorrido certo tempo teremos parte das partículas num lado e parte no outro. É pouco provável que após a remoção da parede o gás se localize apenas de um lado do recipiente. Observe que quando o gás ocupa metade do volume do recipiente, o espaço à sua disposição é metade das posições que possui em relação a quando ocupam ambos os lados do recipiente. Por isso, é mais provável encontrar o sistema num estado caracterizado por maior numero de posições e, portanto, de configurações.



A natureza tende a evoluir no sentido dos estados que lhe proporcionem mais possibilidades de organização, maior numero de configurações, ou seja, uma maior desordem das moléculas. O estado final do gás caracteriza-se por ter maior entropia que o estado inicial, pois a entropia de um sistema está relacionada com o numero de configurações que ele pode assumir.” (BONJORNO, 2008).

Como podemos perceber pela passagem acima, o termo “desordem” aparece, porém associado ao número de configurações possíveis que um sistema pode assumir. Dessa forma, o aluno já pode fazer uma interpretação do conceito de desordem.

A.3.4 Livro 4

No livro 4, Física Clássica: Termologia, Fluidodinâmica e Análise Dimensional de Caio Sérgio Calçada e José Luiz Sampaio os autores destinam aproximadamente 9% da obra à termodinâmica dos quais apenas 0,5% dos conteúdos relativos à termodinâmica são destinados ao conceito de entropia. Ou seja, é uma grandeza física pouco explorada pelos autores.

Os autores explicitam que a energia de agitação térmica é considerada uma forma “desordenada” ou “desorganizada” de energia, ao passo que as demais – mecânica, elétrica, etc. – são consideradas formas “ordenadas” ou “organizadas” de energia. Além disso, eles finalizam o conceito de entropia afirmando que a evolução do universo leva sempre a um aumento na “desordem”.

Na referida obra, não consta a definição matemática de Clausius, ou seja, os autores não se preocupam em analisar quantitativamente a entropia, mas sim fazer uma análise puramente qualitativa.

A.3.5 Livro 5

No livro 5, Física 2: Ondas, óptica e termodinâmica de Alberto Gaspar – 2ª Ed., o autor destina dois capítulos (12,5%) da obra à termodinâmica. O primeiro capítulo aborda A primeira Lei da Termodinâmica, Aplicações da primeira lei da termodinâmica, Motos-perpétuos: a primeira e a segunda leis da termodinâmica. Já o segundo capítulo explora Fenômenos reversíveis e irreversíveis, A segunda lei da termodinâmica, O Ciclo de Carnot, Máquinas térmicas reais e por fim aborda a Entropia. Esses dois capítulos estão contidos em 45 páginas.

Das obras analisadas neste trabalho, o livro 5 é o único que se detém com mais ênfase – aproximadamente 15,0% das páginas referentes à termodinâmica – em apresentar o conceito de entropia. Inicialmente, o autor retoma o Ciclo de Carnot para definir a entropia e, conseqüentemente, chegando à ideia quantitativa de Clausius $\Delta S = \Delta Q/T$. Para fixar essa

relação da entropia com o ciclo de Carnot, disponibiliza um exercício resolvido para fixar o conceito e depois dois exercícios para que o aluno possa “pensar e resolver”. Em seguida, faz uma conexão da entropia com a segunda lei da termodinâmica. Até então, o autor nem sequer cita os termos “ordem” e “desordem” pra construir o conceito de entropia.

Por fim, o autor aborda a entropia e a desordem numa perspectiva da física estatística utilizando a definição de Ludwig Eduard Boltzmann para o conceito de entropia. Um ponto importante é que o autor – em nota de rodapé – esclarece para o aluno que o termo desordem em termodinâmica apresenta outro significado como podemos perceber na citação a seguir:

O sentido termodinâmico da palavra desordem não é moral em disciplinar. Significa apenas “desorganização” ou “falta de ordem”, qualquer que seja. Assim, se todos os alunos de uma sala de aula ficarem em pé no fundo da classe de costas para o professor, essa será certamente uma condenável atitude rebelde e indisciplinar. Os alunos pode ser classificados como desordeiros, mas em termodinâmica, não houve desordem, muito pelo contrário; houve ordem, ou organização, e certamente um grande consumo de energia, necessária à redução da entropia na sala de aula. (GASPAR, 2011).

Além dessa abordagem estatística, disponibiliza uma orientação para a realização de uma prática bastante lúdica na intenção de aproximar o conceito de entropia à perspectiva do aluno.

A.3.6 Livro 6

No livro 6, Gref: Física Térmica e Óptica dos Professores da Escola Pública no Estado de São Paulo, por sua vez, reservou aproximadamente 25% da obra à termodinâmica dos quais apenas aproximadamente 2,7% destinados ao conceito de entropia. Os autores pretendem aliar o caráter prático da física com a sua exigência teórica partindo de conteúdos do cotidiano dos alunos com relação à física térmica. Dessa forma, o livro expõe a Segunda Lei da Termodinâmica de um modo bem contextualizado com uma linguagem bem acessível. Diferentemente de outros livros, o conceito de entropia não esta associado aos temos ordem e desordem como podemos perceber na citação a seguir:

(...) Tanto a transformação da energia mecânica em energia térmica (interna) como a troca de calor entre sistemas mais quentes para sistemas mais frios são exemplos típicos de processos denominados irreversíveis, ou seja, há um sentido preferencial determinado nos processos naturais, não previsto na Primeira Lei da Termodinâmica. O sentido inverso, para tais transformações, não ocorre espontaneamente. (...) À irreversibilidade dos processos naturais é associada uma grandeza denominada entropia, interpretada como “algo” que aumenta em um processo irreversível e se mantém constante em um processo reversível. (GREF, 2002,)

Além de apresentar qualitativamente a grandeza entropia, os autores também evidenciam o tratamento qualitativo utilizando a definição matemática de Clausius $\Delta S = \Delta Q/T$ especificando duas situações em que a variação da entropia pode ser determinada: em processos lentos $\Delta S = \Delta Q/T$ e em processos abruptos.

A.3.7 Livro 7

No livro 7, Física 2 de Fernando Cabral e Alexandre Lago, a termodinâmica é apresentada em 25% da obra dos quais aproximadamente 0,4% remete-se ao conceito de entropia. Os autores utilizam a descrição matemática do conceito de entropia para conceituar processos reversíveis e irreversíveis.

