



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

ANDERSON FORCATO

**ABORDAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA VOLTADAS  
AO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS POR  
MEIO DA TEORIA DE ENSINO PRESCRITIVA DE BRUNER**

---

Londrina  
2022

**MNPEF**

Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

ANDERSON FORCATO

**ABORDAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA VOLTADAS  
AO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS POR  
MEIO DA TEORIA DE ENSINO PRESCRITIVA DE BRUNER**

---

Londrina  
2022

ANDERSON FORCATO

**ABORDAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA VOLTADAS  
AO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS POR  
MEIO DA TEORIA DE ENSINO PRESCRITIVA DE BRUNER**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Londrina no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Américo Tsuneo Fujii.

Londrina  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A546 Forcato, Anderson.  
Abordagem das leis da termodinâmica voltadas ao funcionamento das máquinas térmicas por meio da teoria de ensino prescritiva de Bruner / Anderson Forcato. - Londrina, 2022.  
161 f. : il.

Orientador: Américo Tsuneo Fujii.  
Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Física, 2022.  
Inclui bibliografia.

1. ensino de física - Tese. 2. formas de representação - Tese. 3. método da descoberta - Tese. 4. máquinas térmicas - Tese. I. Fujii, Américo Tsuneo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física. III. Título.

CDU 53

ANDERSON FORCATO

**ABORDAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA VOLTADAS  
AO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS POR  
MEIO DA TEORIA DE ENSINO PRESCRITIVA DE BRUNER**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Londrina no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Américo Tsuneo Fujii  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Alexandre Urbano  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dra Lígia Ayumi Kikuchi  
Colégio Estadual Dr. Willie Davids -  
SEED/PR

Londrina, 03 de março de 2022.

*A Deus em primeiro lugar, por me capacitar sempre que eu precisei e, em segundo lugar, a minha família, que sempre me ajudou nos momentos de necessidade.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por inúmeros motivos.

Inicialmente, por Ele me proporcionar diversas experiências ao me socorrer nos momentos de angústia e necessidade; e isto é fato: Ele nunca me abandonou!

Em seguida, por ter me proporcionado fazer parte de uma família que sempre me amparou direta e indiretamente, em todos os aspectos, ou seja, meus pais.

Como nada acontece por acaso, agradeço imensamente a Deus, também, por ter colocado em meu caminho, no percurso do mestrado, todos os professores que fizeram parte desta conquista, mas em especial, a minha esposa Cibele Forcato, o Américo Tsuneo Fujii, o Alexandre Urbano, o Manuel Simões Filho, o Paulo Sergio Parreira e a professora Lígia Ayumi Kikuchi.

Agradeço também as seguintes pedagogas: Tatiana Moreno, Maria Odete e Cleide Ap Basso Déo da Silva, pela participação e suporte na Sala Virtual, criada para que este trabalho alcançasse o sucesso.

Ao meu querido amigo, professor Exedito, por acreditar no meu potencial e me estimular a finalizar este trabalho e ao meu irmão Robson Forcato por todo apoio.

Agradeço a Deus pela oportunidade de ter me proporcionado o prazer de me aprofundar um pouco mais nesse infinito mundo da Física e da educação, por meio desta obra.

Por fim, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

FORCATO, Anderson. **Abordagem das leis da termodinâmica voltadas ao funcionamento das máquinas térmicas por meio da teoria de ensino prescritiva de Bruner**. 2022. 161 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

## RESUMO

A disciplina de Física estuda os fenômenos naturais em todos os seus aspectos, e é considerada por muitos estudantes como uma ciência que requer um esforço maior para compreender melhor os seus conceitos, além disso, muitos se equivocam ao pensar que se trata de uma “matemática mais difícil”, já que esta é uma de suas linguagens instrumentais. É perceptível, também, que muitos estudantes chegam ou saem do ensino médio, crendo ser esta uma verdade, e, para agravar a situação, demonstram pouco ou nenhum entendimento teórico/formal que embasam seus eventos e suas leis. Com isso, mas não raramente, o estudante o conclui com uma visão distorcida sobre alguns fenômenos abordados na disciplina. Foi pensando nisso que se acreditou ser possível trabalhar a Física com estudantes de ensino fundamental II e/ou do ensino médio (produto educacional bifuncional) a critério do professor, por meio da simulação e da experimentação o conteúdo da Termodinâmica e o funcionamento das Máquinas Térmicas a Vapor, respeitando e adaptando a esta a Teoria de Ensino Prescritiva de Jerome S. Bruner que, entre todos os seus aspectos, enfatiza que de maneira intelectualmente honesta é possível simplificar qualquer ideia, problema ou conjunto de conhecimentos para que seja compreendido por qualquer estudante sob uma forma reconhecível. Isso foi realizado, considerando os pontos principais de sua teoria tais como os seguintes: formas de representação, método da descoberta, reforço, currículo em espiral (adaptado), economia e potência efetiva. Por fim, o objetivo principal da pesquisa foi realmente alcançado, pois houve uma evolução significativa de aprendizagem entre os estudantes acerca do conteúdo abordado.

**Palavras-chave:** ensino de física; formas de representação; método da descoberta; reforço; currículo em espiral; potência efetiva; termodinâmica; máquinas térmicas; simulação; experimentação.

FORCATO, Anderson. **An approach to the laws of thermodynamics aimed at the operation of heat engines based on Bruner's prescriptive teaching theory.** 2022. 161 f. Dissertation (National Vocational Master's Program in Physics teaching) – Londrina State University, Londrina, 2022.

## ABSTRACT

Physics is the discipline that studies natural phenomena and all their aspects. Many students consider that properly understanding the concepts of this science requires great effort. Also, it is often misjudged as “more difficult mathematics” because that is one of its instrumental languages. Many students noticeably start or finish high school believing these concepts are true, which is made worse by their insufficient theoretical/formal understanding of the principles on which the events and laws are grounded. Hence, these students not rarely graduate with a distorted view of some phenomena approached in the discipline. Given the above, it is believed that Physics can be taught to middle and/or high school students (bifunctional educational product), at the teacher's discretion, by simulating and experimenting with the content of thermodynamics and the operation of steam heat engines, complying with and adapting it to Jerome S. Bruner's Prescriptive Teaching Theory. One of the aspects of this theory is that it emphasizes that, while being intellectually honest, any idea, problem, or set of knowledge can be simplified so any student can understand it in a recognizable form. It was carried out considering the main points of his theory, such as representation forms, discovery method, reinforcement, (adapted) spiral curriculum, economy, and effective power. The main objective of the research was achieved, as there was significant progress in the students' learning regarding the content approached.

**Keywords:** physics teaching; representation forms; discovery method; reinforcement; spiral curriculum; effective power; thermodynamics; heat engines; simulation; experimentation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	- Máquina de Heron de Alexandria, a Eolípila .....	21
<b>Figura 2</b>	- Máquina a Vapor de Newcomen .....	21
<b>Figura 3</b>	- Máquina a vapor de Watt .....	22
<b>Figura 4</b>	- Transformações adiabáticas e isotérmicas .....	25
<b>Figura 5</b>	- Recipientes com gases em diferentes níveis de organização .....	29
<b>Figura 6</b>	- Locomotiva a vapor com vista interna esquematizada .....	32
<b>Figura 7</b>	- Pistão pressionado pelo vapor de gás .....	32
<b>Figura 8</b>	- Motor em corte e seus componentes .....	33
<b>Figura 9</b>	- Motor em corte e suas etapas de produção de movimento .....	33
<b>Figura 10</b>	- Reservatório térmico .....	42
<b>Figura 11</b>	- Caminhos percorridos por um gás .....	43
<b>Figura 12</b>	- Aparato de Joule sobre o Equivalente Mecânico do Calor .....	46
<b>Figura 13</b>	- Ilustração de um sistema termodinâmico .....	50
<b>Figura 14</b>	- Tela de abertura da sala virtual do Google Classroom .....	73
<b>Figura 15</b>	- Corpo docente na sala virtual do Google Classroom .....	73
<b>Figura 16</b>	- Estudantes participantes da pesquisa, sexta série .....	73
<b>Figura 17</b>	- Estudantes participantes da pesquisa, sexta e sétima séries .....	74
<b>Figura 18</b>	- Resolução de problema sobre a conservação da energia .....	75
<b>Figura 19</b>	- Ensinando o ciclo de Carnot .....	75
<b>Figura 20</b>	- Conceito de energia e tipos de energia (conhecimentos prévios) .....	88
<b>Figura 21</b>	- Outras respostas sobre o conceito de energia e tipos de energia (conhecimentos prévios) .....	88
<b>Figura 22</b>	- Últimas respostas sobre o conceito de energia e tipos de energia (conhecimentos prévios) .....	88
<b>Figura 23</b>	- Conhecimentos prévios acerca da definição de temperatura .....	90
<b>Figura 24</b>	- Outras respostas sobre conhecimentos prévios acerca da definição de temperatura .....	91
<b>Figura 25</b>	- Conhecimentos prévios sobre o conceito de calor .....	92
<b>Figura 26</b>	- Outras respostas acerca de conhecimentos prévios sobre o conceito de calor .....	92
<b>Figura 27</b>	- Conhecimentos prévios acerca do conceito de volume .....	93

<b>Figura 28</b> - Conhecimentos prévios sobre pressão .....	94
<b>Figura 29</b> - Propagação do calor por condução e calor específico .....	98
<b>Figura 30</b> - Comparativo entre escalas de temperatura .....	99
<b>Figura 31</b> - Termômetro de álcool .....	100
<b>Figura 32</b> - Transformações de estado físico da matéria por partículas .....	101
<b>Figura 33</b> - Ilustração do conceito simplificado de energia .....	102
<b>Figura 34</b> - Questões mais erradas no questionário .....	105
<b>Figura 35</b> - Questões mais erradas (pré - questionário 2) .....	112
<b>Figura 36</b> - Sistema termodinâmico (pré - questionário 2).....	112
<b>Figura 37</b> - Gráficos da questão, imagem editada (questionário 2) .....	119
<b>Figura 38</b> - Questões mais erradas (questionário 2) .....	119
<b>Figura 39</b> - Imagem esquemática de um motor automotivo (questionário 4). 128	
<b>Figura 40</b> - Desenho da transformação isobárica (questionário 4, parte 2) ...	132
<b>Figura 41</b> - Desenho da transformação isotérmica (questionário 4, parte 2). 132	
<b>Figura 42</b> - Desenho de uma mini Máquina Térmica a Vapor .....	132
<b>Figura 43</b> - Experiência da transformação gasosa Isovolumétrica .....	132
<b>Figura 44</b> - Experiência da transformação gasosa Isobárica .....	133
<b>Figura 45</b> - Experiência da mini Máquina Térmica com material reciclado....	133
<b>Figura 46</b> - Imagens ilustrativas da questão 1 (questionário 5) .....	139
<b>Figura 47</b> - Imagens ilustrativas aplicadas na questão 2 (questionário 5) .....	140
<b>Figura 48</b> - Imagem ilustrativa da questão 3 (questionário 5).....	141
<b>Figura 49</b> - Gráfico ilustrativo aplicado na questão 4.....	142
<b>Figura 50</b> - Refrigerador térmico esquematizado .....	149

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Transformações adiabáticas, isotérmicas e variações do trabalho .....	25
<b>Gráfico 2</b> - Representação gráfica do ciclo Otto-Diesel .....	35
<b>Gráfico 3</b> - Pesquisa com professores de Ciências (pergunta 1) .....	81
<b>Gráfico 4</b> - Questão investigativa sobre a diferença entre temperatura e calor com ensino médio .....	84
<b>Gráfico 5</b> - Questão investigativa com base na Primeira Lei da Termodinâmica com o ensino médio.....	84
<b>Gráfico 6</b> - Número de participantes (dados gerais) .....	87
<b>Gráfico 7</b> - Dados das respostas sobre a comparação entre calor e temperatura (conhecimentos prévios) .....	89
<b>Gráfico 8</b> - Questão investigativa com base na Primeira Lei da Termodinâmica para o ensino fundamental II .....	94
<b>Gráfico 9</b> - Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 1 .....	95
<b>Gráfico 10</b> - Dados da questão 1 .....	96
<b>Gráfico 11</b> - Dados da questão 2 .....	97
<b>Gráfico 12</b> - Dados da questão 3 .....	98
<b>Gráfico 13</b> - Dados da questão 4 .....	99
<b>Gráfico 14</b> - Dados da questão 5 .....	100
<b>Gráfico 15</b> - Dados da questão 6 .....	101
<b>Gráfico 16</b> - Dados da questão 7 .....	102
<b>Gráfico 17</b> - Dados da questão 8 .....	103
<b>Gráfico 18</b> - Dados da questão 9 .....	104
<b>Gráfico 19</b> - Número de participantes e pontuação (dados gerais) .....	108
<b>Gráfico 20</b> - Dados da questão 1 (pré - questionário 2) .....	108
<b>Gráfico 21</b> - Dados da questão 2 (pré - questionário 2) .....	109
<b>Gráfico 22</b> - Dados da questão 3 (pré - questionário 2) .....	110
<b>Gráfico 23</b> - Dados da questão 4 (pré - questionário 2) .....	110
<b>Gráfico 24</b> - Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 2.....	113
<b>Gráfico 25</b> - Dados gerais questão 1 (questionário 2).....	114

<b>Gráfico 26</b> - Dados gerais questão 2 (questionário 2).....	115
<b>Gráfico 27</b> - Dados gerais questão 3 (questionário 2).....	116
<b>Gráfico 28</b> - Dados gerais questão 4 (questionário 2).....	117
<b>Gráfico 29</b> - Dados gerais questão 5 (questionário 2).....	117
<b>Gráfico 30</b> - Dados gerais questão 6 (questionário 2).....	118
<b>Gráfico 31</b> - Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 3.....	120
<b>Gráfico 32</b> - Dados gerais questão 1 (questionário 3).....	121
<b>Gráfico 33</b> - Dados gerais questão 2 (questionário 3).....	123
<b>Gráfico 34</b> - Imagem gráfica das mudanças entre as variáveis de estado (questionário 3) .....	123
<b>Gráfico 35</b> - Dados gerais questão 3 (questionário 3).....	124
<b>Gráfico 36</b> - Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 4 (parte 1) .....	125
<b>Gráfico 37</b> - Dados gerais questão 1 (questionário 4).....	126
<b>Gráfico 38</b> - Dados gerais questão 2 (questionário 4).....	127
<b>Gráfico 39</b> - Dados gerais questão 3 (questionário 4).....	129
<b>Gráfico 40</b> - Dados gerais questão 4 (questionário 4).....	130
<b>Gráfico 41</b> - Ciclo de Carnot (questionário 4).....	130
<b>Gráfico 42</b> - Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 4 (parte 2) .....	134
<b>Gráfico 43</b> - Dados gerais da questão 1 (questionário 4, parte 2).....	134
<b>Gráfico 44</b> - Dados gerais da questão 2 (questionário 4, parte 2).....	135
<b>Gráfico 45</b> - Dados gerais da questão 3 (questionário 4, parte 2).....	136
<b>Gráfico 46</b> - Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 5.....	138
<b>Gráfico 47</b> - Dados gerais da questão 1 (questionário 5).....	139
<b>Gráfico 48</b> - Dados gerais da questão 2 (questionário 5).....	139
<b>Gráfico 49</b> - Dados gerais da questão 3 (questionário 5).....	141
<b>Gráfico 50</b> - Dados gerais da questão 4 (questionário 5).....	142
<b>Gráfico 51</b> - Dados gerais da questão 5 (questionário 5).....	143
<b>Gráfico 52</b> - Gráfico ilustrativo da questão 5 .....	143
<b>Gráfico 53</b> - Dados gerais da questão 6 (questionário 5).....	144
<b>Gráfico 54</b> - Imagem gráfica cíclica (questionário 5).....	145

<b>Gráfico 55</b> - Dados gerais da questão 7 (questionário 5).....	146
<b>Gráfico 56</b> - Dados gerais da questão 8 (questionário 5).....	146
<b>Gráfico 57</b> - Dados gerais da questão 9 (questionário 5).....	147
<b>Gráfico 58</b> - Dados gerais da questão 10 (questionário 5).....	148

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Grade curricular do sétimo ano de ciências do ensino fundamental II.....	18
<b>Quadro 2</b> - Convenção do balanço energético referente a Primeira Lei da Termodinâmica.....	49
<b>Quadro 3</b> - Formação profissional básica dos docentes entrevistados .....	82
<b>Quadro 4</b> - Símbolos utilizados nos quadros analíticos sobre o desempenho individual dos participantes no presente trabalho.....	95
<b>Quadro 5</b> - Dados individuais dos resultados do questionário 1.....	106
<b>Quadro 6</b> - Dados individuais de resultados do pré-questionário 2.....	113
<b>Quadro 7</b> - Dados individuais de resultados do questionário 2 .....	120
<b>Quadro 8</b> - Dados individuais de resultados do questionário 3 .....	124
<b>Quadro 9</b> - Dados individuais de resultados do questionário 4, parte 1 .....	131
<b>Quadro 10</b> - Dados individuais de resultados obtidos no questionário 4, parte 2 .....	137
<b>Quadro 11</b> - Dados de resultados individuais obtidos na avaliação final (questionário 5) .....	150

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CREP	Currículo da Rede Estadual Paranaense
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
SEED/PR	Secretaria Estadual de Educação do Paraná
UEL	Universidade Estadual de Londrina