A entropia de um sistema é definida como “uma medida do seu grau de desorganização” e segundo os autores a segunda lei da termodinâmica pode ser formulada da seguinte forma “ $\Delta S \geq 0$ ”, ou seja, a variação da entropia de um sistema isolado é sempre positiva ou nula.

A.3.8 Livro 8

No livro 8, Física ciência e tecnologia: termologia, óptica e ondas de Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro e Paulo Antônio de Toledo Soares – 2ª Ed., os autores destinam um quarto da obra à termodinâmica em aproximadamente quarenta páginas. Para introduzir o capítulo referente à termodinâmica, os autores citam uma frase do pintor surrealista espanhol Salvador Dalí (1904 – 1989) – “*A entropia de uma natureza-morta é um meio de corrigir a natureza*” – e completa essa breve introdução dizendo que “[...] Os

fenômenos naturais ocorrem sempre no mesmo sentido, de modo que a entropia do Universo aumente.”.

Esse comentário inicial é compreendido posteriormente, mais precisamente na página 111 do referido capítulo, quando os autores explicitam a irreversibilidade dos processos naturais bem como o conceito da grandeza entropia. Entretanto, em mais um exemplar de referência para o ensino médio, o conceito de entropia está vinculado aos termos “*ordem*” e “*desordem*” como podemos perceber quando os autores escrevem “*Os sistemas têm, então, uma propriedade intrínseca, a entropia, que se caracteriza por ter um valor que aumenta quando aumenta a desordem nos processos naturais.*”.

A obra também explicita a definição matemática de entropia mencionando a expressão $S = Q/T$ e alguns exemplos numéricos para segundo os autores uma “melhor compreensão” do conceito de entropia.

A.3.9 Livro 9

No livro 9, Física em contextos de Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Alexander Pogibin, Renata Cristina de Andrade Oliveira e Talita Raquel Luz Romero – 1ª Ed., os autores destinam uma Unidade à termofísica das Três disponíveis na obra. Essa unidade contém quatro capítulos dos qual apenas um é destinado à termodinâmica o qual é o foco de nossa análise.

A abordagem da termodinâmica nesse livro segue uma sequência que difere das outras obras analisadas até aqui. Os autores iniciam fazendo uma abordagem histórica dos diferentes tipos de máquinas térmicas e em seguida apresentam as transformações térmicas que podem ocorrer nas referidas máquinas. Segue essa linha de raciocínio contextualizando com os principais motores que conhecemos atualmente e naturalmente introduz a primeira lei da termodinâmica. Na sequência da unidade, os autores citam a segunda lei da termodinâmica apresentando os enunciados de Kelvin e de Clausius exemplificando de maneira qualitativa e quantitativa. Por fim, explicita a grandeza entropia a qual ateremo-nos, pois é o objeto de estudo deste trabalho.

Inicialmente, os autores classificam a entropia como “*um dos conceitos mais interessantes produzidos pela Física*” e na sequência deixam claro que não é uma grandeza de fácil compreensão teórica quando mencionam “*traduzir o verdadeiro significado da*

entropia é complicado sem o uso de equações matemáticas complexas. De maneira geral, a entropia de uma substância (ou sistema) depende de suas condições internas. Por exemplo, se tivermos 1 kg de água, a entropia associada a esse sistema é função de sua temperatura e de sua estrutura interna (estado Físico)”. Para solucionar a dificuldade matemática, os autores apresentam a expressão de Clausius $\Delta S = Q/T$ trazendo exemplos associados ao Ciclo de Carnot. Até a presente análise, a obra não associa a entropia aos termos “ordem” e “desordem”, mas sim a processos reversíveis e irreversíveis.

Por fim, o autor aborda a entropia e a desordem numa perspectiva da física estatística utilizando a definição de Ludwig Eduard Boltzmann para o conceito de entropia. Um ponto importante é que o autor destina um subitem para quantificar o termo desordem. Dessa forma, esclarece para o aluno que o termo desordem em termodinâmica apresenta outro significado como podemos perceber na citação a seguir:

Examinemos um processo irreversível que é completamente composto de eventos reversíveis. Considere duas câmaras, separadas por uma parede. Suponha que atiremos 25 bolas na câmara 1, cada uma com 5 J de energia cinética. As bolas vão refletir nas quatro paredes da câmara e entre si. Se as paredes da câmara forem perfeitamente duras, as colisões serão elásticas, e a energia cinética média das bolas na câmara 1 continuará a ser 5 J. as bolas podem até ter energia cinética diferente, mas o sistema continua com energia cinética de 5 J por bola. [...] Essa situação pode muito bem ser tratado com o uso do conceito de entropia. O número de vezes que o sistema pode ser “rearrumado”, sem que isso altere o ambiente externo, é uma forma de medir a desordem de um sistema. (PIETROCOLA, 2011).

Além dessa abordagem estatística, disponibiliza uma orientação para a realização de uma prática bastante lúdica na intenção de aproximar o conceito de entropia à perspectiva do aluno.

A.3.10 Livro 10

No livro 10, Física: Os Fundamentos da Física de Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro e Paulo Antônio de Toledo Soares – 10ª Ed., os autores destinam aproximadamente 6% da obra à termodinâmica em um único capítulo. Nesse capítulo são explorados alguns assuntos como: Considerações preliminares, O princípio da conservação

da energia aplicada à termodinâmica, Transformações gasosas, A conversão de calor em trabalho e O princípio da degradação da energia. Esse último assunto precede a discussão sobre entropia.

Para definir entropia, os autores iniciam apresentando duas situações bem distintas. A primeira corresponde a um recipiente contendo cem esferas vermelhas na parte de baixo e cem esferas azuis na parte de cima. A segunda refere-se a um baralho em que as cartas estão ordenadas por naipes e por valores. Nas duas situações, após a alteração da “ordem inicial” os sistemas atingiram uma “desordem” e o retorno à situação inicial segundo os autores “não é impossível, porém é altamente improvável”.

Após essa breve análise, fica evidente que os autores associam o conceito de entropia aos termos “ordem” e “desordem” quando mencionam “Ao conceito estatístico de desordem Clausius associou o conceito matemático de entropia. Assim, a entropia é uma propriedade intrínseca dos sistemas, caracterizada pelo fato de seu valor aumentar quando a desordem nos processos naturais”.