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
	<b>CAPÍTULO 1 – BREVE HISTÓRICO SOBRE A ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS COM BASE EM ALGUNS LIVROS DIDÁTICOS DE ENSINO DA REDE PÚBLICA</b> .....	20
1.1	A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E A MÁQUINA IDEAL DE CARNOT .....	23
1.2	BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTROPIA .....	28
1.3	A TERMODINÂMICA NO DIA A DIA: DISPOSITIVOS TÉRMICOS DOMÉSTICOS, MOTORES DE COMBUSTÃO EXTERNA E INTERNA, CICLO OTTO E DIESEL.....	31
	<b>CAPÍTULO 2 – CONCEITUANDO AS GRANDEZAS E OS FENÔMENOS FÍSICOS ENVOLVIDOS NO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS</b> .....	38
2.1	TEMPERATURA .....	38
2.2	CALOR E TRABALHO.....	40
2.3	SÍNTESE SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	48
2.3.3	Energia Interna de um Sistema Termodinâmico .....	52
	<b>CAPÍTULO 3 – PRINCIPAIS ASPECTOS DA NOVA TEORIA DE APRENDIZAGEM DE JEROME BRUNER: TEORIA DE ENSINO (PRESCRITIVA)</b> .....	54
3.1	O DESENVOLVIMENTO INTELECTUAL DESCRITO POR BRUNER.....	55
3.2	FASES DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DESCRITAS POR BRUNER - FORMAS DE REPRESENTAÇÃO .....	57
3.3	UMA NOVA TEORIA DA APRENDIZAGEM, A ECONOMIA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM E SUA VANTAGEM .....	58
3.4	POTÊNCIA EFETIVA .....	59
3.5	SEQUÊNCIA E SUAS APLICAÇÕES NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM.....	63
3.6	O MÉTODO DA DESCOBERTA, A FORMA E A DISTRIBUIÇÃO DO REFORÇO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM .....	64

3.7	A DEFESA DE BRUNER SOBRE UM CURRÍCULO IDEAL NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM.....	67
3.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A TEORIA DE ENSINO DE BRUNER: ALGUMAS MUDANÇAS DE PENSAMENTO .....	68

**CAPÍTULO 4 – ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO COM BASE NO PRODUTO EDUCACIONAL VIGENTE .....**

4.1	ESCOLHA DOS PARTICIPANTES E CRIAÇÃO DA SALA VIRTUAL .....	73
4.2	PESQUISA COM PROFESSORES DA REDE PÚBLICA DE ENSINO E ESTUDANTES DE UMA TURMA DO ENSINO MÉDIO.....	80

**CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÕES DOS DADOS, ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS E BREVE DISCUSSÃO SOBRE A FORMAÇÃO DE PROFESSORES .....**

5.1	FORMAÇÃO DE PROFESSORES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL II: ENFOQUE SOBRE OS CONTEÚDOS DE FÍSICA NESSA ETAPA DE ENSINO.....	85
5.2	APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE RESULTADOS EVOLUTIVOS DOS ESTUDANTES.....	88
5.2.1	Análise das Respostas sobre os Conhecimentos Prévios .....	89
5.2.2	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Questionário 1 .....	97
5.2.3	Análise dos Resultados das Questões do Questionário 1: Dados Gerais.....	98
5.2.4	Questões Erradas com Frequência no Questionário 1.....	108
5.2.5	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Questionário 1 .....	109
5.2.6	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Pré-Questionário 2.....	110
5.2.7	Análise dos Resultados das Questões do Questionário Teste (Pré-Questionário 2): Dados Gerais.....	101
5.2.8	Questões Erradas com Frequência no Pré-Questionário 2.....	115
5.2.9	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Pré-Questionário 2.....	116

5.2.10	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Questionário 2.....	116
5.2.11	Análise dos Resultados das Questões do Questionário 2: Dados Gerais.....	117
5.2.12	Questões Erradas com Frequência no Questionário 2:.....	122
5.2.13	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Questionário 2 .....	123
5.2.14	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Questionário 3.....	123
5.2.15	Análise dos Resultados das Questões do Questionário 3: Dados Gerais.....	124
5.2.16	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Questionário 3 .....	128
5.2.17	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Questionário 4, Parte 1 .....	129
5.2.18	Análise das Questões do Questionário 4: Dados Gerais, Parte 1 .....	130
5.2.19	Questões Erradas com Frequência no Questionário 4: Parte 1 .....	135
5.2.20	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Questionário 4, Parte 1.....	135
5.2.21	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Questionário 4, Parte 2 .....	138
5.2.22	Análise das Questões do Questionário 4: Dados Gerais, Parte 2 .....	139
5.2.23	Questões Erradas com Frequência no Questionário 4:.....	141
5.2.24	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Questionário 4, Parte 2.....	142
5.2.25	Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: Questionário 5.....	143
5.2.26	Análise das Questões do Questionário 5: Dados Gerais .....	144
5.2.27	Questões Erradas com Frequência no Questionário 5.....	154
5.2.28	Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: Questionário 5 .....	155

<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	156
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	158
<b>APÊNDICE</b> .....	164
APÊNDICE A- Produto ED SBF .....	164

## INTRODUÇÃO

A disciplina de Física estuda os fenômenos naturais em todos os seus aspectos. Muitos estudantes consideram que os conceitos dessa ciência requerem maior esforço para ser compreendidos. Outros se equivocam ao pensar que se trata de uma “matemática mais difícil”, já que esta é uma de suas linguagens instrumentais.

É perceptível, também, que diversos estudantes chegam ao ensino médio ou o concluem crendo ser essa uma verdade. Para agravar a situação, demonstram pouco ou nenhum entendimento das teorias que embasam seus eventos e suas leis.

Por isso, acredita-se, nesse presente estudo, que trabalhar a física com grupos de estudantes do ensino fundamental II com base na Teoria de Ensino Prescritiva de Jerome S. Bruner, utilizando tecnologia de mídia (ilustração/simulação) e simplificando tanto quanto possível (BRUNER, 1973c, p. 51), seria no mínimo uma forma de melhorar o aprendizado dos educandos sobre o assunto abordado nesta pesquisa, a saber, as Leis da Termodinâmica e o funcionamento das máquinas térmicas.

É fundamental ainda enfatizar que, com respaldo na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a Secretaria da Educação do Estado do Paraná (SEED/PR) criou o Currículo da Rede Estadual Paranaense (CREP). Com isso, fizeram ajustes na ementa estadual de primeira a quinta série do ensino fundamental I e sexto ao nono ano do ensino fundamental II, baseados nas dez competências da BNCC.

Essas competências consideram as tendências exigidas da atualidade e são as seguintes: conhecimento; pensamento científico, crítico e criativo; repertório cultural; comunicação; cultura digital; trabalho e projeto de vida; argumentação; autoconhecimento e autocuidado; empatia e cooperação; responsabilidade e cidadania. Cada uma delas é detalhadamente explicada em seu documento original (BRASIL, 2018, p. 9).

É preciso destacar de início que Bruner (1973c, p. 51) talvez tenha ficado mais conhecido ao afirmar que qualquer assunto, conteúdo, problema ou conjunto de conhecimentos pode ser simplificado ou reduzido em sua complexidade, de tal forma que qualquer criança em qualquer estágio de seu desenvolvimento possa aprendê-lo.

Por outro lado, conforme o aprendiz compreende o conteúdo abordado, é obviamente possível aprofundar o assunto. Isso remete à aprendizagem pelo currículo em espiral, que será conceituado posteriormente (MOREIRA, 1999, p. 82; ROLDÃO,

1994, p. 63). Esse e outros aspectos serão discutidos com certo detalhe no terceiro capítulo deste trabalho.

Após a escolha da metodologia pedagógica descrita, inicialmente foi selecionado um grupo de estudo com 17 participantes do ensino fundamental II (sexta e sétima séries), dos quais 15 participaram até o final. Esses detalhes serão discutidos no quarto capítulo desta pesquisa, que descreve o encaminhamento metodológico abordado.

As aulas foram realizadas simultaneamente com esses estudantes, que são de duas escolas do município de Arapongas, no interior do Paraná, via suporte do Google Meet (encontros virtuais). Na ocasião, a população mundial se encontrava acometida pelos ataques da covid-19; com isso as normas de decreto municipal e estadual foram legalmente respeitadas no decorrer da aplicação do presente produto educacional (PARANÁ, 2020b, p. 1-2).

Ao considerar os novos arranjos disciplinares do ensino de ciências do sétimo ano, nota-se que o conteúdo máquinas térmicas é trabalhado em sua grade curricular de maneira explícita e os conceitos básicos da termodinâmica de forma implícita em alguns aspectos, como ilustra o quadro logo abaixo (PARANÁ, 2020a, p. 24-25; CARNEVALLE, 2018a, p. 202-242).

Por outro lado, esse tema não faz parte da ementa da sexta série (PARANÁ, 2020a, p. 24 segs.), à qual pertencem alguns participantes do grupo selecionado. Porém, como essa pesquisa segue o principal argumento de Bruner (possibilidade de ensinar qualquer assunto a qualquer faixa etária de maneira intelectualmente honesta e simplificada), a intenção é obter dados da evolução, até o final desse estudo, dos estudantes das duas séries distintas no processo de ensino-aprendizagem do conteúdo escolhido.

**Quadro 1 – Grade curricular do sétimo ano de ciências do ensino fundamental II**

UNIDADE TEMÁTICA	OBJETOS DE CONHECIMENTO	CÓDIGO	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	CONTEÚDO	TRIMESTRE
Matéria e energia	Máquinas simples; Formas de propagação do calor; Equilíbrio termodinâmico e vida na Terra; História dos combustíveis e das máquinas térmicas	PR.EF07CI01. s.7.01	Discutir a aplicação, ao longo da história, das máquinas simples e propor soluções para a realização de tarefas mecânicas cotidianas.	Máquinas simples: 1 - Força; 2 - Alavancas; 3 - Plano inclinado; 4 - Rodas, polias e engrenagens.	1º
		PR.EF07CI02. s.7.02	Diferenciar temperatura, calor e sensação térmica nas diferentes situações de equilíbrio termodinâmico cotidianas.	Temperatura; Calor; Equilíbrio térmico.	
		PR.EF07CI03. s.7.03	Utilizar o conhecimento das formas de propagação do calor para justificar a utilização de determinados materiais (condutores e isolantes) na vida cotidiana, explicar o princípio de funcionamento de alguns equipamentos (garrafa térmica, coletor solar etc.) e/ou construir soluções tecnológicas a partir desse conhecimento.	Propagação de calor: 1 - Condução; 2 - Convecção; 3 - Irradiação.	
		PR.EF07CI04. s.7.04	Avaliar o papel do equilíbrio termodinâmico para a manutenção da vida na Terra, bem como este é afetado pelo funcionamento de máquinas térmicas e de outras situações cotidianas.	Máquinas térmicas: 1 - Transformação de energia; 2 - Máquina a vapor; 3 - Motor a combustão.	
		PR.EF07CI05. s.7.05	Discutir o uso de diferentes tipos de combustível e máquinas térmicas ao longo do tempo, para avaliar avanços, questões econômicas e problemas socioambientais causados pela produção e uso desses materiais e máquinas.		
		PR.EF07CI06. s.7.06	Discutir e avaliar mudanças econômicas, culturais e sociais, tanto na vida cotidiana quanto no mundo do trabalho, decorrentes do desenvolvimento de novos materiais e tecnologias.		

Fonte: Paraná (2020a).

Diante desse contexto, é fundamental descrever brevemente esse conteúdo, que é de suma importância na vida da humanidade ao longo da história de sua existência.

Dominar os conceitos de calor e temperatura e o funcionamento das máquinas térmicas, em geral, é fundamental, pois elas são dispositivos que facilitaram e facilitam a vida das pessoas em seu dia a dia. Portanto, uma abordagem ainda que breve de sua origem e vantagens na vida cotidiana, destacando o que está por trás de seu mecanismo (grandezas e leis físicas), é interessante do ponto de vista técnico, científico e pedagógico (BRUNER, 1973c, p. 51). Todos esses aspectos serão discutidos nos tópicos subsequentes.

## CAPÍTULO 1

### BREVE HISTÓRICO SOBRE A ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS COM BASE EM ALGUNS LIVROS DIDÁTICOS DE ENSINO DA REDE PÚBLICA

Ao abordar o conteúdo Termodinâmica e Máquinas Térmicas, é imprescindível saber que uma fonte de calor é um fator físico indispensável ao funcionamento inicial desses tipos de dispositivos. É essencial conhecer ainda algumas leis que estão intimamente ligadas às suas operações, a saber, as Leis da Termodinâmica e suas grandezas físicas associadas.

Segundo Bonjorno, Bonjorno e Bonj (1993, p. 263), a transformação de uma fonte quente (calor) em energia de movimento é adquirida pelo funcionamento de uma máquina térmica. Os autores citam como exemplo os seguintes dispositivos: as turbinas a vapor, as turbinas a querosene que promovem o impulso de aeronaves, os motores a combustão a gasolina, álcool e diesel, além de reatores termonucleares.

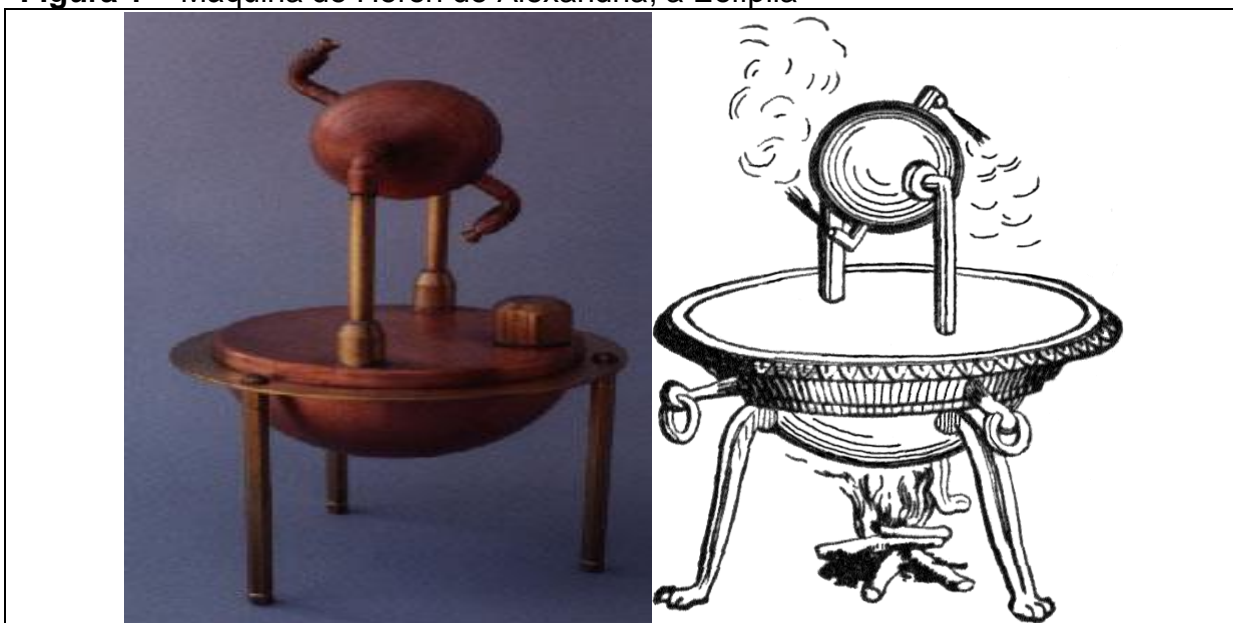
Ao longo da história, diversas técnicas foram gradativamente aprimoradas a partir da descoberta do calor como fonte de energia para um sistema termodinâmico e dos inúmeros experimentos de investigação sobre essa grandeza física (ROCHA *et al.*, 2002).

Os esforços na descoberta das propriedades do calor e suas implicações foram fundamentais para o sucesso da Revolução Industrial, em especial do comércio têxtil.

Menezes *et al.* (2013, p. 169) descrevem que, antes mesmo de se compreender conceitualmente as propriedades do calor, usava-se o fogo. Ele era bastante difundido na época da Primeira Revolução Industrial, no século XVIII, para gerar trabalho mecânico por máquinas a vapor.

Os autores explicam que, desde a Grécia Antiga, já existia uma máquina semelhante, criada pelo engenheiro e geômetra Heron de Alexandria, aproximadamente entre 10 e 75 d. C. Contudo, ela não tinha objetivo aplicável (figura 1).

**Figura 1 – Máquina de Heron de Alexandria, a Eolípila**



Fonte: EOLÍPIA (2020).

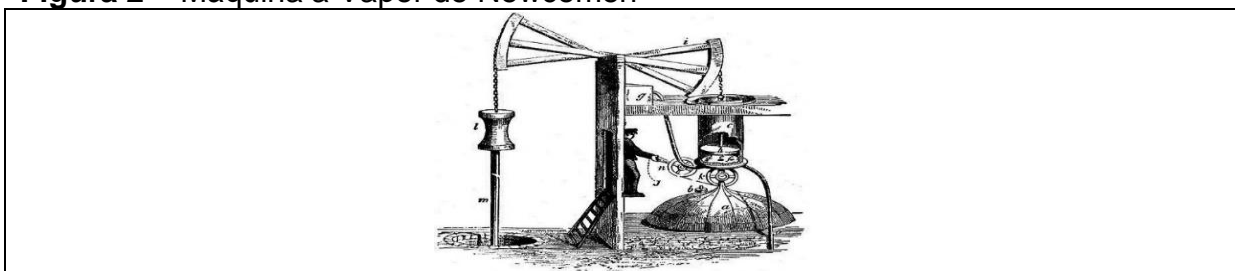
A máquina a vapor, por sua vez, foi criada no ano de 1691 por Denis Papin (1647-1714), pouco antes de uma máquina de baixa pressão projetada por Thomas Newcomen (1663-1729), cuja finalidade era elevar água; ou seja, um dispositivo consideravelmente eficiente (ROCHA *et al.*, 2002, p. 152).

Com a Revolução Científica no final do século XVII, na Inglaterra, a máquina a vapor é aceita por Bernal “como uma aplicação consciente do pensamento científico estabelecido com essa tal Revolução no sentido de que visa ao melhoramento das manufaturas.” (ROCHA *et al.*, 2002, p. 152).

Nesse período, surgiram as primeiras máquinas térmicas com aplicação efetivamente prática. O objetivo da máquina de Newcomen, citada acima, era aprimorar o trabalho feito pelo dispositivo de Savery (1650-1715) com a finalidade de bombear água para fora de minas, usando a pressão do vapor (MENEZES *et al.*, 2013, p. 169).

Os autores ainda destacam que, posteriormente, James Watt reparou defeitos na máquina de Newcomen e, por meio de ajustes, tornou-a mais rentável e econômica. Em outras palavras, realizava mais trabalho com menor extração de calor. As figuras 2 e 3, abaixo, ilustram, respectivamente, a máquina idealizada por Newcomen e a aprimorada por Watt.