Além de expressar qualitativamente, a obra também enfatiza o carácter quantitativo utilizando a definição matemática de Clausius $\Delta S = \Delta Q/T$. Entretanto, não apresenta exemplos para que os alunos fixem a definição matemática do conceito de entropia.

A. 3.4 Resumo da análise dos livros

De acordo com o exposto nesta breve análise dos capítulos de livros de ensino médio que abordam o assunto referente à entropia, podemos resumir tais dados em uma tabela de modo a tornar o presente capítulo mais inteligível ao leitor. Os livros serão organizados na segunda linha da tabela conforme numeração já exposta anteriormente e os conteúdos que devem ser vinculados ao conceito de entropia estão contidos na primeira coluna.

Livro 1) [Alvarenga, B; Máximo, A., 2011] Física Contexto & Aplicações;

Livro 2) [Boas, V; Doca, H; Biscuola, J., 2007] Tópicos de Física;

Livro 3) [Bonjorno, R., 1999] Física História e Cotidiano Fundamental;

Livro 4) [Calçada, S; Sampaio, J., 1998] Física Clássica Termologia, Fluidodinâmica e Análise Dimensional;

Livro 5) [Gaspar, A., 2011] Física 2 Ondas, óptica e termodinâmica;

Livro 6) [Greff, 1999] Física Térmica e óptica 2;

Livro 7) [Lago, A.; Cabral, F., 2004] Física 2;

Livro 8) [Torres, A.; Ferraro, N.; Soares, P., 2010] Física - Ciência e Tecn Física Ciência e Tecnologia: termologia, óptica e ondas;

Livro 9) [Oliveira, M.; Pogibin, A; Oliveira, R.; Romero, T., 2011] Física em contextos;

Livro 10) [Ramalho, F.; Ferraro, G.; Toledo, A., 2010] Os Fundamentos da Física.

Assim, construímos a seguinte tabela, na qual os livros assinalados com X apresentam o conceito citado²⁹:

ASSUNTOS ABORDADOS	L I V R O									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Processos reversíveis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Processos irreversíveis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Entropia vinculada à desordem	X	X		X	X		X	X		X
Entropia desvinculada a desordem						X			X	
Entropia vinculada ao número de configurações possíveis que um sistema pode assumir			X		X				X	
Degradação da energia	X			X	X			X	X	X
Entropia numa perspectiva da física estatística			X		X				X	

Tabela 2. Resumo da análise dos livros

A.3.5 Problemas detectados

Apesar de a Termodinâmica ser contemplada em todos os livros apresentados neste trabalho, queremos chamar a atenção à maneira pela qual abordam o conceito de entropia. Dos 10 exemplares citados, 70% referem-se à entropia como uma grandeza associada ao grau de desordem de um sistema sem, no entanto, explicar o que vem a ser essa “desordem”. Neste ponto, a entropia torna-se uma grandeza com uma definição vaga e imprecisa, pois de acordo com as informações apresentadas nos livros, essa desordem está associada à

²⁹ Os espaços em branco significam que a abordagem do assunto não é seguida pela obra.

configuração das moléculas num determinado espaço, ou seja, essa desordem é puramente estética.

Como foi dito anteriormente, os autores muitas vezes não apresentam o cuidado com a linguagem utilizada, ou seja, não conceituam palavras primordiais para um bom entendimento do conceito de entropia. Essas peculiaridades podem originar concepções alternativas, que surgirão como obstáculos na compreensão científica dos conceitos.

Outro ponto importante, verificado na análise dos exemplares pode ser representado por uma operação bem simples: a maior parte dos livros expõe o conceito de entropia associando a desordem e os docentes quando expõem também utilizam desse termo, o resultado dessa soma reside nas principais dúvidas que os discentes apresentam: “o que é ordem?”; “o que é desordem?”; “o que é um sistema ordenado?”; “o que é um sistema desordenado?”. Fica evidente que, com essa ocorrência, o problema do conceito de entropia existe por causa de definições precoces, ou seja, não se considera o contexto, juntamente com o significado de outros conceitos que muitas vezes atrapalham mais que ajudam.

Para minimizar a abstração do conceito de entropia apresentado na maioria dos livros analisados neste trabalho, nossa proposta é utilizar vídeos com demonstrações experimentais conectados com o tratamento teórico adequado³⁰ para facilitar o entendimento por parte dos discentes desse conceito essencial para a termodinâmica.

³⁰ Esse tratamento teórico adequando conforme a ideia da dissertação está expressa no capítulo 4.

Apêndice B – A segunda Lei da Termodinâmica

B 1 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Na próxima vez que você for a um restaurante, pense em como a comida é preparada. Em seguida, tente imaginar o processo na ordem inversa. É fácil descascar uma fruta, mas impossível colocar a casca de volta no lugar. É fácil preparar ovos mexidos, mas impossível transformar ovos mexidos em ovos intactos. É fácil cozinhar legumes, mas impossível descozinhá-los. Depois de fazer pipoca, não é possível transformar a pipoca novamente em milho. Por quê? Nada nas leis de Newton ou na lei da gravidade diz que as coisas só podem acontecer em um sentido. Nada do que aprendemos a respeito da energia, incluindo a primeira lei da termodinâmica, diz que a natureza funciona em apenas um sentido.

No restaurante, você já deve ter reparado que as comidas e bebidas que são servidas quentes tendem a esfriar e as que são servidas frias tendem a esquentar. Um copo de água gelada logo fica à temperatura ambiente; o mesmo acontece com uma xícara de café quente. O sorvete derrete e a calda de chocolate endurece. Estes eventos do cotidiano são tão familiares que não despertam nossa atenção, mas quando o milho de pipoca estoura e o café esfria estamos assistindo a manifestação de uma das leis mais sutis e fascinantes da física: a segunda lei da termodinâmica.

De acordo com o princípio da conservação da energia, as conversões de energia de uma forma em outra devem ocorrer de tal modo que a energia total permaneça constante.

A primeira lei da termodinâmica é uma reafirmação de tal princípio, e, portanto deve sempre ser obedecida. Contudo a primeira lei da termodinâmica não prevê a possibilidade da realização ou não de um determinado processo.