**Figura 2 – Máquina a Vapor de Newcomen**



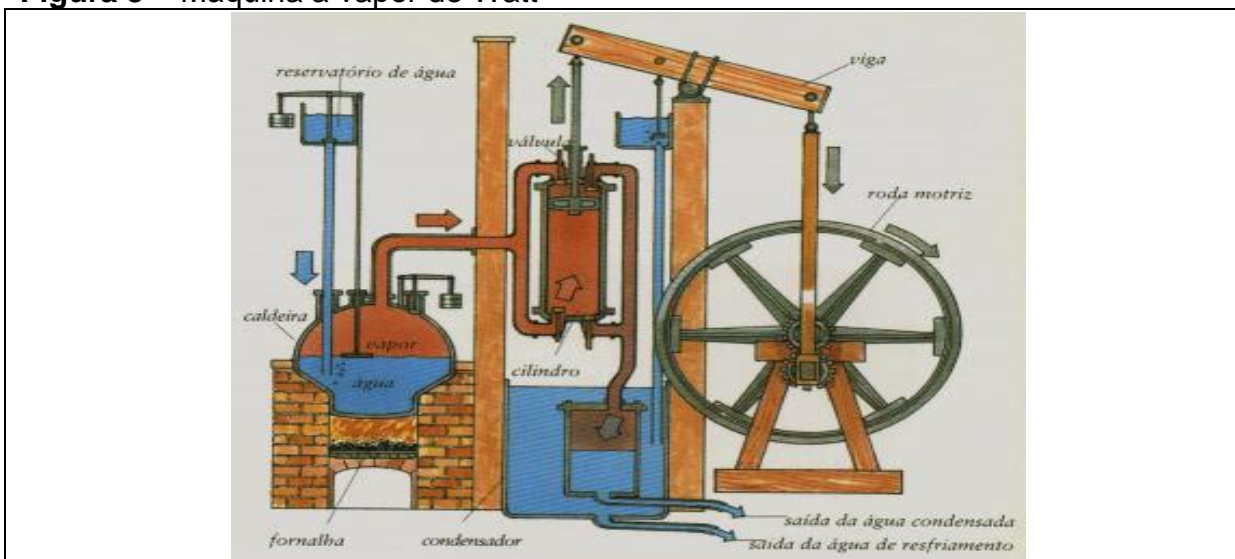
Fonte: Newcomen (2020).

A máquina de Newcomen funcionava seguindo estes passos: a fonte de calor aquecia o recipiente com água, que produzia uma quantidade suficiente de vapor para gerar pressão e abrir a válvula, permitindo a passagem do gás até colidir com o cilindro e empurrar o pistão para cima, promovendo um movimento de vai e vem.

Posteriormente, a água penetrava no recipiente condensador e era injetada no cilindro novamente por meio da válvula. Assim, ela resfriava, a pressão interior diminuía, e o pistão baixava. Por meio desse movimento de balanço, o fluido era bombeado para fora das minas (MENEZES *et al.*, 2013, p. 170).

A figura 3, a seguir, ilustra o aprimoramento realizado por Watt.

**Figura 3 – Máquina a vapor de Watt**



Fonte: (GERAÇÃO..., 2014).

É notável a participação de diversos cientistas na produção e aprimoramento desses dispositivos.

Esses e outros aprimoramentos que ocorreram entre a metade do século XVIII e início do século XIX trouxeram inúmeras aplicações de cunho comercial, como os

exemplificados a seguir: acionamento de teares, corte de madeira, trituração de milho, acionamento de pistões, movimentação de navios e locomotivas e transformação de pequenos negócios artesanais em grandes indústrias. Isso promoveu maior rapidez, economia de tempo e redução de custos com a mão de obra (MENEZES *et al.*, 2013, p. 169; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 95).

De modo geral, aparelhos conversores de calor em energia mecânica são denominados máquinas térmicas, inclusive os motores de veículos que atualmente são indispensáveis à vida humana, seja por utilidade de lazer ou comércio (MENEZES *et al.*, 2013, p. 169).

Isso se deve até hoje à consolidação das relações trabalhistas após o surgimento e desenvolvimento das indústrias. Assim, empregos industriais foram criados, com horários de trabalho padronizados, resultando em uma sociedade assalariada, deslocamento de pessoas entre locais distantes em busca de sustento para suas famílias e desenvolvimento profissional em locais próximos ou distantes de suas moradias.

Os meios de locomoção foram cada vez mais aperfeiçoados ao longo da história da ciência, particularmente com o funcionamento de motores que são verdadeiras máquinas térmicas. Esses dispositivos são capazes de transformar energia térmica (calor) em energia de movimento (MENEZES *et al.*, 2013, p. 160; ROCHA *et al.*, 2002, p. 153; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 97).

No entanto, ainda não existe uma máquina com cem por cento de rendimento – nem mesmo a desenvolvida por Nicolas Léonard Sadi Carnot, físico, matemático e engenheiro mecânico do exército francês, que demonstra uma relação cíclica de rendimento máximo possível (MENEZES *et al.*, 2013, p. 172).

A questão da máquina ideal de Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica serão objetos de breve discussão no próximo tópico.

## 1.1 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E A MÁQUINA IDEAL DE CARNOT

Para não perder o foco nos processos que regem o funcionamento das máquinas movidas por fontes de calor, serão discutidos alguns pontos relevantes sobre a Segunda Lei da Termodinâmica. Também será visto o ciclo de Carnot, associado a elas antes de abordar as grandezas envolvidas, tais como o calor, a

temperatura, a variação da energia interna, o volume, a pressão e o trabalho – que são propriedades ligadas à dinâmica de um gás.

De acordo com Bonjorno, Bonjorno e Bonj (1993, p. 263), a Segunda Lei da Termodinâmica é um complemento da primeira lei. Enquanto a lei da conservação (primeira lei) trata de uma equivalência entre o calor e o trabalho (ou seja, um balanço energético), aquela (segunda lei) determina as circunstâncias possíveis de transformação da energia na forma de calor em energia na forma de trabalho. Essa constatação foi feita por Clausius, ao tratar do funcionamento das máquinas térmicas e do conceito de entropia (ROCHA *et al.*, 2002, p. 156).

Como vimos, essas máquinas foram e ainda são cada vez mais aperfeiçoadas ao longo do tempo. Assim, descobre-se o melhor rendimento possível para a produção de energia mecânica a partir de fontes de calor (MENEZES *et al.*, 2013, p. 169–170; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 95).

A Segunda Lei da Termodinâmica trata exatamente desse quesito. Em outras palavras, o enunciado de Kelvin–Planck diz que: “É impossível construir uma máquina que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica recebida de uma fonte quente” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 93; ROCHA *et al.*, 2002, p. 155).

Como também se encontra em Menezes *et al.* (2013, p. 174), a Segunda Lei da Termodinâmica é denominada de “princípio termodinâmico da tendência ao crescimento da entropia”. Isso nos remete a outro conceito, o de Entropia.

O conceito de Entropia, entretanto, será explicado brevemente no próximo tópico deste capítulo.

Em Rocha *et al.* (2002, p. 157), por exemplo, é possível encontrar de forma direta a descrição da Segunda Lei da Termodinâmica, pelo enunciado que diz: “A entropia do universo tende a um máximo”; ou seja, uma tradução do perfil irreversível dos processos naturais. Isso reforça a necessidade de compreender a definição de entropia e, além disso, descrever um pouco mais os debates que levaram à formação desse conceito.

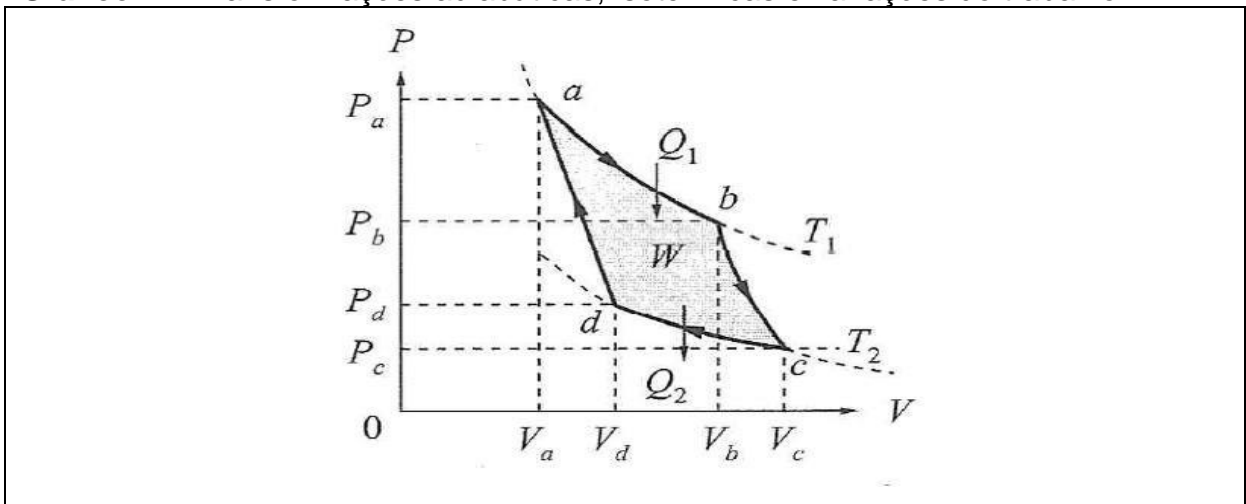
Voltando à questão do funcionamento dos dispositivos térmicos, Villas Bôas, Doca e Biscuola (2016b, p. 96), Rocha *et al.* (2002, p. 153–154), Menezes *et al.* (2013, p. 172) e tantos outros pesquisadores destacam que Carnot, pela proposição de um ciclo teórico idealizado, desmistificou o rendimento de qualquer máquina térmica em

cem por cento de transformação de energia térmica em energia mecânica. Essa constatação faz parte da Segunda Lei da Termodinâmica.

Esse sistema termodinâmico teórico, denominado ciclo de Carnot, pode ser ilustrado graficamente conforme as imagens abaixo (gráfico 1 e figura 4). Ele descreve o melhor rendimento possível para um dispositivo térmico.

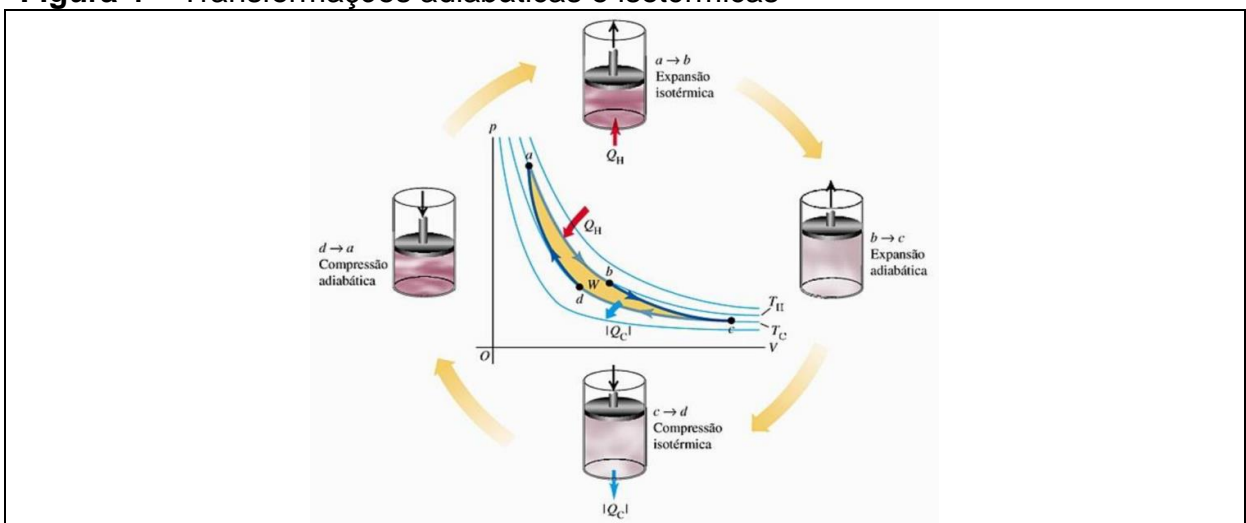
O gráfico e a figura são apenas modos distintos de ilustrar esse ciclo e facilitar a compreensão conceitual acerca da ideia de Sadi Carnot, ao propor o rendimento máximo de um motor.

**Gráfico 1** – Transformações adiabáticas, isotérmicas e variações do trabalho



Fonte: Nascimento (2018).

**Figura 4** – Transformações adiabáticas e isotérmicas



Fonte: FIZIKO ([2021]).

A explicação desse ciclo terá como base o gráfico p–V, representado na figura 4, que se dá pelos seguintes procedimentos: (i) nos pontos ab a fonte de calor  $Q_1$  promove uma expansão isotérmica e o sistema realiza trabalho; (ii) já no ponto bc ocorre uma expansão adiabática, na qual não há troca de calor pelo sistema, e ainda ocorre realização de trabalho pelo gás; a energia interna diminui e, portanto, a temperatura também; (iii) os pontos cd são caminhos inversos percorrido pelo gás; ou seja, ocorre uma compressão isotérmica, o sistema cede calor  $Q_2$  para a fonte fria, e o trabalho agora é sofrido pelo sistema; (iv) por fim, nos pontos da (de d até a) acontece outra compressão, agora adiabática, e o sistema ainda sofre trabalho; ocorre novamente aumento da energia interna e, conseqüentemente, aumento da temperatura, fechando o ciclo que se repete, conforme é fornecido uma fonte de calor  $Q_1$ , reiniciando o funcionamento do sistema (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 96).

Ainda tomando como referência o gráfico representado na figura 4 para o ciclo de Carnot, vale a relação de troca de calor  $Q_1$  e  $Q_2$ , bem como a das temperaturas absolutas  $T_1$  e  $T_2$  das fontes quentes e frias, respectivamente proporcionais, podendo ser expressos matematicamente pela razão a seguir:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

O ciclo de Carnot, como citado, busca explicar como seria o rendimento mais eficiente possível de uma máquina a vapor. Esse rendimento pode ser dado por algumas relações.

Em primeiro lugar, o trabalho realizado pelo gás é expresso como:

$$W = Q_1 - Q_2$$

Essa expressão é decorrente da Primeira Lei da Termodinâmica, que será brevemente estudada no próximo capítulo.

Em segundo lugar, o rendimento pode ser expresso de acordo com algumas relações a partir das duas equações anteriores, a saber:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_1} - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Das equações acima, surge a equação do rendimento da máquina de Carnot, expressa das seguintes maneiras:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Ou:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Para  $\eta = 1$ , o rendimento do dispositivo seria de cem por cento se a quantidade de calor  $Q_2$  ou a temperatura absoluta  $T_2$  fosse nula a 0K. Porém, pela Segunda Lei da Termodinâmica, é impossível isso acontecer na prática, como descrito por Kelvin (ROCHA *et al.*, 2002, p. 155; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 96).

Obviamente, Carnot abordou aspectos teóricos e práticos, tentando verificar qual é a melhor solução para a criação de uma Máquina Térmica de rendimento com um aproveitamento máximo de sua fonte de calor. Ele inclusive criou um trabalho denominado *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, que analisa o dispositivo térmico mais rentável possível, operando entre as fontes quentes e fria de calor, para tentar chegar ao seu ciclo de funcionamento como descrito anteriormente (ROCHA *et al.*, 2002, p. 153).

Em uma explicação mais técnica, é possível concluir que uma transformação reversível jamais será um processo natural, visto que o calor, de forma espontânea, jamais flui de uma fonte fria para uma fonte quente. Isso é apenas possível pelo gasto de energia empregada; ou seja, para que isso ocorra, se faz necessário uma intervenção externa (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 96).

O que Carnot propôs em seu ciclo foi exatamente que, para um melhor rendimento possível, o gás deveria percorrer um caminho inverso, sem nenhuma interferência externa, passando pelos mesmos estados intermediários, sem gasto de energia (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 96).

Por isso, como comentado anteriormente, Thomson (Kelvin) interpretou que uma máquina com um rendimento total seria impossível de construir, uma vez que, para isso acontecer, parte do calor da fonte quente não poderia migrar para a fonte fria; ou seja, deveria ser integralmente convertido em trabalho (ROCHA *et al.*, 2002, p.155).

O fato de mencionarmos o fenômeno da entropia nesse tópico nos induz a fazer uma breve descrição conceitual sobre o assunto no trecho subsequente, como mencionado.

## 1.2 BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTROPIA

Segundo Caetano (2013, p. 13), o conceito de entropia é abrangente e alcança diversas análises e áreas, tais como a da Termodinâmica Clássica, a da Mecânica Estatística e a da Teoria da Informação. Além disso, possui conceituação nos âmbitos social, econômico e ambiental, por exemplo.

Entretanto, nossas descrições sobre esse assunto serão breves e objetivas, restringindo-nos às explicações suficientes para complementar o estudo da Termodinâmica no presente trabalho. Ambas são parte do processo pertinente ao tema abordado com os estudantes do ensino fundamental II sobre o conteúdo em questão.

Para iniciar a compreensão sobre a entropia é necessário enfatizar que Clapeyron, W, Thomson e Rudolf J. Clausius, em meados de 1850, foram influenciados pelas ideias de Carnot, modificando o tratamento desenvolvido por ele e buscando explicar a irreversibilidade dos processos naturais (ROCHA *et al.*, 2002, p. 155).

A tradução de Kelvin para essa irreversibilidade, por exemplo, é a constatação de que não há máquina térmica alguma capaz de realizar integralmente a conversão da energia térmica em trabalho (ROCHA *et al.*, 2002, p. 155).

Outra constatação, agora feita por Clausius é a seguinte:

[...] não é possível, num processo cíclico, transferir totalmente uma certa quantidade de calor do corpo mais frio para o mais quente. Isso significa que não existe refrigerador ideal, já que haveria um resfriamento contínuo, sem que fosse necessário fornecer trabalho para este fim; seria imaginar, por exemplo, uma geladeira sem compressor (ROCHA *et al.*, 2002, p. 155).