Saindo do restaurante e verificando outras manifestações da segunda lei, tomemos como exemplo um bloco lançado sobre uma mesa, ele para após percorrer certa distância. Sua energia mecânica se converte em calor, o qual aquece o bloco e a mesa. Contudo, se fornecermos calor ao bloco em repouso, através de uma fonte, ele com certeza não se porá em movimento.

B 1.1 Enunciado de Clausius

A segunda lei pode ser enunciada de diversas maneiras diferentes, mas todos os enunciados podem ser mostrados como equivalentes. Segundo Rudolf Julius Emanuel Clausius,

“O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente.”

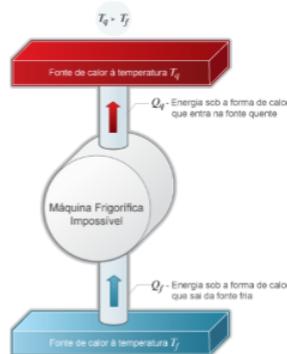


Figura 1 - Esquema de uma máquina frigorífica impossível devido a Segunda Lei da Termodinâmica.

O enunciado de Clausius não diz que o calor não pode passar de um corpo com menor temperatura para um corpo de maior temperatura. Na verdade, é exatamente o que acontece em uma geladeira. Por exemplo, Quando uma geladeira está funcionando, a energia térmica é removida do interior e transferida para o exterior, que se encontra a uma temperatura mais elevada. O que a 2ª lei afirma é que isto não acontece espontaneamente, ou seja, é preciso realizar trabalho para obter o efeito desejado. O enunciado leva em conta o fato de calor ser uma forma degradada de energia. Sendo assim, sua conversão em energia mecânica, por exemplo, não é integral, ao contrario do que estabelece a primeira lei da termodinâmica quando aplicada a uma transformação cíclica. Na verdade, outro enunciado da segunda lei da termodinâmica poderia se o seguinte:

“geladeiras não funcionam a não ser que estejam ligadas em uma tomada.”

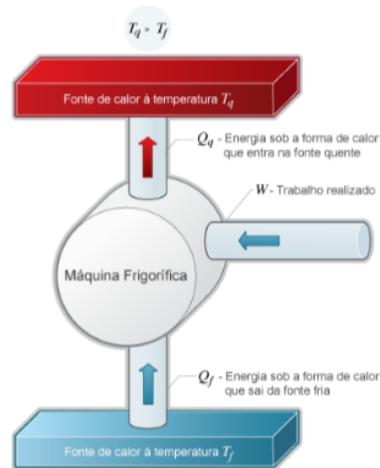


Figura 2 - Esquema de uma máquina frigorífica.

B 1.2 Enunciado de Kelvin

Lord Kelvin traduziu a irreversibilidade de um sistema postulando que:

“não há nenhum processo no qual calor é extraído de uma fonte e convertido inteiramente em trabalho útil, sem nenhuma outra consequência para o resto do universo.”

O termo *“sem nenhuma outra consequência”* indica que algum processo adicional deve acontecer em algum lugar do Universo, ou seja, o processo deve ser reversível e, portanto está se falando de processos cíclicos e a formulação de Kelvin poderia ser enunciada assim:

“não há nenhuma máquina térmica operando ciclicamente capaz de remover calor de um reservatório e convertê-lo integralmente em trabalho.”

Máquinas térmicas

Segundo o postulado de Lord Kelvin, é impossível transformar em trabalho toda a energia térmica extraída de uma única fonte, logo, a fração de energia térmica que não é utilizada para realizar trabalho é transferida para outra fonte a uma temperatura inferior.

Assim, as máquinas térmicas apenas permitem obter trabalho, a partir de um fluxo de energia térmica entre duas fontes a temperaturas diferentes. A energia térmica transfere-se espontaneamente da fonte quente, isto é, a fonte com maior temperatura, para a fonte fria, ou seja, a fonte com temperatura inferior.

Por exemplo, na máquina a vapor, um cilindro move-se devido à expansão do gás no seu interior, causada pela energia proveniente do aquecimento de água numa caldeira (fonte de energia térmica - "fonte quente"). Parte desta energia não é transformada em trabalho, e passa por condução térmica para os arredores da máquina (fonte com temperatura inferior). O princípio de funcionamento de uma máquina térmica pode ser esquematizado pela figura abaixo.

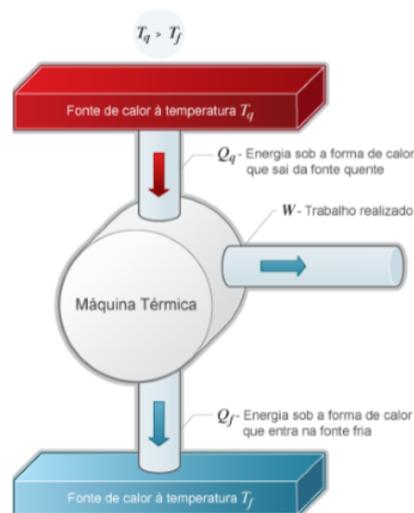


Figura 3 - Esquema de uma máquina térmica.

O reservatório de calor é um sistema que troca calor sem que suas temperaturas variem. A fonte fria mais comum é o ar atmosférico, enquanto as fontes quentes podem ser de vários tipos: a caldeira, numa máquina a vapor, ou a câmara de combustão, por exemplo, de um motor a explosão usado em automóveis.

Considerando em módulo as quantidades de energia envolvidas no processo, teremos, de acordo com o princípio da conservação da energia e a primeira lei da termodinâmica, na máquina térmica da figura acima:

$$W = Q_q - Q_f \quad [1]$$

Ou seja, a energia útil obtida por ciclo (trabalho W) é igual à diferença entre a energia total recebida por ciclo (calor Q_q) e a energia não transformada (calor Q_f). Chamamos rendimento (η) da máquina térmica à relação entre a energia útil e a energia total recebida. Na máquina térmica, a energia útil é o trabalho realizado W , e a energia recebida é o calor Q_q recebido da fonte quente. Então o rendimento de uma máquina térmica é dado por

$$\eta = \frac{W}{Q_q} \quad [2]$$

Utilizando a equação 1, temos:

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \quad [3]$$

As máquinas térmicas cíclicas têm como finalidade gerar trabalho mecânico a partir de pelo menos duas fontes de calor em temperaturas diferentes. A cada ciclo de operação, uma quantidade de calor é retirada da fonte quente e parte rejeitada à fonte fria, essa última necessária para se estabelecer o ciclo.