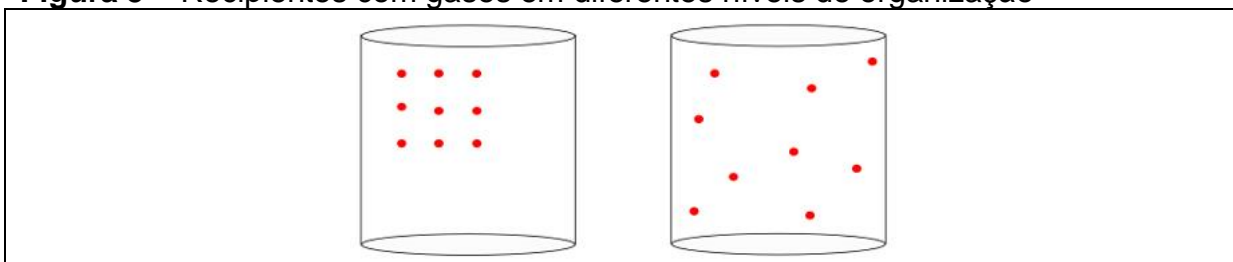
Conclui-se que a energia não utilizada para gerar trabalho se dissipa em virtude dessa tal irreversibilidade. Essa descrição remete aos enunciados de Kelvin e Clausius para a Segunda Lei da Termodinâmica (ROCHA *et al.*, 2002, p. 155).

A entropia, portanto, seria a multiplicidade de um sistema, medição do grau de desordem que tende sempre a aumentar em um processo cíclico irreversível. Por outro lado, em um processo cíclico reversível, a entropia não varia, ou seja, ela não acontece (MENEZES *et al.*, 2013, p. 174; ROCHA *et al.*, 2002, p. 156).

Dessa forma, o estado de equilíbrio termodinâmico do sistema é o mais desordenado e o mais provável (ROCHA *et al.*, 2002, p. 156).

De forma ilustrativa, a entropia de um sistema fechado pode ser exemplificada pelas imagens a seguir:

**Figura 5 –** Recipientes com gases em diferentes níveis de organização



**Fonte:** Helerbrock ([2021]).

A imagem da esquerda demonstra que, nesses processos termodinâmicos cíclicos irreversíveis, é impossível obter tamanha organização das partículas de um gás, por exemplo. Mas, analisando a alteração da entropia em processo cíclico reversível, chega-se à conclusão de que esse fenômeno e a energia interna para um sistema dessa natureza são funções de estado (ROCHA *et al.*, 2002, p. 156).

No século XVIII, então, Clausius propôs uma teoria formalizada sobre um ciclo reversível qualquer, com base em sucessivos ciclos de Carnot, que foi por ele introduzido como o conceito de entropia (ROCHA *et al.*, 2002, p. 156).

Segundo explicações em Menezes *et al.* (2013, p. 173), Clausius (1822–1888) provou que a dependência da eficiência dos motores reais e ideais são em função da temperatura; ou seja, quanto mais alta a temperatura da fonte quente e mais baixa a temperatura da fonte fria, melhor será o desempenho do motor.

Com isso, ao tratar do motor de Carnot, ficou claro matematicamente que:

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Além disso, é dessa forma que se constata que só existiria um rendimento de cem por cento se a fonte fria estivesse no zero Kelvin, como mencionado.

De acordo com descrições na obra de Rocha *et al.* (2002, p. 156) e Menezes *et al.* (2013, p. 174), a variação da entropia para uma transformação do tipo isotérmica se dá pela razão do calor trocado e uma dada temperatura.

Essa relação pode ser expressa de uma maneira simplificada por meio das seguintes formas, caso se considere um motor ideal:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ logo } \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$$

Desse modo:

$$\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

Assim temos que:

$$\Delta \left( \frac{Q}{T} \right) = 0$$

No entanto, como explicam Menezes *et al.* (2013, p. 174) em seu livro, “A conservação da entropia só acontece em processos ideais e controlados, nos demais processos, espontâneos, a entropia cresce. Essa afirmação é outra maneira de enunciar a segunda lei da termodinâmica”.

Por isso, a entropia, naturalmente, pode ser representada pela seguinte equação:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

A partir de então, a entropia demonstrou ter enorme utilidade, visto que ela representa esse tal grau de desordem de um sistema termodinâmico. Desse modo, quanto mais elevada a desordem, maior será a entropia; da mesma forma, pode-se

dizer que, aumentando a temperatura, aumentará também a desordem e, conseqüentemente, a sua entropia (MENEZES *et al.*, 2013, p. 174).

De forma análoga, pode-se dizer que, entre um cubo de gelo e um líquido, o grau de ordem das partículas que compõem o cubo de gelo é maior; portanto, de menor entropia.

Por outro lado, o grau de desordem das moléculas do líquido é maior. Ao comparar ambos, fica mais claro que a entropia na água, por exemplo, é mais elevada que a entropia do gelo; ou seja, estruturalmente mais organizado.

Voltando a considerar a questão do zero absoluto, ou zero Kelvin, caso isso acontecesse, o que se teria, de fato, seria um grau de ordem total desse sistema, resultando na entropia nula. Isso também é uma maneira de enunciar a Terceira Lei da Termodinâmica (MENEZES *et al.*, 2013, p. 174).

De fato, ao tratar do conceito de entropia de maneira mais adequada, seria necessário entrar no campo da mecânica estatística (ROCHA *et al.*, 2002, p. 156). Entretanto, o presente trabalho não busca esse aprofundamento, mas descrições suficientes para embasá-lo.

### 1.3 A TERMODINÂMICA NO DIA A DIA: DISPOSITIVOS TÉRMICOS DOMÉSTICOS, MOTORES DE COMBUSTÃO EXTERNA E INTERNA, CICLO OTTO E DIESEL

Segundo Varella (2015, p. 1), os motores podem ser descritos como um sistema mecânico capaz de converter algum tipo específico de energia em energia de movimento. Eles são caracterizados conforme o modo de conversão.

Com base nas descrições de seus estudos (VARELLA, 2015, p.1), logo abaixo pontuaremos alguns tipos de motores e suas características, antes de especificarmos sobre o assunto que interessa para as demonstrações desse trabalho.

Eólicos: funcionam por meio das correntes de ar, que impulsionam suas hélices. Tem como finalidade o bombeamento de água, moinhos e produção de eletricidade.

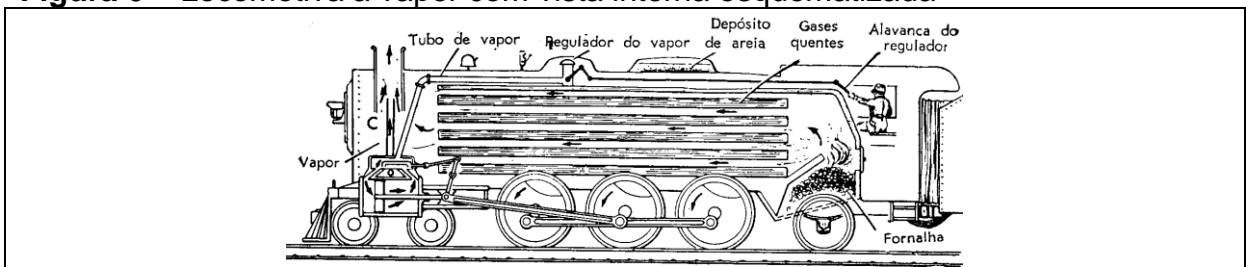
Hidráulico: por fluxo hidráulico de turbina, que promove o impulsionamento de um eixo de rotação. É utilizado comumente para acionar máquinas estacionárias.

Elétricos: acionam eixos por propriedades eletromagnéticas, apresentando inúmeras aplicações de movimento em diversos tipos de motores, desde aqueles muito pequenos até os de grande porte.

Térmicos: usando propriedades físicas como calor, temperatura, volume e pressão, transformam energia térmica em mecânica.

Térmicos de combustão externa: como o próprio nome sugere, a combustão ocorre externamente ao motor; ou seja, o calor é produzido em uma caldeira, por exemplo. Uma ilustração prática para melhor descrevê-lo seria uma locomotiva a vapor, como mostra a figura a seguir:

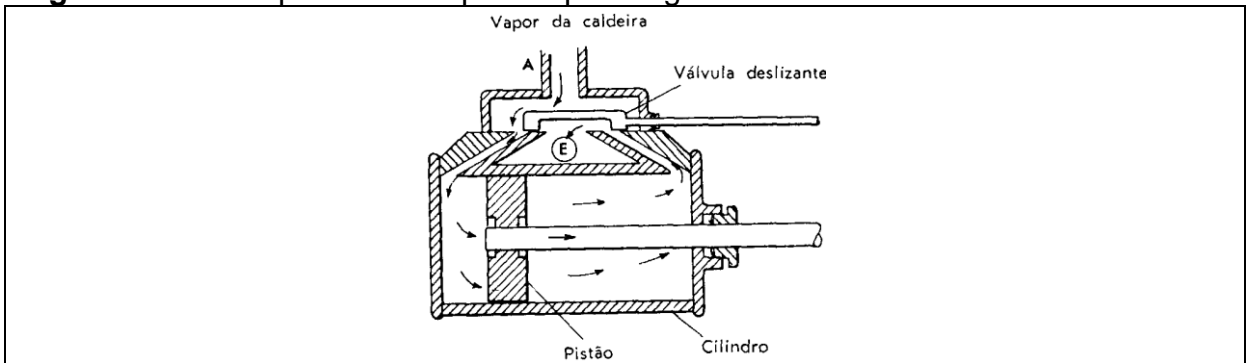
**Figura 6 – Locomotiva a vapor com vista interna esquematizada**



Fonte: (ALGUNS..., [2021]).

Essa caldeira, por exemplo, funciona à base de uma fonte de calor, que aquece um volume suficiente de água. Esta produz vapor e empurra o pistão na parte frontal da máquina, promovendo o giro e o movimento do dispositivo (figura 7):

**Figura 7 – Pistão pressionado pelo vapor de gás**



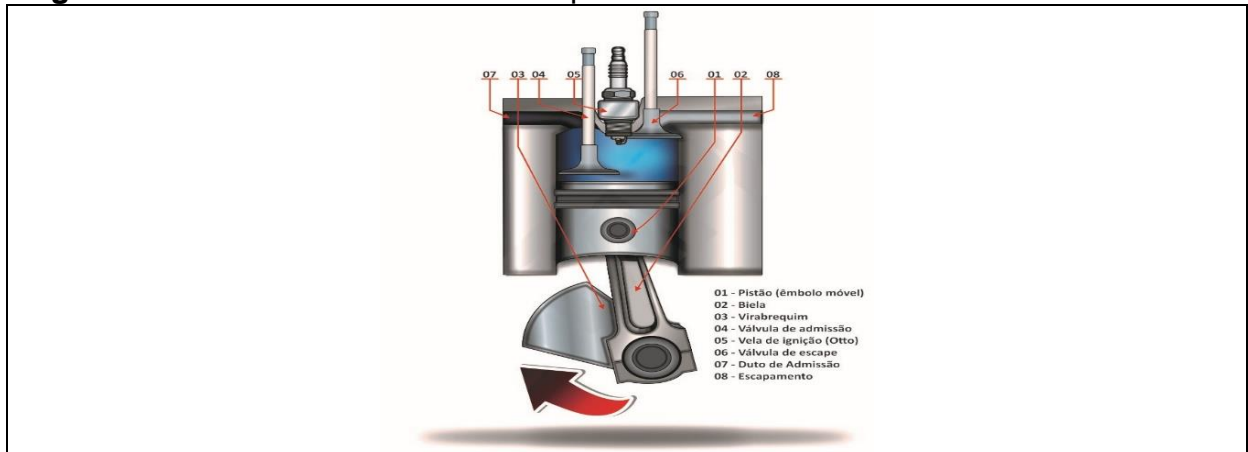
Fonte: (ALGUNS..., [2021]).

As usinas termoeletricas também fazem parte dessa categoria de motor, que, inclusive, usufruem das propriedades de outros tipos de combustíveis, tais como o fóssil e o nuclear (VARELLA, 2015, p. 1).

Térmicos de combustão interna: aqui o nome também é sugestivo, pois a combustão ocorre dentro do motor. São exemplos deste tipo os tratores e máquinas agrícolas. Possuem considerável vantagem, visto que são rentáveis, flexíveis e de abundante produção energética (VARELLA, 2015, p. 1-2).

Os motores de ciclo Otto e Diesel, criados no século XIX, são exemplos de dispositivos térmicos de combustão interna. Esses motores são formados por um pistão, que é o êmbolo móvel, e várias peças móveis, como ilustrado na figura a seguir (figura 8) (SILVEIRA, 2001, p. 1):

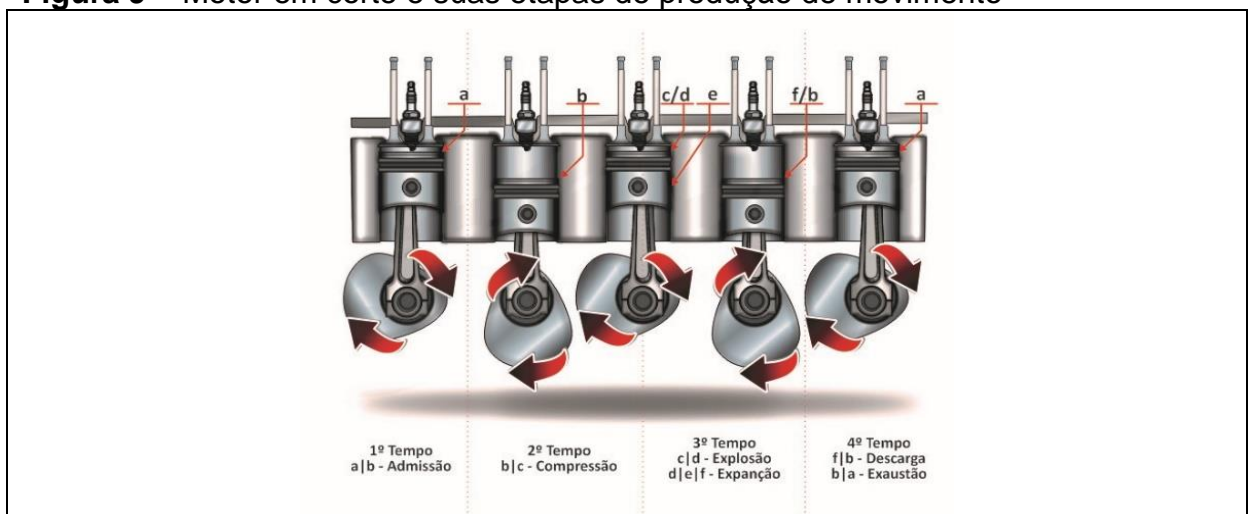
**Figura 8 – Motor em corte e seus componentes**



Fonte: (MOTOR..., 2020).

A próxima figura (figura 9) ilustra os quatro tempos de funcionamento da máquina térmica de modelo Otto, que tem como princípio a admissão de uma mistura gasosa de ar e combustível (gasolina, álcool e outros combustíveis), que ocorre nesse processo (SILVEIRA, 2001, p. 1).

**Figura 9 – Motor em corte e suas etapas de produção de movimento**



Fonte: (MOTOR..., 2020).

Nessas quatro etapas do ciclo Otto, o primeiro tempo ab é o de admissão da mistura ar e combustível pela abertura da válvula, que se fecha após o seu preenchimento (SILVEIRA, 2001, p. 2).

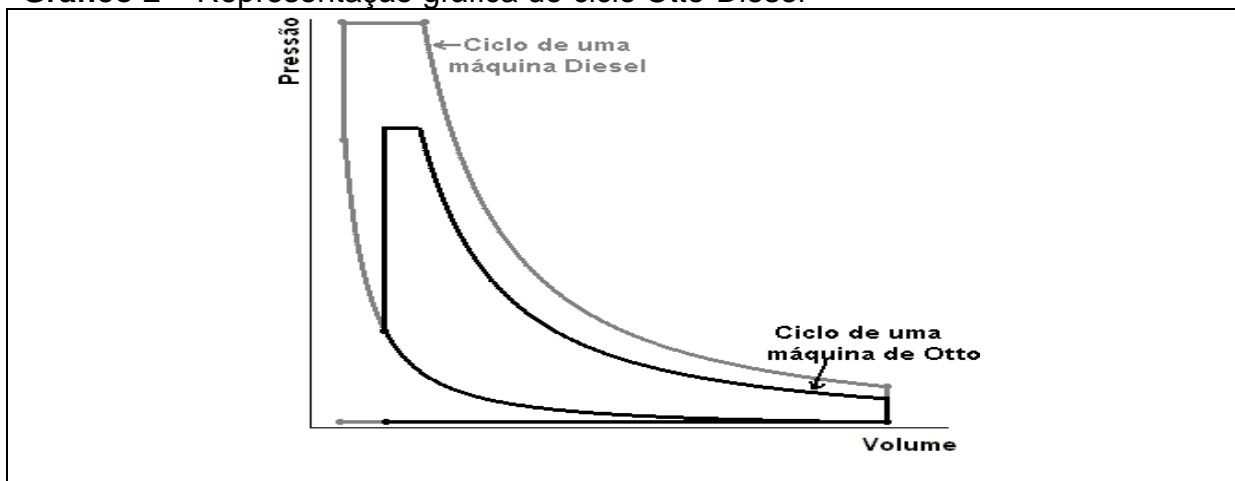
Posteriormente, em bc, essa mistura é comprimida, configurando o segundo tempo do motor. Com a compressão, a vela acoplada ao dispositivo libera uma centelha, promovendo a explosão da engrenagem do pistão em cd, seguida de uma expansão em def (SILVEIRA, 2001, p. 2).

Por fim, no quarto tempo do motor, ocorre a liberação residual dessa mistura gasosa para a atmosfera por meio da abertura da válvula de escape (SILVEIRA, 2001, p. 2).

O mesmo autor, com base em suas referências de estudo e pesquisa, explica que a diferença entre o ciclo Otto e o ciclo Diesel é a seguinte: durante o primeiro tempo de funcionamento do motor, acontece a admissão apenas de ar. Este é comprimido no segundo tempo de funcionamento e, por ainda não haver combustível, pode atingir uma taxa de volume mais elevada quando comparada às de ciclo Otto. Na terceira etapa, quando o ar está comprimido ao máximo, a bomba injetora vaporiza o combustível em questão para o interior do cilindro, realizando a combustão espontânea e a consequente explosão e expansão do gás a alta temperatura (cerca de 600 a 750 K). Da mesma maneira que no ciclo Otto, a etapa final é aquela que realiza a liberação residual para a atmosfera.