Caso não houvesse uma quantidade de calor rejeitada para fonte fria (Q_f), o rendimento de uma máquina térmica seria 100% de acordo com a expressão acima.



Figura 4 - Esquema de uma máquina térmica impossível devido a Segunda Lei da Termodinâmica.

Desse enunciado segue o seguinte teorema, conhecido como teorema de: **Carnot**: “nenhuma máquina térmica que opere entre duas fontes diferentes de calor pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot”.

Ciclo de Carnot

Um processo termodinâmico é um evento caracterizado pela variação de uma ou várias funções de estado de determinado sistema. Para um sistema termodinâmico, as funções de estado são volume, pressão e temperatura. Dessa forma, podemos identificar quatro processos: adiabático, isovolumétrico, isobárico e isotérmico. Quando um sistema sai de um estado inicial e retorna ao mesmo estado após uma série de transformações, temos a caracterização de um processo cíclico.

Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832), físico e engenheiro militar francês, analisando máquinas a vapor, descobriu que o rendimento de uma máquina térmica está relacionado com a diferença de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria, entre as quais a máquina opera. Em 1824, Carnot descreveu seu conceito de máquina térmica perfeita - uma máquina térmica que operaria em ciclos proporcionando rendimento máximo.

No ciclo de Carnot, um fluido de trabalho sofre duas transformações adiabáticas alternadas com duas transformações isotérmicas, todas elas reversíveis, sendo o ciclo também reversível. A sequência de figuras seguintes mostra as transformações que integram um ciclo de Carnot.

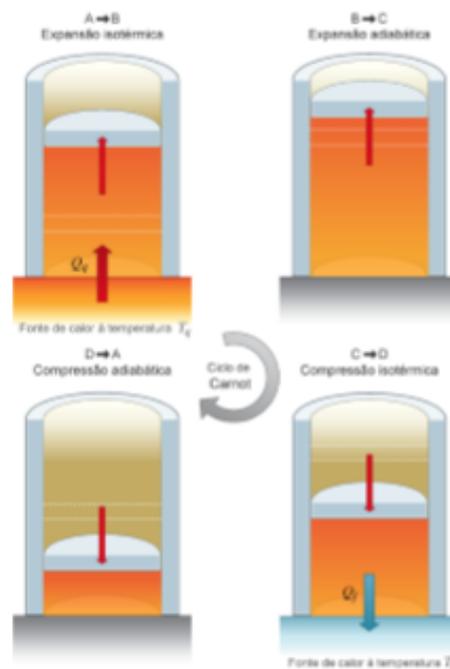


Figura 5 - Esquema das etapas do ciclo de Carnot.

Analisando o ciclo de Carnot, temos as seguintes etapas:

- $A \rightarrow B$: Partindo do estado A, o gás sofre uma expansão isotérmica AB, à temperatura T_q da fonte quente, recebendo uma quantidade de calor Q_q dessa fonte quente;
- $B \rightarrow C$: A partir do estado B, o gás continua se expandindo, agora adiabaticamente, até atingir o estado C; durante a expansão adiabática não ocorre troca de calor, mas o gás se resfria até a temperatura T_f ;
- $C \rightarrow D$: A partir do estado C, o gás é comprimido isotermicamente, à temperatura T_f da fonte fria, até o estado D, enquanto rejeita uma quantidade de calor Q_f para a fonte fria;
- $D \rightarrow A$: A partir do estado D, o gás retorna ao estado inicial A através de uma compressão adiabática, durante a qual o gás se aquece até a temperatura inicial T_q sem trocar calor com o meio.

Essas transformações podem ser visualizadas num diagrama de Clapeyron,

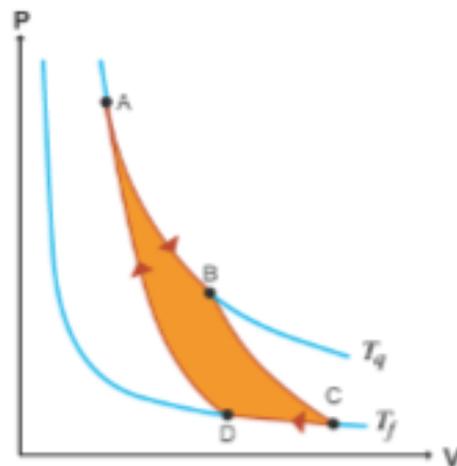


Figura 6 - Diagrama PV do ciclo de Carnot.

Podemos demonstrar que no ciclo de Carnot a quantidade de calor trocada é diretamente proporcional à temperatura da fonte $Q \propto T$. Então, no ciclo de Carnot:

$$\frac{Q_q}{Q_f} = \frac{T_q}{T_f} \quad [4]$$

O rendimento de qualquer máquina térmica é calculado por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \quad [5]$$

No caso de uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot, temos:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad [6]$$

A partir dessa expressão, podemos concluir que o rendimento do ciclo de Carnot não depende do fluido de trabalho e é uma função exclusiva das temperaturas das fontes quente e fria.

Carnot demonstrou também que o rendimento térmico de sua máquina atingia o valor máximo possível de ser atingido por uma máquina térmica operando entre as temperaturas T_q (fonte quente) e T_f (fonte fria).

Pelo teorema de Carnot, nenhuma máquina térmica, operando entre as mesmas temperaturas T_q e T_f , pode apresentar rendimento maior do que o previsto para a máquina de Carnot.

$$\eta_{máximo} = \eta_{carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad [7]$$

É importante ressaltar que, embora o ciclo de Carnot seja aquele que apresenta máximo rendimento ao operar entre duas temperaturas, na prática esse rendimento nunca pode atingir 100% ($\eta = 1$), pois isso exigiria uma fonte fria no zero absoluto ($T_f = 0 \text{ K}$) e, em consequência, teríamos a completa conversão de calor da fonte quente em trabalho ($W = Q_q$), o que contraria a segunda lei da termodinâmica.

Relação entre os enunciados de Clausius e Kelvin

O enunciado de Kelvin afirma a impossibilidade de realização de um moto-perpétuo de segunda espécie, isto é, de um dispositivo que, operando em ciclos, recebe calor de um corpo, transforma este calor, integralmente, em trabalho, e não causa nenhuma outra modificação no sistema ou no exterior. É o que torna impossível, por exemplo, o aproveitamento da energia interna da água do mar para movimentar o motor de um navio utilizando como única fonte térmica a água do mar.

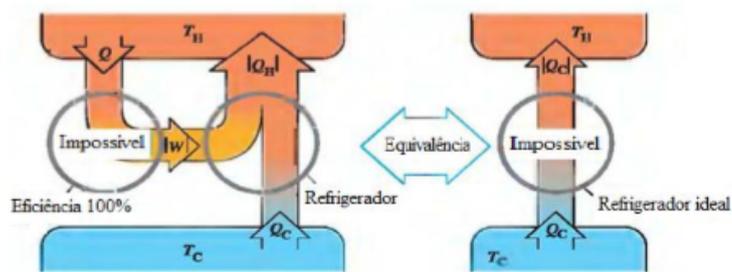


Figura 7 - Esquema da equivalência entre o enunciado de Kelvin e Clausius.

O enunciado de Clausius também afirma a impossibilidade de outro moto-perpétuo de segunda espécie, neste caso, o que retira calor de uma fonte fria e a transfere a uma fonte quente, sem nenhuma interferência no sistema ou no exterior.

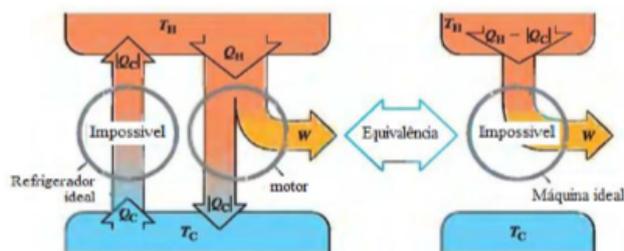


Figura 8 - Esquema da equivalência entre o enunciado de Clausius e Kelvin.

Os enunciados de Kelvin e Clausius são equivalentes e é possível demonstrar qualquer um deles a partir do outro. Por exemplo, se pudéssemos construir um refrigerador sem usar trabalho, violando o enunciado de Clausius, poderíamos usá-la em conjunto com uma máquina térmica, bombeando o calor rejeitado pela máquina e fazendo-o retornar para o reservatório quente para ser usado novamente. Essa máquina composta (Figura 7) violaria o

enunciado de Kelvin porque seu efeito resultante seria retirar uma quantidade líquida de calor $Q_H - |Q_C|$ do reservatório quente e convertê-la integralmente em trabalho W .

Alternadamente, se pudéssemos construir uma máquina térmica com rendimento igual a 100%, violando o enunciado da Kelvin, poderíamos operar a máquina usando calor de um reservatório quente e aproveitando o trabalho obtido na saída da máquina para fazer funcionar um refrigerador que bombeasse calor de um reservatório frio para um reservatório quente (Figura 8). Esse dispositivo composto violaria o enunciado de Clausius porque seu efeito resultante seria retirar calor Q_C de um reservatório frio e transferi-lo para um reservatório quente sem que fosse necessário nenhum consumo de trabalho. Portanto, se negarmos a existência de um, pode-se mostrar, que, necessariamente, nega-se a existência do outro.

Apêndice C – A entropia do ponto de vista microscópico

Como já vimos, a entropia pode ser definida utilizando os conceitos macroscópicos de calor e temperatura. A entropia também pode ser tratada de um ponto de vista microscópico com a análise estatística de movimentos moleculares. Utilizaremos um modelo microscópico para investigar a expansão livre de um gás ideal. Na teoria cinética dos gases, as moléculas do gás são consideradas como partículas que se deslocam de forma aleatória. Suponha uma quantidade de gás ocupando um volume inicial V_i .

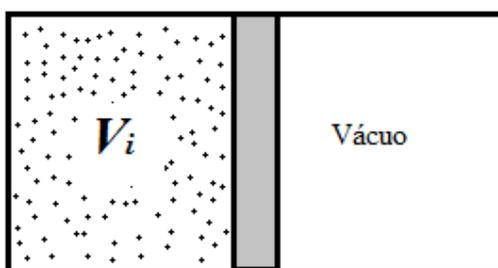


Figura 1 - Esquema de um gás confinado de um lado do recipiente ocupando um volume V_i .

Quando a divisória que separa os dois lados do recipiente maior é removida, as moléculas eventualmente serão distribuídas de alguma forma por todo o volume maior V_f (Figura 2). A natureza exata da distribuição é uma questão de probabilidade.

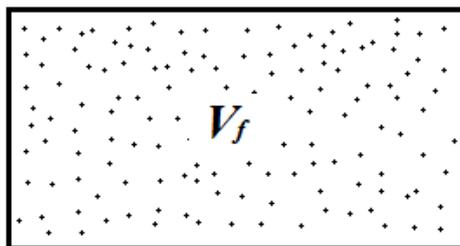


Figura 2 - Esquema de um gás ocupando todo o espaço do recipiente.

Essa probabilidade poder ser determinada primeiramente encontrando-se a probabilidade para a variedade das posições moleculares envolvidas no processo da expansão livre. Logo depois que a divisória é removida (e antes que as moléculas tenham uma chance de rapidamente ocupar a outra metade do recipiente), todas as moléculas estão no volume inicial V_i . Vamos estimar a probabilidade das moléculas chegando a uma

determinada configuração com os movimentos aleatórios naturais dentro de um volume maior V_f . Suponha que cada molécula ocupa um volume microscópico V_m e cada posição desta molécula é igualmente provável. Assim, o número total de posições desta molécula em um volume inicial macroscópico V_i é a razão.

$$W_i = \frac{V_i}{V_m} \quad [1]$$

Nesta expressão, utilizamos W para representar o número de maneiras de encontrar as moléculas no volume. Cada maneira é um microestado. À medida que mais moléculas são adicionadas ao sistema, os números de microestados possíveis se multiplicam juntos. Ignorando a pequena probabilidade de duas moléculas ocuparem a mesma posição, cada molécula pode ir para qualquer uma das (V_i / V_m) Posições. Assim, N número de microestados possíveis para N moléculas é.