Na sequência didática em que as aulas foram trabalhadas durante a aplicação do produto educacional, todos esses processos termodinâmicos foram abordados ao máximo. As relações entre as principais grandezas físicas envolvidas também foram ensinadas.

O gráfico a seguir exemplifica a comparação entre esses dois ciclos, ou seja, o ciclo Otto-Diesel (SILVEIRA, 2001, p. 4):

**Gráfico 2** – Representação gráfica do ciclo Otto-Diesel

Fonte: Silveira ([2021]).

Atualmente, a indústria automobilística busca não só motores cada vez mais potentes como também menos poluentes ao meio ambiente (GALVÃO FILHO, 1989).

São de suma importância esses cuidados, porque, como se sabe, a maioria dos combustíveis usados pelo ser humano ao longo da história para realizar trabalhos mecânicos não é renovável. Além disso, é causadora de grandes impactos na atmosfera terrestre, principalmente nas grandes cidades, devido a alguns fatores, como meios de transporte excessivos e constantes, processos industriais e resíduos sólidos (GALVÃO FILHO, 1989, p. 8).

Essa questão da conscientização também foi programada e pontuada com os estudantes na sequência didática das aulas, porque essa nota consta no documento referente ao Currículo da Rede Estadual Paranaense (PARANÁ, 2020a, p. 24).

Embora a ênfase nesse estudo seja demonstrar o funcionamento de máquinas térmicas a vapor para abordar as Leis da Termodinâmica, esses instrumentos de trabalho não se limitam apenas às últimas descrições feitas neste tópico. Eles tratam, também, de dispositivos simples, que inclusive podem ser encontrados dentro dos lares, tais como panela de pressão, geladeiras e outros.

Demonstrar as variedades de dispositivos térmicos, grandezas físicas e leis envolvidos em seu funcionamento é permitir ao estudante enxergar o mundo de uma maneira mais crítica.

Isso foi promovido também durante as aulas, usando como estratégia de ensino a Teoria de Ensino Prescritiva de Jerome S. Bruner; ou seja, seu principal argumento (simplificação do conteúdo), aprofundamento quando possível (currículo em espiral), exploração das três fases de representação do desenvolvimento cognitivo

(ativa, icônica e simbólica) nas demonstrações de imagens, simulações, experimentos e questionários avaliativos para medição do aprendizado.

## CAPÍTULO 2

### CONCEITUANDO AS GRANDEZAS E OS FENÔMENOS FÍSICOS ENVOLVIDOS NO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

#### 2.1 TEMPERATURA

A temperatura é um dos pontos de partida para o estudo do funcionamento das máquinas térmicas. Como o próprio nome sugere, esses são dispositivos que funcionam sobre influência dessa grandeza física.

Uma das áreas fundamentais de estudo da Física e da Engenharia, por exemplo, é a termodinâmica, cuja principal atenção está voltada para as relações entre a energia térmica, a temperatura e a variação da energia interna dos sistemas termodinâmicos.

Desde os nossos anos iniciais de vida, já temos uma noção da definição prática de temperatura em situações cotidianas, tais como as seguintes: processamento e manutenção dos alimentos; manutenção da temperatura corpórea; manutenção do aquecimento de motores automotivos, evitando superaquecimentos; influências da temperatura sobre o clima e cultivos na agricultura; entre outras inúmeras situações do dia a dia (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p.184).

Por se tratar de uma grandeza física escalar, a temperatura pode ser medida. No Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI), ela é padronizada em kelvin (K), mas pode também ser determinada cotidianamente em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), existindo ainda o Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) e outras formas de medição.

Essa escala kelvin, que é usada pelos físicos no SI, apresenta um valor inferior limite denominado de zero da escala kelvin. Para se ter uma melhor ideia de sua unidade, podemos exemplificar comparando-a com a temperatura ambiente, que é de aproximadamente 290 kelvins (290 K), o que equivale à popularmente conhecida no Brasil como 17 graus Celsius (17  $^{\circ}\text{C}$ ) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p.184).

Ao estender o assunto, pode-se dizer que o nosso próprio planeta, com o decorrer do tempo, passou por inúmeras transformações de temperatura. A cerca de 13,7 bilhões de anos, o universo apresentava uma escala de  $10^{39}$  K, ou seja, extremamente alta. Posteriormente, chegou a 3 K por meio de um resfriamento devido a uma expansão. Mas, graças ao Sol, nosso planeta possui uma temperatura um

pouco mais elevada, suficiente para a manutenção da vida (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 184).

Considera-se, ainda, as intempéries do meio trazidas pela indústria e veículos automotores, que poluem diariamente a nossa atmosfera e interferem constantemente nela, aumentando o fenômeno do efeito estufa.

O conceito de temperatura, todavia, é bastante difundido em livros didáticos do ponto de vista microscópico, que é o grau de agitação das partículas de um corpo (CARNEVALLE, 2018a, p. 207; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016a, p. 11).

Dessa forma, foi aproveitada essa definição para explicá-la para os estudantes durante a aplicação do produto educacional dessa pesquisa. As simulações do Phet Simulations e do Vascak.cz, por exemplo, são excelentes para ilustrar essa grandeza.

Entretanto, o fenômeno da temperatura nos tempos remotos não foi definido por esse entendimento, porque não existiam meios para saber que um gás, por exemplo, agitava suas partículas ao ser aquecido. Além disso, as Teorias Atômicas não eram compreendidas a tal ponto de interpretar esse fenômeno como o conhecemos atualmente.

A temperatura foi a princípio definida por experimentações (macroscópicas), usando, por exemplo, métodos empíricos com algumas substâncias e aparatos distintos, tais como termômetros de mercúrio, álcool, gases e outras técnicas que foram submetidas a variações de pressão e volume (NUSSENZVEIG, 2002, p. 159 e seg.).

Para isso, era necessário estabelecer uma relação matemática escalar como parâmetro de medição dessa alteração da temperatura em questão. Dois exemplos que podem ser mencionados aqui é a escala Celsius e a escala Kelvin (NUSSENZVEIG, 2002).

Essas ideias, portanto, eram superficiais a respeito da real definição de temperatura que atualmente se conhece. Inclusive, é por se saber o comportamento de uma substância ao receber ou ceder energia na forma de calor, por exemplo, que de maneira direta ou indireta, os materiais didáticos em geral procuram definir a temperatura como sendo a medição do grau de agitação das partículas que constituem tal substância (CARNEVALLE, 2018a, p. 207 e seg.; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016a, p. 11).

O intuito no presente estudo não é aplicar com maior profundidade essas leis termodinâmicas e as relações entre as suas grandezas envolvidas no ensino fundamental II, podendo ser mais bem aprofundada no ensino médio. Antes, o objetivo dessa obra é tratar o assunto em questão de uma forma mais simplificada (BRUNER, 1973c, p. 51), já que o público-alvo nesse trabalho foram estudantes dos anos iniciais (sexta e sétima séries) do ensino fundamental II, na disciplina de Ciências.

Todavia, ao seguir as orientações no produto educacional, montado com base nessa dissertação e respeitando os aspectos principais da Teoria de Ensino de Bruner, o professor poderá usá-lo também com educandos do segundo ano do ensino médio na disciplina de Física, caso assim optar, porque ele foi intitulado de bifuncional (ler o produto educacional para melhor compreensão).

Após essa rápida descrição da temperatura e algumas pequenas considerações sobre ela, definiremos também, brevemente, as grandezas calor e trabalho no tópico subsequente.

O calor e o trabalho, assim como outras grandezas relacionadas, são fundamentais para a compreensão da Termodinâmica e suas leis.

## 2.2 CALOR E TRABALHO

O tópico é iniciado por uma abordagem acerca do conceito de calor e, logo em seguida, pelo conceito de trabalho mecânico associado ao trabalho inserido em processos termodinâmicos.

Amaral e Mortimer (2011, p. 1 e seg.), por exemplo, descrevem inúmeras formas de interpretação sobre o conceito de calor, destacados por diversos autores (literaturas) e voltados para o ensino de ciências. O que se percebe em sua obra é que ela se trata de uma grandeza de amplo aspecto.

Os autores também pontuam que as ideias originais a respeito do calor são primitivas e oriundas de sensações térmicas, tais como quente e frio.

Para comprovar tamanha complexidade sobre o assunto, Axt e Brückmann (1989), no período de sua pesquisa, levantaram dados sobre o conceito de calor, analisando livros de Ciências nas áreas da Física e da Química de oitavas séries, e descreveram que há incoerência entre a conceituação dos materiais escolares e o formalismo científico.

Os autores faziam uma crítica quanto à ausência de exemplos suficientes para uma melhor compreensão do assunto, o que causa confusões com os conceitos de temperatura e energia interna do cotidiano do estudante e mesmo da literatura em questão.

É certo que, atualmente, os livros didáticos escolares e principalmente os de ensino superior têm se preocupado com isso. Eles procuram descrever inúmeros exemplos, esquemas, quadros comparativos e diversos exercícios e problemas de forma a conceituar da melhor forma possível os fenômenos físicos em geral e suas propriedades (CARNEVALLE, 2018a; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA 2016a; MENEZES *et al.*, 2013).

Mesmo assim, os estudantes encontram bastante dificuldade na compreensão do conceito de calor e da Termodinâmica, visto que se deparam com barreiras para transferir os conhecimentos do dia a dia para o que aprendem no ambiente escolar. Isso foi observado pelo professor Djalma Nunes da Silva, por meio do contato com o corpo discente do ensino médio e universitário, em ministrações às suas turmas sobre o assunto. Na ocasião, o professor notou que, mesmo já tendo contato com o conteúdo, os aprendizes conservavam em seu cognitivo o senso comum (CAMARGO, 2009).

Isso se dá, entre tantos fatores, pela explicação de que desde a antiguidade o ser humano, por fruto de suas experiências, tem consciência da existência do calor por suas próprias observações naturais (ROCHA *et al.*, 2002, p. 144-145). Isso muitas vezes propicia conceitos próprios sobre esses fenômenos físicos, assim como sobre tantos outros.

Mesmo diante de tamanha complexidade, o calor, de uma maneira simples de se explicar, pode ser definido como “a energia térmica em trânsito de um corpo para outro, ou de uma parte para outra de um mesmo corpo, trânsito este provocado por uma diferença de temperatura” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016a, p. 20).

Entretanto, uma maneira mais completa de definir essa grandeza seria o fluxo de energia térmica de forma espontânea de um corpo ou ponto de maior temperatura para outro ponto ou corpo de menor temperatura.

Ainda se ressalta que este assunto não será encerrado nesse tópico, bem como os demais fenômenos físicos relacionados à Termodinâmica, mas serão retomados durante o aprofundamento de suas leis envolvidas.

Isso será feito, por exemplo, no tópico seguinte, quando for descrita formalmente a quantidade de calor que um corpo pode receber ou ceder.

A partir de um breve destaque sobre o processo físico calor, serão descritas algumas considerações sobre o trabalho de um gás. É preciso conceituá-lo inicialmente do ponto de vista da mecânica, para posteriormente compreender alguns dos principais conceitos da capacidade que um fluido dessa natureza possui de realizar ou receber trabalho.

Dessa maneira, pode-se descrever o trabalho como “a energia transferida para um objeto, ou de um objeto, por meio de uma força aplicada ao objeto. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo; quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012a, p. 147).

Com isso, matematicamente o trabalho exercido sobre um corpo por uma força constante  $\vec{F}$  e o seu respectivo deslocamento  $\vec{d}$  é descrito da seguinte maneira:

$$W = Fd \cos \phi \text{ (trabalho mecânico realizado por uma força constante),}$$

No qual  $\phi$  representa o ângulo entre as direções da força  $\vec{F}$  e do deslocamento  $\vec{d}$ . Para que aconteça trabalho realizado sobre o objeto em questão, a força e o deslocamento devem obrigatoriamente estar na mesma direção. Além disso, existindo mais de uma força atuante sobre um corpo, o trabalho total é representado pela soma isolada dos trabalhos, ou o trabalho realizado de acordo com a resultante das forças (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012a, p. 148).

Analogamente, o trabalho realizado por um gás pode ser representado da seguinte maneira (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 198):

$$W = p \Delta V \text{ (trabalho realizado pelo gás)}$$

Sendo que  $p$  é a pressão constante, e  $\Delta V$  é a variação do volume do fluido em questão (líquido ou gás).

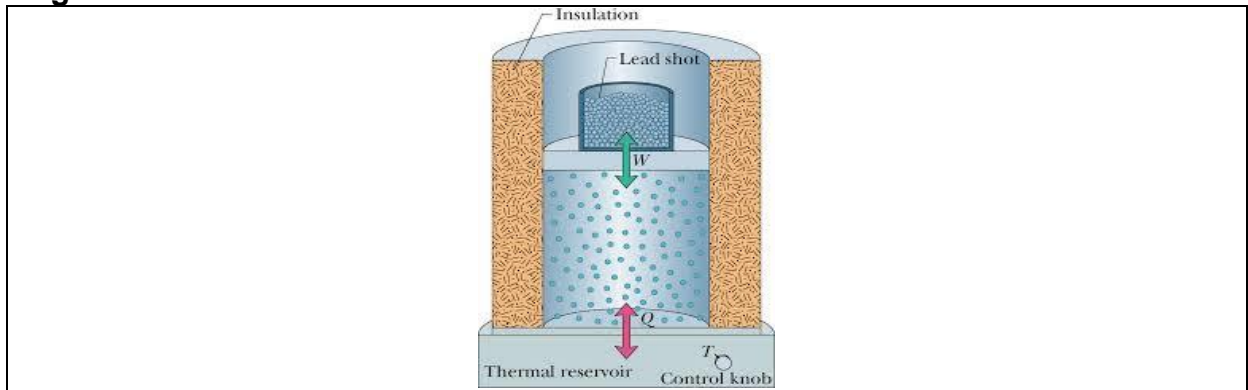
A relação entre calor e trabalho pode ser compreendida em inúmeras obras literárias. Como já está sendo tomado como referência Halliday, Resnick e Walker (2012b, p. 198), será por meio dessa literatura que continuaremos conceituando essas duas grandezas fundamentais da termodinâmica, bem como do funcionamento das

máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica, que estão sendo abordadas como base para a aprendizagem dos estudantes.

A partir de então, tomar-se-á para análise um sistema cilíndrico com êmbolo móvel e paredes isolantes, imersos em um reservatório térmico controlável que comporta um determinado volume de gás. Nele, estão envolvidas as grandezas físicas de calor, temperatura, energia interna, pressão, massa/peso dos objetos (esferas de chumbo) sobre o êmbolo e o trabalho que este sistema realizará ou sofrerá devido ao fornecimento da fonte de calor, ou da perda de calor, respectivamente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 197).

A figura 10 a seguir ilustra essa relação:

**Figura 10 – Reservatório térmico**



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2012b, p. 197).

Para descrever a transformação sofrida pela equação do trabalho mecânico em trabalho de um gás, pode-se supor a seguinte situação (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 197): retira-se algumas esferas do suporte, promovendo a subida do êmbolo por uma força  $\vec{F}$ , que executa um deslocamento infinitesimal  $ds$ , no qual temos que:

$$dW = F \cdot ds = (pA) (ds) = p (A ds) = p dV$$

Onde a relação  $dV = A \cdot h$  do cilindro, e com isso representa a mudança de volume sofrida pelo gás ao se expandir ou comprimir.

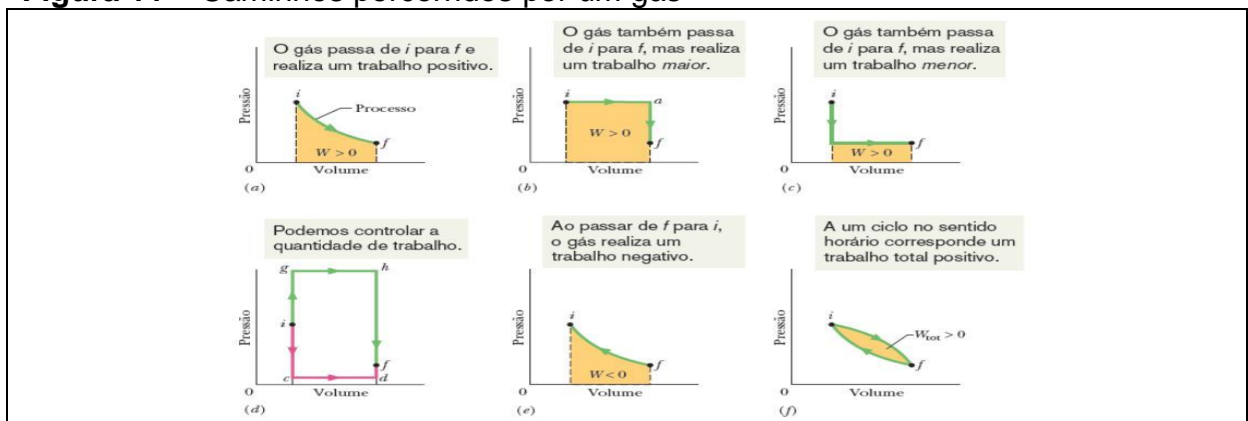
Agora, para uma variação do trabalho do ponto  $V_i$  para  $V_f$  com a retirada total das esferas, obtém-se matematicamente a fórmula:

$$dW = \int_{V_i}^{V_f} p \, dV$$

De fato, para calcular essa integral do trabalho realizado pelo gás, há mais de um caminho. Deve ser considerado que, além da variação do volume, da mesma maneira a temperatura e a pressão desse fluido também podem variar. Será visto, por esses meios, que a pressão se altera com a mudança de volume do estado inicial para o estado final (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 197).

Nesses caminhos, podem acontecer algumas variações do volume e da pressão desse gás, que ora pode aumentar, ora pode diminuir, de acordo com algumas situações descritas nos gráficos da figura sobre pressão x volume (p-V), a seguir, no qual a área manchada descreve o trabalho desse gás (figura 11):

**Figura 11 – Caminhos percorridos por um gás**



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2012b, p. 197).

Em a, por exemplo, ocorre aumento de volume e diminuição da pressão. O trabalho é realizado pelo gás, ou seja, é positivo, e o êmbolo do cilindro é empurrado para cima (figura 11).