$$W_i = \omega_i N = N \left(\frac{V_i}{V_m} \right) \quad [2]$$

Embora um grande número de microestados possíveis possa ser considerado incomum (por exemplo, todas as moléculas em um canto do espaço disponível), o número total de microestados é tão grande que esses microestados incomuns representam uma fração infinitesimal de todos os microestados possíveis. Similarmente, se o volume for aumentando para V_f , o número de microestados aumenta para.

$$W_f = \omega_f N = N \left(\frac{V_f}{V_m} \right) \quad [3]$$

A probabilidade de um determinado macroestado é proporcional ao número de microestados que correspondem ao macroestado. Assim, as probabilidades de ocorrência de determinados macroestados iniciais e finais são $P_i = cW_i$ e $P_f = cW_f$, onde a constante c foi deixada indeterminada. A razão entre essas probabilidades é:

$$\frac{P_f}{P_i} = \frac{cW_f}{cW_i} = \frac{W_f}{W_i} = \frac{\left(\frac{V_f}{V_m}\right)^N}{\left(\frac{V_i}{V_m}\right)^N} = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^N \quad [4]$$

Tomando o logaritmo natural desta equação e a sua multiplicação pela constante de Boltzmann k_B tem-se:

$$k_B \ln\left(\frac{W_f}{W_i}\right) = nN_A k_B \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad [5]$$

Onde escrevemos o número N das moléculas como nN_A , o número de moles vezes o número de Avogadro. Sabendo que $N_A k_B$ é a constante universal dos gases R e, assim, a equação pode ser escrita como.

$$k_B \ln W_f - k_B \ln W_i = nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad [6]$$

Sabemos que, quando um gás realiza uma expansão livre de V_i a V_f , a variação da entropia ΔS é dada pela equação a seguir:

$$S_f - S_i = nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad [7]$$

Observe que os lados direito das equações 7 e 6 são idênticos. Fazemos assim a seguinte conexão entre a entropia e o número de microestados associados a um determinado macroestado:

$$S \equiv k_B \ln W \quad [8]$$

Como os macroestados mais prováveis são os com maioria de microestados, a Eq. 8 nos mostra que a **entropia é uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir.**

APÊNDICE D – Questionário de avaliação de estudantes sobre o conceito de entropia na perspectiva da termodinâmica e da mecânica estatística.

QUESTÃO 01) Considere dois corpos de mesma massa e constituídos pela mesma substância, inicialmente com temperaturas diferentes, conforme figura a seguir:

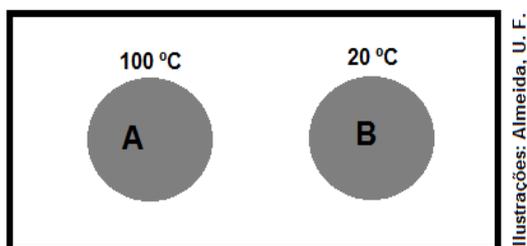


Figura 20. Esquema de dois corpos confinados em um recipiente isolado de influências externas.

Após determinado intervalo de tempo, o que podemos afirmar?

- A temperatura do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico.
- O calor do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico.
- O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo A para o corpo B.
- O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo B para o corpo A.
- O calor do corpo A diminui e o do corpo B aumenta.

QUESTÃO 02) Considere agora os dois corpos da questão anterior dentro de um compartimento separado por uma divisória a qual não permite trocas de energia entre os objetos e isolado de influências externas (*figura 2a*). Removendo a divisória e após

alguns minutos a temperatura de todos os objetos será de 60 °C (*figura 2b*).

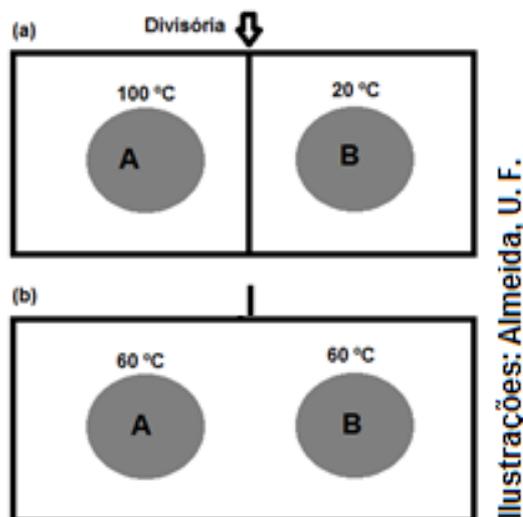


Figura 21. Esquema de dois corpos confinados em um recipiente. (a) com divisória. (b) sem a divisória.

Diante disso, é possível que o processo inverso possa ocorrer, ou seja, as temperaturas voltarem a ser como na *figura 2a* [100 °C (corpo A) e 20 °C (corpo B)]?

- Sim, espontaneamente.
- Sim, mas depende da diferença de temperatura inicial dos corpos.
- Sim, pois em ambas as situações a energia se conserva.
- Não, pois a temperatura não passa espontaneamente no sentido inverso.
- Não, pois a energia térmica jamais flui espontaneamente de um corpo de menor temperatura para um de maior temperatura.

QUESTÃO 03) Na *figura 3*, está representada duas situações. Na situação expressa na *figura 3a* o desodorante sai durante a pressão exercida pelo dedo indicador. Já na *figura 3b*, é representado o retorno do desodorante após a pressão do dedo indicador ser reduzida a zero.

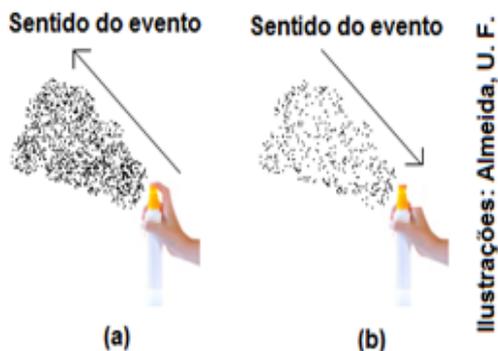


Figura 22. Spray desodorante. (a) Sendo utilizado. (b) após ser utilizado.

Em sua opinião, qual (ais) situação (ões) pode(m) ocorrer na prática?