No gráfico b, o volume do gás aumenta do ponto  $i$  até o ponto  $a$ . Porém, a pressão é constante nesse trajeto e, além disso, do ponto  $a$  até  $f$ , o volume se torna constante. O êmbolo do cilindro da figura 10 não se move nesse instante, e a pressão começa a diminuir, cedendo calor ao reservatório térmico. Mesmo assim, se pode observar pela mancha do gráfico que é um trabalho  $W$  maior pelo distanciamento dos eixos.

Dando continuidade nas descrições da figura em questão, o gráfico c, descreve um caminho contrário. Nele, o gás realiza um trabalho menor quando

comparado com os gráficos a e b. A pressão diminui e o volume aumenta, o que indica, no recipiente cilíndrico da nossa figura de referência, que o êmbolo sobe novamente.

Curiosamente, no gráfico d, pode-se notar que o trabalho realizado é capaz de ser ainda menor. Em outras palavras, consideravelmente menor pelo caminho icdf ou consideravelmente maior pelo outro trajeto, ighf.

A conclusão desses processos é que o calor e o trabalho sofrem influência de acordo com cada trajetória, e que o sistema pode se comportar de inúmeras formas, considerando o referencial de pontos iniciais e finais. Isso também possibilita resultar em diferentes valores para o trabalho  $W$  e para o calor  $Q$  (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 199).

Em contrapartida, o gráfico da letra e na figura mostra que o gás pode percorrer um caminho do ponto f para o ponto i, do qual o sistema sofre um trabalho  $W$ ; portanto, é negativo. Isso implica que no cilindro o sistema está sofrendo trabalho, e o volume do gás está sendo comprimido. O êmbolo, juntamente a essa diminuição de volume, será pressionado, mas a área do gráfico demonstra que o trabalho absoluto  $W$  permanece representado.

Por fim, o gráfico f da figura, descreve um ciclo termodinâmico no qual o caminho percorrido pelo gás passa do trajeto de i para f e vice-versa, sendo que o trabalho total é obtido pela soma dos trabalhos durante a expansão (de i para f) e com o trabalho durante a compressão (de f para i). No entanto, como a área do gráfico é maior durante a expansão e no sentido horário da trajetória, o trabalho total  $W$  é positivo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012b, p. 199).

Segundo Bonjorno, Bonjorno e Bonj (1993, p. 262), uma transformação cíclica é aquela em que as transformações sofridas apresentam seus estados iniciais e finais iguais. Pode-se dizer que, em processos termodinâmicos cíclicos, a variação da energia interna é nula, pois o gás parte de um estado inicial e retorna ao mesmo no fim de sua trajetória.

Diante do exposto, no decorrer de algumas aulas ministradas, seguindo a sequência didática do produto educacional dessa pesquisa, essas variações de volume, pressão, temperatura, calor e trabalho puderam ser explicadas com auxílio de simulações, animações e experiências práticas em momentos oportunos.

Com tudo isso até aqui demonstrado, é perceptível que existe uma íntima relação entre o calor e o trabalho, que pode ser explicada também pela relação entre a energia mecânica (cinética) e a energia térmica trocada.

Todavia, a energia mecânica não se restringe apenas à cinética, mas também à potencial gravitacional ou à elástica. Elas, por inúmeras vezes, são convertidas em energia térmica, que aquece o sistema em questão (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 89).

Os autores descrevem uma situação simples para exemplificar essa conversão por meio da queda de um corpo que, ao descer, se transforma de energia potencial gravitacional em cinética. Por fim, ao colidir com o solo, parte dessa energia (cinética) se converte em térmica, elevando-se a temperatura do objeto.

De modo geral, a energia cinética é indispensável nesses processos e pode ser expressa matematicamente como:

$$E_c = \frac{1}{2}mV^2$$

A velocidade na equação indica o movimento do corpo durante a queda, e a colisão do objeto com o solo promove uma parcela de aquecimento devido a essa interação durante a queda.

Quando o objeto considerado for um gás, analogamente, a situação pode ser explicada pelo movimento de suas partículas e suas colisões entre os átomos que o compõe, gerando aquecimento.

O fato de comumente a energia mecânica ser medida em joules (J) e a energia térmica em calorias (cal) traz uma relação de conversão entre ambas, que é a seguinte (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 89):

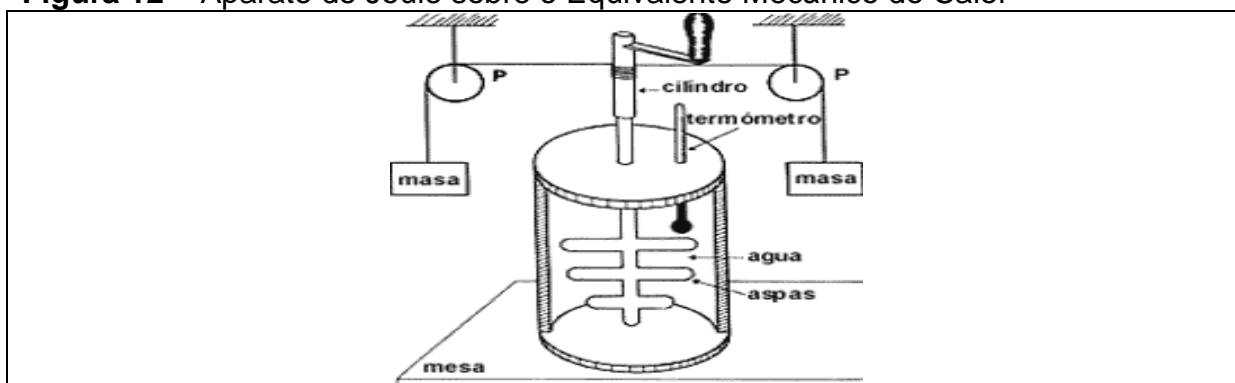
$$1 \text{ caloria} = 4,186 \text{ joules}$$

Essa associação descreve o conceito de equivalente mecânico de calor, que, como descrevem Rocha *et al.* (2002, p. 150) e Villas Bôas, Doca e Biscuola (2016b, p. 89), é uma indagação da quantidade de calor correspondente a um certo valor de energia mecânica e pode ser dado pela seguinte expressão:

$$J = 4,186 \frac{\text{joules}}{\text{caloria}}$$

Segundo Rocha *et al.* (2002, p. 150), em 1842 o cientista Mayer concluiu um valor para o equivalente mecânico do calor com base na diferença entre os calores específicos de um determinado gás com pressão e volume não variáveis. Isso pode ser ilustrado por um experimento montado pelo físico inglês Joule, como mostra a figura a seguir (figura 12):

**Figura 12 – Aparato de Joule sobre o Equivalente Mecânico do Calor**



Fonte: (EL PRINCIPIO..., [2021]).

O aparato consiste em um sistema de paletas giratório acoplado a um eixo de um calorímetro, com massa  $M$  de líquido. O giro é promovido pela queda dos corpos de massa  $m$  a uma certa altura  $h$ . Após sucessivas quedas desses corpos, é medida a temperatura do fluido no calorímetro por meio de um termômetro.

O resultado desse sistema experimental é o seguinte: a energia potencial gravitacional é convertida em cinética pelo movimento sucessivo de queda do objeto, que progressivamente se transforma em calor graças ao atrito. Isso conseqüentemente eleva gradativamente a temperatura (ROCHA *et al.*, 2002, p. 150).

Obtendo os parâmetros de medição de massa ( $m$ ) dos corpos, massa ( $M$ ) do líquido, a altura ( $h$ ) obtida pelos objetos e a variação da temperatura ( $\Delta T$ ), o cientista alcança experimentalmente o equivalente mecânico do calor. Foi do aprimoramento de seu trabalho ao longo do tempo que ele concluiu a relação descrita anteriormente de que 1 caloria equivale a 4,186 joules (ROCHA *et al.*, 2002, p. 151).

Segundo descrições do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), os países, em geral, comumente e legalmente seguem as regras do Sistema Internacional de Medidas (SI). Nesse sistema, a unidade de energia, por exemplo, é o joule, evitando conflitos entre as diversas medidas adotadas pelas diferentes nações, já que cada um utiliza unidade padrão distinta (SANTOS, 2012, p. 20-30).

Ainda sobre o método experimental de Joule, o físico propôs tentativas variáveis sobre o aparato em questão, mudando o fluido, o material das paletas e a forma de energia em conversão, permitindo o aquecimento e promovendo o fluxo de corrente elétrica em um fio condutor em substituição aos objetos que caíam. Todos esses testes resultaram no mesmo equivalente mecânico do calor, o que foi crucial para determinar a grandeza física do calor como uma fonte de energia (ROCHA *et al.*, 2002, p. 151).

De acordo com os autores supracitados, alguns anos mais tarde, mais precisamente em 1847, o cientista alemão, físico e fisiologista Helmholtz padronizou permanentemente esse resultado à sombra do Princípio da Conservação da Energia, conhecida na atualidade como a Primeira Lei da Termodinâmica. Esta será objeto de breve discussão no tópico subsequente.

### 2.3 SÍNTESE SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Segundo Hewitt (2015, p. 337), em sua obra *Física Conceitual*, o termo Termodinâmica foi descrito por Kelvin, por derivação de palavras gregas sinônimas de “movimento do calor”.

O autor ainda ressalta que o desenvolvimento da Termodinâmica antecede a compreensão acerca das teorias atômicas e moleculares e teve sua ocorrência no início do século XIX.

Os exemplos para justificar esse argumento são de que os pioneiros no estudo sobre esse assunto não conheciam de fato as propriedades atômicas, mas tinham apenas uma noção delas. Além disso, desconheciam os elétrons e outras partículas microscópicas e se valiam de modelos macroscópicos sobre o trabalho mecânico, a pressão e a temperatura em suas relações com as transformações de energia (HEWITT, 2015, p. 337).

Em uma definição geral, a Termodinâmica é a área da Física que descreve as relações e as transformações entre duas espécies de energia: a mecânica e a térmica (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 80).

É interessante levantar aqui que esse mesmo autor, Hewitt, apresenta em seu capítulo sobre a Termodinâmica o seguinte trecho:

As duas pedras fundamentais da termodinâmica são a conservação da energia e o fato de que o calor flui espontaneamente do quente para o frio e não no sentido inverso. A termodinâmica fornece a teoria básica das máquinas térmicas, de turbinas a vapor até reatores nucleares, e a teoria básica de refrigeradores e bombas de calor. As leis da termodinâmica destruíram o sonho dos inventores e industriais que acreditavam na possibilidade de existir uma máquina de movimento perpétuo: um dispositivo que, após receber uma energia inicial, operaria contínua e indefinidamente sem precisar receber mais energia (HEWITT, 2015, p. 337).

A Primeira Lei da Termodinâmica, portanto, trata-se da lei da conservação da energia, pois existe um balanço energético entre a variação da energia interna do sistema, que se iguala à diferença entre a quantidade de calor (fonte de calor) e o trabalho que esse gás realiza. Essa explicação pode ser descrita formalmente da seguinte maneira (MENEZES *et al.*, 2013, p. 154; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 83):

$$\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$$

Essa quantidade de calor  $Q$ , da equação anterior, é aquela que pode ser recebida ou cedida por um sistema termodinâmico e formalmente é escrita da seguinte forma:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Onde:

$Q$  é a quantidade de calor sensível [cal]

$m$  é a massa do corpo que recebe ou cede (libera) calor [g]

$c$  é o calor específico do corpo que recebe ou cede (libera) calor [cal/g°C]

$\Delta T$  é a variação de temperatura sofrida pelo corpo ao receber ou liberar energia na forma de calor [°C]

A equação do trabalho realizado pelo gás, que faz parte desse processo termodinâmico, foi definida no tópico anterior pela seguinte equação:

$$W = p \Delta V$$

Onde no SI:

$W$  é o trabalho realizado por um gás [J]

$p$  é a pressão exercida pelo gás em um sistema termodinâmico [Pa]

$\Delta V$  é a mudança de volume de um gás, que pode ser por expansão ou compressão [ $m^3$ ]

Assim, essa lei pode ser também enunciada da seguinte forma:

Para todo sistema termodinâmico existe uma função característica denominada energia interna. A variação dessa energia interna ( $\Delta U$ ) entre dois estados quaisquer pode ser determinada pela diferença entre a quantidade de calor ( $Q$ ) e o trabalho ( $W$ ) trocados com o meio externo (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCOLOLA, 2016b, p. 83).

Bonjorno, Bonjorno e Bonj (1993, p. 260) explicam que essa lei pode ainda ser convencionada por uma relação matemática de sinais entre calor e trabalho, como descreve o quadro a seguir (quadro 2):

**Quadro 2** – Convenção do balanço energético referente à Primeira Lei da Termodinâmica

Calor	Trabalho	Energia Interna	$Q/W/\Delta U$
Recebe	Realiza	Aumenta	$> 0$ (positivo)
Cede	Recebe	Diminui	$< 0$ (negativo)
Não troca	Não realiza/não recebe	Não varia	$= 0$ (nulo)

Fonte: Só Física (2008).

A compreensão da energia interna é indispensável para se prosseguir nos estudos da Termodinâmica. Por isso, ela deve ser conceituada para melhor esclarecer e até mesmo ilustrar a Primeira Lei da Termodinâmica com maior clareza, porque, por meio dela, associada às demais grandezas físicas, é que se explica como de fato a termodinâmica se define (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCOLOLA, 2016b, p. 81).

Com isso, a energia interna de um sistema termodinâmico é basicamente conceituada com um certo grau de profundidade no próximo tópico, para que o leitor possa compreender sobre suas propriedades relacionadas aos fenômenos físicos do qual ela faz parte.

### 2.3.3 Energia Interna de um Sistema Termodinâmico

A Termodinâmica trabalha com os parâmetros básicos de medição das seguintes grandezas já descritas – energia interna ( $U$ ), trabalho ( $W$ ) e quantidade de calor ( $Q$ ) – relacionadas às transformações que o gás sofre durante um processo de transferência de energia por ganho ou por perda, por exemplo (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 81).

Sobre esses tipos de transformações gasosas que um gás pode estar submetido, foram eles ensinados de maneira teórica e prática, por meio de experiências aplicadas com os participantes da sequência didática montada no produto educacional dessa pesquisa.

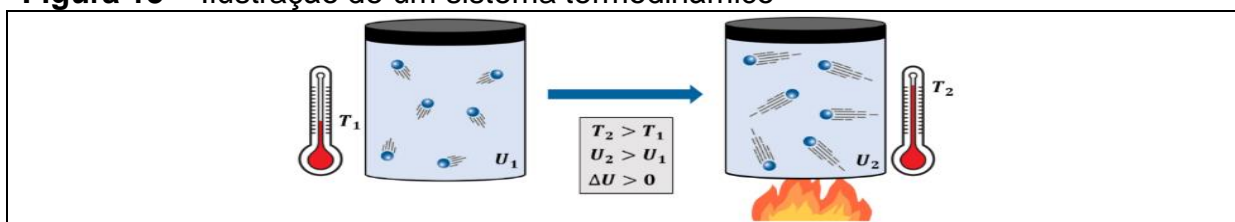
A energia interna ( $U$ ) de um sistema termodinâmico, portanto, é a soma de diversas formas de energia que as partículas do gás possuem; ou seja, as várias energias que compõem suas moléculas, das quais se observa que somente a energia cinética de agitação e a potencial de agregação estão relacionadas à temperatura. No caso, ela se resume na energia de translação de suas partículas (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 81).

A variação dessa energia interna ( $\Delta U$ ) está intimamente ligada à variação da temperatura, pois quando um corpo recebe ou cede calor, a energia interna de suas partículas varia (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 81).

Como também descreve Hewitt (2015, p. 286), a energia cinética média de um gás está relacionada aos movimentos de rotação, de vibração e de translação. Porém, somente a última representa a variação de sua temperatura.

Posteriormente, em uma só imagem, podem ser ilustradas a fonte de calor fornecida, a mudança da temperatura e a sua conseqüente variação da energia interna ( $\Delta U$ ). Porém, o trabalho é nulo, visto que a tampa do sistema não se desloca, como mostra a figura a seguir (figura 13):

**Figura 13** – Ilustração de um sistema termodinâmico



Fonte: Denis (2020).

Da mesma forma que se explicou que o calor (Q) recebido é positivo, que o calor cedido é negativo, que o trabalho realizado é positivo e que o trabalho sofrido pelo sistema é negativo, analogamente a variação da energia interna do gás do sistema é também considerado por essa convenção, como descrito no quadro 2 do tópico antecedente.

Quando há aumento da temperatura absoluta em questão, a variação da energia interna aumenta; ou seja, é positiva. Em contrapartida, se há diminuição da temperatura, também haverá redução da energia interna do gás, sendo considerada negativa. Por fim, não havendo variação na temperatura, a energia interna do gás é nula (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p.81).

Segundo Villas Bôas, Biscuola e Doca (2016b, p. 81), como as partículas são de dimensões estruturais desprezíveis (referência de um gás perfeito), não há energia de ligação, de agregação e de rotação. Por isso, essa energia interna para um gás ideal (monoatômico) é simplesmente descrita como a energia de translação que se define pela Lei de Joule e pode ser expressa matematicamente como:

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

É preciso pontuar que essa equação pode ser aproximadamente válida para os gases reais rarefeitos e monoatômicos. Porém, para aqueles de atomicidades distintas, a resolução por cálculo não é a mesma, pois existem outros valores energéticos em consideração (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016b, p. 82).

Considerando que o público-alvo desse trabalho são estudantes de sexta e sétima séries do ensino fundamental II, não houve aprofundamento na questão de usar esse formalismo matemático. Tampouco foi esse o foco da pesquisa, apesar que, em alguns momentos, se tornou oportuno apresentar resoluções de alguns problemas de termodinâmica de maneira mais aprofundada, pela notável evolução dos participantes ao longo das aulas.

Com tudo isso até aqui apresentado, o próximo capítulo explica os aspectos centrais da Teoria de Ensino Prescritiva de Bruner, utilizada nesse trabalho para abordar o conteúdo escolhido, com base no Currículo da Rede Estadual Paranaense (PARANÁ, 2020a).

### CAPÍTULO 3

#### PRINCIPAIS ASPECTOS DA NOVA TEORIA DE APRENDIZAGEM DE JEROME BRUNER: TEORIA DE ENSINO (PRESCRITIVA)

De acordo com Bruner (1973c, p. 51), de maneira intelectualmente honesta, é possível simplificar qualquer ideia, problema ou conjunto de conhecimentos para que seja compreendido por qualquer estudante sob uma forma reconhecível. Ou seja, é possível ensinar qualquer assunto em qualquer etapa de seu desenvolvimento cognitivo, desde que sejam feitas as devidas adequações, respeitando a faixa etária do indivíduo.