- a) As situações (a) e (b) ocorrem na prática.
- b) Somente a situação (b) ocorre na prática.
- c) Somente A ocorre na prática.
- d) As situações (a) e (b) são fenômenos espontâneos.
- e) As situações (a) e (b) não ocorrem espontaneamente.

Observe a situação da figura 4a seguir e responda às questões 04 e 05.

Considere um recipiente isolado de qualquer ação externa dividido em duas partes iguais por uma partição, conforme *figura 4*. Na *figura 4a*, fez-se vácuo no lado direito e do lado esquerdo contém um número N de partículas.

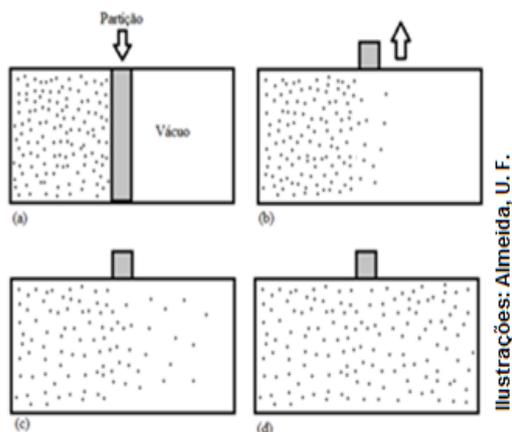


Figura 23. Esquema da expansão de um gás.

QUESTÃO 04) Em qual situação a entropia maximizou?

- a) figura 4a.
- b) figura 4b.
- c) figura 4c.
- d) figura 4d.
- e) a entropia não mudou.

QUESTÃO 05) Na figura 4, Em que situação o sistema encontra-se mais organizado?

- a) Figura 4a.
- b) Figura 4b.
- c) Figura 4c.
- d) Figura 4d.
- e) Em nenhuma das situações.

Observe a situação da figura 5 a seguir e responda às questões 06, 07 e 08.

Agora vamos considerar três compartimentos com duas repartições cada. As duas repartições comunicam-se por meio de um orifício cujo tamanho é suficientemente grande para permitir a passagem das esferas de um lado para o outro, como indicado na *figura 5*.

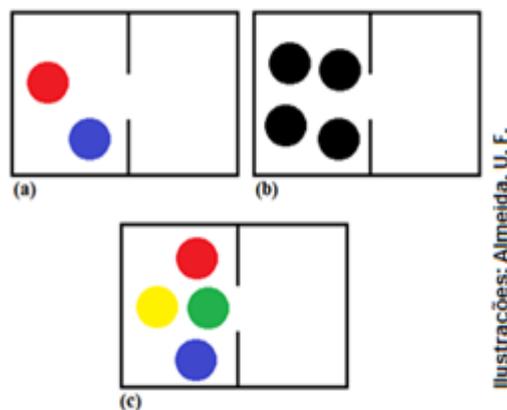


Figura 24. Esquema de uma repartição. (a) duas esferas coloridas do lado direito. (b) quatro esferas pintadas de preto do lado esquerdo. (c) quatro esferas coloridas do lado esquerdo.

QUESTÃO 06) Na *figura 5a*, quantas combinações possíveis podemos obter para as duas esferas?

- a) Duas combinações.
- b) Três combinações.
- c) Quatro combinações.
- d) Cinco combinações.
- e) infinitas combinações.

QUESTÃO 07) Na *figura 5b*, quantos microestados possíveis podemos obter para as quatro esferas?

- a) Dois microestados.
- b) Três microestados.
- c) Quatro microestados.
- d) Cinco microestados.
- e) Não conheço a definição de microestado.

Questão 08) Na *figura 5c*, o que ocorre com a quantidade de microestados quando aumentamos o número de esferas e levamos em conta a cor de cada uma.

- a) Aumenta.
- b) Diminui.
- c) Não é alterado.
- d) Não há relação entre a quantidade de esferas e a quantidade de microestados.
- e) Não conheço a definição de microestado.

Observe a situação na figura 6 a seguir e responda às questões 09 e 10.

Na *figura 6*, temos dez esferas do lado esquerdo do compartimento e nenhuma do lado direito (*figura 6a*). As duas repartições comunicam-se por meio de uma divisória a qual será removida (*figura 6b*).

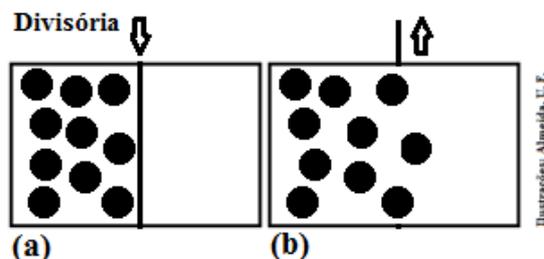


Figura 25. Esquema ilustrativo contendo esferas em um compartimento.

QUESTÃO 09) Quando a divisória é removida (*figura 6b*), o que ocorre com o número de estados ocupados possíveis por cada esfera?

- a) Aumenta.
- b) Diminui.
- c) É igual ao da *figura 6a*.

d) Não há relação entre estados ocupados e microestados.

e) Não conheço a definição de estados ocupados.

QUESTÃO 10) Quando o número de estados ocupados por cada esfera aumenta o que ocorre com o número de microestados?

- a) Aumenta.
- b) Diminui.
- c) Não é alterado.
- d) Não há relação entre estados ocupados e microestados.
- e) Não conheço a relação entre estados ocupados e microestado.

QUESTÃO 11) Quando o número de estados ocupados por cada esfera aumenta o que ocorre com a entropia?

- a) Aumenta.
- b) Diminui.
- c) permanece a mesma.
- d) Não há relação entre estados ocupados e o conceito de entropia.
- e) Não conheço a relação entre estados ocupados e o conceito de entropia.

QUESTÃO 12) Qual o item abaixo melhor define o conceito de Entropia.

- a) É uma medida do número de microestados possíveis que um sistema pode assumir.
- b) Grau de desordem de um sistema.
- c) Quantidade de energia contida em um sistema.
- d) Grau de agitação das moléculas de um sistema.
- e) Não conheço a definição de entropia.

OBRIGADO PELA CONTRIBUIÇÃO NA PESQUISA