Esse foi um dos argumentos, se não o principal, que o deixou mundialmente reconhecido na área da psicologia da educação.

Por esse argumento ele ainda afirma que:

A estrutura de qualquer domínio de conhecimento pode ser caracterizada em três maneiras, todas elas ligadas à habilidade do estudante para dominar o assunto: a forma da representação, sob a qual é posta, sua economia e potência efetiva. Variam a forma, economia e potência com as diferentes idades, com diversos “estilos” entre os estudantes e com as distintas matérias (BRUNER, 1973c, p. 51).

O conceito de representação mencionado será mais bem discutido no tópico 3.2 deste capítulo.

Ainda em relação ao argumento central dessa teoria de ensino, Moreira (1999, p. 81), em sua síntese sobre Bruner, também descreve que, ao fazer essa afirmação, o autor não defende que um assunto em questão seja ensinado em sua forma final, mas respeitando as inúmeras etapas do desenvolvimento intelectual do indivíduo.

Por esse e outros motivos, Bruner trata o desenvolvimento intelectual de forma especial em sua nova teoria de aprendizagem, que, na verdade, é uma teoria prescritiva de ensino (BRUNER, 1973b, p.16).

Como destaca Moreira (1999, p. 82) “ensinar é produtivamente um esforço para dar forma ao desenvolvimento.”

]

### 3.1 O DESENVOLVIMENTO INTELECTUAL DESCRITO POR BRUNER

Ao pontuar o desenvolvimento intelectual como instrumento fundamental de sua nova teoria de aprendizagem (ensino), Moreira (1999, p. 82) e Bruner (1973b, p. 16) dividem essa evolução (desenvolvimento) em seis tipos como se segue:

1 “O desenvolvimento intelectual caracteriza-se por independência crescente da resposta em relação à natureza imediata do estímulo”.

Aqui, Bruner explica que há possibilidade na previsão do comportamento da criança a partir da captação dos estímulos, que nelas agem no momento e imediatamente antes da resposta. Ele ainda descreve que a criança pode controlar esses estímulos por meio da mediação.

Bulgraen (2010, p. 31) descreve que, além de educador e transmissor de conhecimento, o professor atua como mediador, formando uma ponte entre o estudante e o aprendizado, visando estimulá-lo ao interesse próprio nesse processo de aprendizado.

2 “O desenvolvimento intelectual baseia-se em absorver eventos, em um sistema de armazenamento que corresponde ao meio ambiente”.

Nesse tipo de desenvolvimento, Bruner (1973b, p. 17) defende a progressão intelectual da criança por meio da extrapolação de informações, partindo do modelo armazenado de conhecimento, modelo universal. Entretanto, o indivíduo vai além desses conhecimentos já existentes.

Além disso, as tecnologias de comunicação e informação por meio da globalização permitiram avanços nas áreas do trabalho e da educação (JUNCKES, 2013, p. 1). Isso pode ser um fator positivo que possibilita o aprofundamento de conteúdo disciplinar e melhores resultados de aprendizagem.

3 “O desenvolvimento intelectual entende uma capacidade crescente de afirmar a si mesmo e a outros, por palavras ou símbolos, o que alguém fez ou o que alguém fará”.

Segundo Bruner (1973b, p. 17), este é o caminho que conduz o ser humano para além da adaptação empírica. Ou seja, é a possibilidade de transição do comportamento ordenado para o comportamento lógico.

Ele compara esse desenvolvimento com o espírito de análise filosófico, como, por exemplo, um processo que leva ao eventual reconhecimento de necessidade lógica.

4 “O desenvolvimento intelectual baseia-se em uma interação sistemática e contingente entre um professor e um estudante, no qual o professor amplamente equipado com técnicas anteriormente inventadas, ensina a criança”.

Sobre esse tipo de desenvolvimento intelectual, Bruner, à luz de sua época, já destacou a influência das formas sistemáticas que uma cultura apresenta na relação professor-aluno, enumerando elementos tais como a família, figuras de identificação especial, professores e heróis, entre outros.

De fato, ele não deixou de pontuar a relação cultural e suas influências no tocante ao desenvolvimento intelectual no processo de ensino-aprendizagem. Dessa maneira, ele explica que:

Embora seja óbvio dizer-se que a criança nasce em uma cultura e é por ela formada, não é tão clara a maneira pela qual a teoria psicológica do desenvolvimento cognitivo lida com tal fato. Mais ainda, devem ser levadas em conta as diversas formas sistemáticas que uma cultura possui para essa relação professor-aluno [...] (BRUNER, 1973b, p. 17).

5 “O ensino é altamente facilitado por meio da linguagem que acaba sendo não apenas o meio de comunicação, mas o instrumento que o estudante pode usar para ordenar o meio ambiente”.

De acordo com Bruner (1973b, p. 17), a linguagem e as suas funções são indispensáveis ao desenvolvimento cognitivo.

Bargalló (2005, p. 27), por exemplo, ensina que há uma relação mútua entre o pensamento e a linguagem, de modo que essa última auxilia na construção de modelos científicos mais elaborados e traz uma reflexão sobre a relação e a consequência para o ensino e para a aprendizagem científica.

6 “O desenvolvimento intelectual é caracterizado por crescente capacidade para lidar com alternativas, simultaneamente, atender a várias sequências ao mesmo tempo e distribuir tempo e atenção de maneira apropriada a todas essas demandas múltiplas”.

Apesar disso, Bruner (1973b, p. 18) reconhece que existe espontaneamente um distanciamento entre o pensamento inocente de uma criancinha e a aptidão de uma criança de dez anos para lidar com situações em um mundo de extrema complexidade.

Além desses seis tipos de desenvolvimento intelectual do indivíduo descritos por Bruner, Moreira (1999, p. 83) destaca em sua obra três modos de representação de mundo relacionadas, consideravelmente análogas aos períodos de desenvolvimento de Piaget, que são os seguintes: o pré-operacional, o operacional concreto e o operacional formal.

Esses modos de representação serão discutidos brevemente no tópico subsequente.

### 3.2 FASES DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DESCRITAS POR BRUNER - FORMAS DE REPRESENTAÇÃO

Para Bruner (1973c, p. 52), as fases internas do desenvolvimento cognitivo podem ser analogamente comparadas aos estágios de desenvolvimento cognitivo, tais como os de Piaget e outros grandes pensadores da educação.

A primeira delas é a chamada Representação Ativa, que se caracteriza pela obtenção de resultados por meio da ação e da interação com objetos. Esta compreende a idade pré-escolar, ou seja, período que envolve a aquisição da linguagem e manipulação simbólica (BRUNER, 1973c, p. 52).

Nesse estágio, falta à criança a compreensão do conceito de reversibilidade. Portanto, é bastante difícil ensinar determinadas definições da física (MOREIRA, 1999, p. 83).

Todavia, os participantes das aulas no presente trabalho já passaram dessa fase de desenvolvimento, inclusive das subsequentes, pois são estudantes do sexto e do sétimo ano.

A segunda é a Representação Icônica, que compreende a interação de diagramas, gráficos e ícones, mas sem defini-los totalmente (BRUNER, 1973c, p. 52). Essa representação foi indispensável durante as aulas sobre o assunto abordado nessa pesquisa.

A terceira é a Representação Simbólica, na qual a criança desenvolve a capacidade de ir além dos ícones e lidar com símbolos (por associação), ideias abstratas, compreensão de leis, para formar ou transformar proposições (BRUNER, 1973c, p. 52).

Em síntese, o primeiro tipo de representação (ativa) se dá pela ação/interação com os objetos; o segundo tipo de representação (icônico), pela organização visual, observação e percepção de imagens; o último tipo de representação enumerado (simbólica), pela capacidade de interpretar símbolos (BRUNER, 1973c, p. 52; MOREIRA, 1999, p. 84).

Essas representações não se limitam ao indivíduo, quando criança, mas são utilizados ao longo de toda a vida, pois os estágios não são absolutos. Por esta razão, é bem comum que ocorra, por exemplo, de um indivíduo usar a representação simbólica para resolver problemas de matemática e a representação icônica para solucionar questões de geografia (BRUNER, 1973c, p. 52).

Com base nesses modos de representação e na descrição de Bruner (ao enfatizar que é possível que qualquer assunto, conteúdo, problema ou conjunto de conhecimentos possa ser simplificado, ou reduzido em sua complexidade de tal forma que se torne possível o aprendizado a qualquer criança, em qualquer estágio de seu desenvolvimento), é preciso pontuar outro aspecto da teoria de ensino de Bruner: o conceito de economia na representação de um domínio de conhecimentos, discutido no tópico subsequente (BRUNER, 1973c, p. 52).

### 3.3 UMA NOVA TEORIA DA APRENDIZAGEM: A ECONOMIA NO PROCESSO DE ENSINO APRENDIZAGEM E SUA VANTAGEM

Bruner (1973c, p. 52) considera o fator da economia sobre os tipos de representação, que consiste na redução ou simplificação necessária sobre o assunto, de modo a promover a compreensão deste.

Como ele explica em sua obra:

A economia na representação de um domínio de conhecimentos relaciona-se com a quantidade de informação a ser conservada na mente e a ser processada para permitir compreensão. Quanto mais dados se tem que armazenar para entender alguma coisa, ou enfrentar um problema, mais passos sucessivos há que tomar para processar os dados até chegar a uma conclusão, e menor será a economia (BRUNER, 1973c, p. 52).

Um exemplo que o autor menciona em seu livro para esclarecer o conceito de economia é o da queda livre dos corpos. Ele explica que é mais econômico definir a equação  $y = gt^2/2$  do que tratar de resultados diversos de alturas respectivas, relações com campos gravitacionais distintos entre outras propriedades não relevantes para o momento. Ou seja, basta apenas entender que uma simples equação será aplicada de forma genérica.

A respeito da economia como uma ideia de simplificação do aprendizado, remete-nos a discussão da estrutura e forma de conhecimento pelo conceito de potência efetiva, discutida brevemente no tópico a seguir (BRUNER, 1973c, p. 54).

#### 3.4 POTÊNCIA EFETIVA

A potência efetiva é o fator que promove uma análise detalhada dos resultados desenvolvidos pelo estudante, sua progressão no processo de ensino aprendizagem. É o que Bruner descreve como “valor criativo de um conjunto de proposições aprendidas” (BRUNER, 1973c, p. 54).

Para Bruner (1973c, p. 55), esse conceito pode ser também caracterizado da seguinte forma: “A potência efetiva de uma representação pode também ser caracterizada como sua capacidade, nas mãos do aluno, para relacionar assuntos aparentemente distintos, ponto este especialmente crucial em Matemática.”

É preciso destacar que, para todo esse processo, existe uma sequência didática específica, respeitando os três modos de representação: ativa, icônica e simbólica (BRUNER, 1973c, p. 52-56).

Por este e outros motivos, a teoria de aprendizagem de Jerome S. Bruner é prescritiva:

Por estabelecer regras concernentes à melhor maneira de obter conhecimentos ou técnicas; e, por isso mesmo, fornece um padrão para criticar ou aferir qualquer forma particular de ensinar ou aprender. É uma teoria normativa, pois estabelece critérios e fornece condições para atendê-los. Devem tais critérios elevada generalidade, não cabendo, por exemplo, a uma teoria da aprendizagem deter-se nas condições para um

estudo eficiente da aritmética no curso primário, condições essas que poderiam derivar de uma visão menos geral do ensino da Matemática (BRUNER, 1973c, p. 47-48).

Ele algumas vezes cita como exemplo alguns métodos de ensino utilizados com a matemática, a lógica e a física para demonstrar resultados de aprendizagem sobre seus estudos.

De fato, a teoria de Bruner é diferente, pois vai além das teorias de aprendizagem de Piaget e Vygotsky, por exemplo. Ele prescreve melhores formas de ensinar, em vez de apenas analisar como os indivíduos aprendem ou como a aprendizagem acontece (BRUNER, 1973c, p. 47-48).

Em outras palavras, é fácil distingui-la das demais pelos seguintes argumentos: as teorias, que comumente são descritivas, tratam das consequências de sua aplicação. Por exemplo, já se descobriu por estudos e pesquisa que a maior parte das crianças não tem noção de reversibilidade. Ou seja, as teorias que são descritivas buscam analisar e compreender o porquê da problemática em questão; por outro lado, uma teoria prescritiva oferece a melhor condição ou forma de dar essa noção de reversibilidade (BRUNER, 1973c, p. 47).

Entretanto, de forma alguma o autor despreza as teorias descritivas, de modo que explica que, “na realidade, esta não só deverá ocupar-se tanto com a aprendizagem como com o desenvolvimento, como ainda terá que ser congruente com as teorias sobre os mesmos.” (BRUNER, 1973c, p. 48).

O psicólogo e pesquisador menciona, portanto, quatro características principais sobre uma teoria de ensino, que é fundamental, ainda que resumidamente, aqui mencionar.

“A primeira deve apontar as experiências mais efetivas para implantar em um indivíduo a predisposição para a aprendizagem”.

“A segunda especificar como deve ser estruturado um conjunto de conhecimentos, para melhor ser apreendido pelo estudante”.

“A terceira deverá citar qual a sequência mais eficiente para apresentar as matérias a serem estudadas”.

“A quarta e última, deve deter-se na natureza e na aplicação dos prêmios e punições, no processo de aprendizagem e ensino”.

Concernente a essas quatro principais características, é preciso ainda considerar os fatores culturais, motivacionais e pessoais da criança, bem como a

classe social, o sexo e a idade delas, que são aspectos influenciadores do desenvolvimento intelectual. Ou seja, as atitudes para as atividades intelectuais se diferenciam de acordo com esses fatores, que são influenciadores (BRUNER, 1973c, p. 50).

Assim, uma teoria da aprendizagem deve buscar dentro de cada contexto cultural a melhor maneira para se alcançar determinados objetivos de ensino. O defensor dessa teoria explica que “algumas tradições culturais são estatisticamente de maior eficiência na produção de cientistas, homens de letras e artistas”. O que ele quer dizer é que a cultura de uma população influencia a formação intelectual de seus indivíduos (BRUNER, 1973c, p. 50).

Como o próprio autor explica

Investigam a Antropologia e a Psicologia os meios pelos quais as tradições ou “funções” podem influenciar as atividades do intelecto. Uma teoria da aprendizagem, porém, deverá tratar como melhor utilizar determinado contexto cultural para chegar a determinados objetivos de ensino (BRUNER, 1973c, p. 50).

Ao tratar desses aspectos, Bruner (1973c, p. 50) faz a ressalva de que é fundamental a predisposição para explorar alternativas. Isto é, o estudo e a resolução de problemas têm como pilar a exploração delas, de modo que a instrução é uma facilitadora do ordenamento desse processo para o estudante.

Logo, existem três aspectos para que ocorra essa exploração, que são resumidamente descritos como ativação, manutenção e direção. Em outras palavras, tais aspectos equivalem ao mesmo que, um fator iniciante (ativação), um fator mantenedor (manutenção) e outro fator cauteloso (direção), evitando assim que se perca ao acaso (BRUNER, 1973c, p. 51).

Para Bruner (1973c, p. 51), o aspecto de ativação sobre a exploração de alternativas relacionadas a um determinado assunto consiste em um alto nível de incerteza, pois questões comumente de fácil compreensão produzem o mínimo ou nenhuma exploração. É um confronto de desinteresse, mas é justamente essa incerteza que promove a ativação, por meio da busca em esclarecer as dúvidas, entender, compreender o resultado.

Desse modo, a manutenção da exploração já iniciada exige que os benefícios dessas alternativas exploradas superem os riscos envolvidos. Nesse quesito, o papel do professor como mediador é muito importante para minimizar esses riscos, desde

que o ensino seja eficiente. Assim, as consequências dos erros dos estudantes ao explorar equivocadamente as alternativas podem ser atenuadas em um regime de esclarecimento, visando ao aumento de acertos sobre as questões posteriores (BRUNER, 1973c, p. 51).

Por fim, dar direção é basear-se em duas situações independentes, tais como “o sentido da meta de uma tarefa e o conhecimento da importância de verificar as alternativas para atingir tal meta”. Assim, o objetivo da atividade deve ser conhecido; ou seja, a fase de direção tem como alicerce os conhecimentos prévios tão bem defendido por David Ausubel (1978) em suas descrições sobre a aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999, p. 153). É a partir dos conhecimentos dos resultados das experiências do indivíduo que a direção terá sua efetividade (BRUNER, 1973c, p. 51).

Enfim, esses três aspectos envolvidos na exploração de alternativas sobre um determinado assunto podem ser explicados de forma bem simples, para que qualquer leitor o entenda claramente. Eles são definidos a seguir: a ativação consiste na fase inicial do processo (curiosidade da criança); a manutenção permite mantê-lo no processo; e, finalmente, a direção evita o desastre desse processo e se apoia nos conhecimentos prévios dos resultados obtidos pela experiência do estudante ao longo do seu percurso (BRUNER, 1973c, p. 51).

Durante a aplicação do produto educacional desse presente estudo, buscou-se explicar o conteúdo da maneira mais simplificada possível. Contudo, quando houve significativo aprendizado, o método em espiral dessa teoria de ensino foi explorado ao máximo, para que os participantes pudessem obter maior compreensão sobre o assunto ministrado no decorrer de cada aula.

Respeitando esses três aspectos na exploração de alternativas, por meio da mediação do professor com seus alunos (BRUNER, 1973c, p. 51), procurou-se despertar a curiosidade dos participantes (ativação), mantê-los no processo (manutenção) e evitar ao máximo interpretações equivocadas sobre o tema abordado e a perda do conhecimento ao longo do percurso (direção) das aulas ministradas. Assim, foram realizadas revisões e correções até a aplicação da avaliação final, que foi um “termômetro” de medição, utilizado para diagnosticar a evolução cognitiva dos educandos.

Ao considerar esses aspectos de exploração das alternativas e as fases do desenvolvimento cognitivo discutidos anteriormente (fase ativa, fase icônica e fase

simbólica), é necessário relacioná-las a uma sequência didática defendida por Bruner e tantos outros autores. Na verdade, para ele, devem respeitar essas três fases do desenvolvimento.

O modo como Bruner trata a sequência será brevemente descrita no tópico subsequente.

Todavia, antes de defini-las, não podemos deixar de destacar a importância que Bruner (1973a, p. 34) dá ao uso da linguagem como instrumento de mediação do processo educacional. Segundo ele, a linguagem é

[...] talvez o exemplo ideal de uma tecnologia tão poderosa capaz não só de comunicar como de codificar a “realidade”, representando assuntos remotos ou imediatos, sempre de acordo com regras convencionais, porém apropriadas que nos permitem tanto representar a realidade como transformá-la (BRUNER, 1973a, p. 34).

Por isso, nesse trabalho, preocupou-se com uma sequência didática que se acredita ser, respeitosamente, mais adequada para melhorar o aprendizado dos participantes nessa pesquisa.

Para isso, foram usadas como instrumento de ensino simulações, ilustrações e experiências sobre o assunto tratado, analisando a eficácia ou não dos argumentos de Bruner, que foram aplicados durante o trabalho. Os resultados descritos no próximo capítulo demonstram os dados positivos e/ou negativos obtidos.

É óbvio que, quanto aos resultados positivos, julga-se que foram seguidos, da melhor forma possível, os aspectos dessa teoria, tais como a exploração de alternativas, o fator econômico e outros. A respeito de possíveis resultados negativos, acredita-se que possa ter acontecido algum equívoco momentâneo por parte do educando em relação ao conteúdo ministrado, ou ainda, dificuldade com a disciplina. Como se sabe, a Física é considerada uma das disciplinas mais difíceis de ser aprendida pelos estudantes.

### 3.5 SEQUÊNCIA E SUAS APLICAÇÕES NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM

Segundo Bruner (1973c, p. 55), a forma como uma sequência de ensino é criada pode influenciar no aprendizado do educando.

Por isso, existem determinados tipos de sequências que se mostram como facilitadoras ou não para os educandos. Como ele mesmo pontua, não há uma única sequência para todos (BRUNER, 1973c, p. 56).

Se é verdade que o processo normal do desenvolvimento intelectual passa da representação ativa do mundo para a icônica e depois para a simbólica, tudo indica que a sequência ótima se fará na mesma direção. Obviamente essa é uma doutrina conservadora, pois quando o aluno tem um sistema simbólico bem desenvolvido, pode-se saltar os dois primeiros estágios (BRUNER, 1973c, p. 56).

Contudo, existe um perigo das transformações simbólicas não conduzirem o estudante à resolução de um problema, justamente por lhe faltarem as características necessárias das transformações icônicas, que tratam das interpretações de imagem. Além disso, a exploração das alternativas é prejudicada pela sequência em que o conteúdo abordado é ensinado (BRUNER, 1973c, p. 56).

Nesse sentido, alguns critérios devem ser incluídos neste percurso, tais como os seguintes: i) velocidade de aprendizagem; ii) resistência ao esquecimento; iii) transferência a outras instâncias do assunto aprendido e a forma de representação sob a qual deverá ser o mesmo expressado; iv) a economia e eficácia (BRUNER, 1973c, p. 56).

Por isso tudo, o psicólogo considera o método da descoberta, e reconhece a forma e distribuição do reforço, conceitos esses que serão enunciados a seguir (BRUNER, 1973c, p. 56-57).

### 3.6 O MÉTODO DA DESCOBERTA, A FORMA E A DISTRIBUIÇÃO DO REFORÇO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

O método da descoberta para muitos estudiosos pode promover equívoco, ao menos a princípio, por supor que não há mediação entre professor-aluno. Porém, isso não é verdade, pois Bruner explica que “é necessário caracterizar em cada sequência a respeito da ativação e manutenção do interesse o grau de incerteza e tensão que deve haver no comportamento de resolução de problemas e as condições para ativá-lo”; ou seja, tudo se trata de uma questão empírica (BRUNER, 1973c, p. 56).

Esse método, portanto, é realizado em momentos no qual o professor julgar adequado encorajar seu aprendiz a focar em uma hipótese ou dedicar-se a explorar alternativas propostas (BRUNER, 1973c, p. 56).

Já sobre a forma e distribuição e reforço, ele deixa explícito que o estudante necessita de um “feedback” sobre a sua evolução cognitiva. Isso implica que a aprendizagem depende do conhecimento de resultados, considerando o momento e o local em que se estiver ocorrendo a correção, sendo útil ou não a advir do tempo e local adequado para essa evolução do conhecimento pelo estudante (BRUNER, 1973c, p. 57).

É por isso que Bruner deixa bem claro ao dizer:

O conhecimento dos resultados deverá ser dado a alguém no momento exato de uma resolução de problemas, quando está comparando os resultados de sua tentativa com o critério que ele procura satisfazer. Se dado antes, não será entendido ou será apenas uma carga adicionada na memória imediata. Se dado depois, poderá ser tarde demais para orientar na escolha de nova hipótese ou tentativa. Mas, para ser útil, não deverá o conhecimento dos resultados limitar-se a informar se determinada ação de uma pessoa foi bem-sucedida ou não, mas também dizer se tal ação está ou não a conduzindo através de uma hierarquia de metas a atingir (BRUNER, 1973c, p. 57).

É obvio que, ao longo do tempo, o indivíduo desenvolverá métodos de autocorreção, pois a criança aprende a raciocinar de forma simbólica (última fase do desenvolvimento cognitivo) e, com isso, a transformar o seu ambiente, aumentar sua competência e controlar seu comportamento. Isso é necessário, visto que a instrução e o seu apoio terão fim, e esse processo reduz os efeitos do reforço secundário (BRUNER, 1973c, p. 58).

É claro que o professor não será “deixado de lado” para toda a vida, pois, ao se autocorriger, o estudante deve reconhecer suas limitações e procurar ajuda de um docente para ser instruído por ele. Mas o que Bruner explica é que, com o tempo, a pessoa deve adquirir técnicas de autocorreção e, quando atingir seu limite de entendimento, poderá procurar uma pessoa mais instruída para lhe dar uma explicação corretiva (BRUNER, 1973c, p. 58).

Bruner (1973c, p. 59) levanta uma informação relevante de que a “instrução é um estado provisório que tem por objetivo tornar o estudante autossuficiente”. Entretanto, o efeito pode ser contrário, porque possibilita causar dependência constante do aluno em receber correção do professor. Sendo assim, é preciso que o

docente tenha o papel crucial de instruir o aluno de modo a adquirir uma postura de assumir por si só sua função corretiva.

Ainda sobre a questão da instrução, é preciso pontuar que o ensino deve ser planejado de acordo com o aspecto intelectual de cada um, a maneira mais adequada de ensinar, considerando nesse quesito a idade de cada aprendiz. Reiterando, “toda ideia, problema ou conjunto de conhecimentos pode ser suficientemente simplificada para ser entendida por qualquer estudante particular, sob forma reconhecível” (BRUNER, 1973c, p. 51).

Ao abordar a relação da instrução como fator mediador, Bruner valoriza a função da linguagem (forma de expressar) e os modos como ela é aplicada (BRUNER, 1973b, p. 21).

Aqui pode ser usado um exemplo citado em sua obra (BRUNER, 1973c, p. 61), por meio de dados coletados pelo pesquisador Suppes, ao observar em sua análise que os aprendizes assimilavam mais a equação no formato  $3 + x = 8$  do que essa no formato  $x + 3 = 8$ . Embora a princípio pareça não ter relevância, observando com mais atenção, se verá que há.

Essa situação remete os pesquisadores à seguinte questão: “Deriva se a dificuldade de lidar com uma incógnita no início de uma expressão de uma transferência de hábitos linguísticos, em que é mais fácil completar uma sentença quando um termo é retirado do meio do que do início?” (BRUNER, 1973c, p. 61).

A dúvida levantada conduz os pesquisadores a trabalharem com figuras geométricas de medidas desconhecidas, com ajuda de aplicações práticas. O uso de cubos, balanças e outros objetos geométricos de medidas desconhecidas permitiu a construção do conceito de equação e a importância da incógnita  $x$  e das igualdades como fator de cálculo com medidas inicialmente desconhecidas (BRUNER, 1973c, p. 61).

Não é nosso objetivo trazer detalhes sobre essa questão, mas a explicação desse processo de construção conceitual na íntegra se encontra em seu livro (BRUNER, 1973c); sua descrição aqui ocuparia muito espaço para discussão.

Conclui-se então que o que parece óbvio para quem já possui um conceito formado em sua estrutura cognitiva não é tão claro para aqueles que ainda estão em processo inicial de desenvolvimento conceitual. Trabalhar situações teóricas e práticas é o ponto inicial (ativação) para abrir a visão do estudante de que o

desconhecido (uma incógnita) também é uma medida que pode ser descoberta por métodos adequadamente utilizados (BRUNER, 1973c).

Esse processo se mantém de forma efetiva não somente após sua ativação, manutenção e direção, mas também respeitando cada fase do desenvolvimento cognitivo do sujeito, o reforço e a realimentação durante todo o percurso.

### 3.7 A DEFESA DE BRUNER SOBRE UM CURRÍCULO IDEAL NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Moreira (1999, p. 82), em seus estudos sobre Jerome Bruner, descreve o currículo em espiral como uma forma gradual de aprendizagem, no qual o estudante revê o mesmo assunto em diferentes níveis de profundidade.

Roldão (1994, p. 63), por exemplo, reforça esse conceito ao relatar que o currículo em espiral é fundamentado no perfil de desenvolvimento dos estágios, atentando-se mais qualitativamente na compreensão das crianças em cada uma dessas etapas de desenvolvimento. Ou seja, um processo gradual de ensinamento.

Como explica Rabatini (2010, p. 44), no currículo em espiral o trabalho docente é de preparação do estudante, visto que o professor se torna um mediador que conduz o aprendiz a descobrir por conta própria (BRUNER, 2001, p. 9).

Ainda deve ser lembrado aqui o argumento que, com o decorrer do tempo, o indivíduo adquire métodos de autocorreção. Todavia, ao atingir um limite de compreensão em que um conceito ou definição não seja entendido, poderá o estudante buscar ajuda de um profissional que lhe forneça uma instrução corretiva, promovendo o seu aprendizado (BRUNER, 1973c, p. 58).

Filippi, Bortolini e Dias (2012, p. 4) complementam que é necessário respeitar uma metodologia de ensino adequada para cada etapa desse desenvolvimento cognitivo, bem como as carências e anseios de cada indivíduo.

É também preciso, nesse processo, considerar alguns aspectos que podem apresentar influências a respeito do ensino-aprendizagem de acordo com as experiências humanas. São os seguintes: a linguagem, as narrativas e as simbologias culturais ou sociais. Além disso, como pontuam os autores, “somos frutos de um contexto sociocultural que nos faz diferentes e únicos na forma de pensar e agir.” (FILIPPI; BORTOLINI; DIAS, 2012, p. 4).

Essa questão da influência do contexto cultural no processo de ensino foi citada no tópico 3.4 desse capítulo (BRUNER, 1973c, p. 50).

Assim, o planejamento educacional deve considerar o aspecto cultural, elemento esse, fundamental à prática da educação (BRUNER, 2001, p. 28). Para ele (Bruner), é a cultura uma provedora de instrumentos que organizam e arquitetam o ambiente (sociedade), tornando-a acessível a todos por meio da comunicação (FILIPPI; BORTOLINI; DIAS, 2012, p. 6).

Segundo Rabatini (2010, p. 50), Bruner dá grande ênfase para o aspecto cultural. Tanto que ela se encontra explícita como uma tese da psicologia em seus estudos, segundo descrições da autora, nas obras analisadas por ela em suas revisões literárias sobre o autor.

A importância cultural para o desenvolvimento cognitivo do ser humano se tornou tamanha para Bruner, que ele a descreve da seguinte maneira:

A característica distintiva da evolução humana é que a mente evolui de uma forma que permite que os seres humanos utilizem as ferramentas da cultura. Sem essas ferramentas, sejam simbólicas, sejam materiais, o homem não é um “macaco nu”, mas uma abstração vazia... Nesta visão, a aprendizagem e o pensamento estão sempre situados em um contexto cultural e dependem da utilização de recursos culturais [...] (BRUNER, 2001, p.17).

Ele também reconhece que a educação está em constante transformação e, como explica, “modificações das circunstâncias e do conhecimento impõem restrições e criam oportunidades para os professores de cada geração”. Além disso, é a linguagem para ele, dentre todos os fatores, a tecnologia significativamente poderosa que detém as condições de mudar a realidade por meio da comunicação, sendo capaz de transformá-la (BRUNER, 1973a, p. 31).

### 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A TEORIA DE ENSINO DE BRUNER: ALGUMAS MUDANÇAS DE PENSAMENTO

Como se verá nesse tópico, o pensamento de Bruner sobre aspectos educacionais sofreu algumas modificações ao longo do tempo de seus estudos e experiências como profissional.

No penúltimo parágrafo do tópico anterior, por exemplo, ele defendia com bastante ênfase o contexto cultural no tocante à aprendizagem e ao pensamento (BRUNER, 2001, p. 17), o que outrora não ocorria.

Inicialmente, Bruner enfatizava a estrutura (o conteúdo) da matéria que o professor deveria ministrar, o que permitiria ao estudante prosseguir por si mesmo na compreensão dos fenômenos que os cerca. Ou seja, não era necessário conhecer tudo na natureza para extrapolar sobre situações específicas (MOREIRA, 1999, p. 92).

Segundo Moreira (1999, p. 92), bastava conhecer a estrutura de um certo assunto para saber o bastante sobre ele. Simultaneamente, era apenas necessário armazenar pouco conhecimento em sua estrutura cognitiva para que isso fosse possível.

Nessa perspectiva, ele atribuía o rendimento dos estudantes conforme essa estrutura era preparada e defendia implicitamente que existia, no interior do indivíduo, uma motivação espontânea para o aprendizado. Além disso, Bruner acreditava que qualquer educando detinha habilidades prévias para o aprendizado (MOREIRA, 1999, p. 92).

Com isso, era necessário apenas usar os meios necessários para ensinar, dando ênfase nessa estrutura e valorizando o método por descoberta (MOREIRA, 1999, p. 92).

No entanto, como descreve Moreira (1999, p. 92), suas presunções acerca da motivação e das habilidades prévias inicialmente defendidas por Bruner não eram verdadeiras, pois a depender da origem socioeconômica do sujeito, esta não existia e aquela não se achava naturalmente como ele descrevia.

Essas observações conduziram Bruner a entender que a educação não estava desvinculada de outros fatores, mas era intensamente política. Isso o levou ao reconhecimento de que o processo de aprendizagem estava vinculado aos problemas sociais. Com isso, ele tira a ênfase sobre a estrutura da matéria como proposta de um ensino mais eficaz (MOREIRA, 1999, p. 92).

Não se quer neste capítulo levantar pontos negativos sobre a teoria de ensino de Bruner, até porque, mesmo com algumas mudanças de pensamento adquirida pelo autor ao longo de seus estudos como psicólogo, o presente trabalho buscou adaptar os aspectos de sua teoria na sequência didática sugerida.

Moreira (1999, p. 93) ainda descreve que os modos de representação ao longo do desenvolvimento intelectual do indivíduo (ativo, icônico e simbólico) têm influência perceptível nos estágios de desenvolvimento cognitivo de Piaget. Bruner, inclusive, é bastante conhecido por esses modos de representação, pelo currículo em espiral e pela aprendizagem por descoberta.

Futuramente, essas influências piagetianas foram trocadas pelo método de desenvolvimento vygotskyano. Ou seja, reconhece que a criança dificilmente constrói por si só o seu desenvolvimento intelectual, mas depende de interações sociais e culturais para isso (MOREIRA, 1999, p. 92).

Ao longo de sua carreira, ainda que tivesse acontecido mais mudanças relevantes ou não por parte do pensamento deste autor, esse estudo se baseou principalmente na frase descrita por ele em sua época, a qual foi mencionada no início desse capítulo. Vale a pena fechar o tópico lembrando-a: “toda ideia, problema ou conjunto de conhecimentos pode ser suficientemente simplificada para ser entendida por qualquer estudante particular, sob forma reconhecível” (BRUNER, 1973c, p. 51).

Por isso, no decorrer das aulas, o conteúdo abordado foi simplificado. Porém, à medida que se acreditava ser possível, as definições e conceitos acerca do assunto ensinado eram aprofundadas gradualmente pelo que chamamos aqui de método em espiral (currículo em espiral), explorando cada modo de representação quando possível (ativo, icônico e simbólico), por meio das simulações, experimentos e questões aplicadas.

Por tudo que foi descrito nesse trabalho até aqui, no próximo capítulo, podem ser analisados os resultados obtidos na pesquisa, a forma como os principais argumentos dessa teoria foi aplicada, nos momentos que se acreditou ser oportuno. Será notado, também, que houve excelentes respostas para o atual estudo.

## **CAPÍTULO 4**

### **ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO COM BASE NO PRODUTO EDUCACIONAL VIGENTE**

O produto educacional vinculado a este trabalho destina-se a sugerir uma nova forma de explorar não só as potencialidades dos educandos em relação ao conteúdo (Termodinâmica e máquinas térmicas a vapor), mas também o seu desenvolvimento no processo de ensino. Haja vista que esse estudo tem um certo diferencial, pois é intitulado de bifuncional, e a sequência didática é de livre escolha por parte do educador (BRUNER, 1973c, p. 56).

Em outras palavras, ser bifuncional significa que ele pode ser aplicado tanto com estudantes da sétima série do ensino fundamental II, na disciplina de Ciências, quanto do segundo ano do ensino médio em Física, visto que o conteúdo faz parte da grade curricular dessas duas séries, de acordo com o Currículo da Rede Estadual Paranaense para a área de Ciências, e dos Parâmetros Curriculares Nacionais a respeito da disciplina de Ciências e Física (PARANÁ, 2020a, p. 29).

Obviamente, quando aplicado com estudantes do ensino médio, será adequada e respeitada cada faixa etária dos participantes (ensino fundamental II ou ensino médio) quanto às definições e conceitos a serem abordados sobre o tema proposto durante as aulas e conforme ambas as séries para as quais serão ministradas.

Essas adequações seguem dois dos principais aspectos da teoria de ensino de Bruner, discutida brevemente no capítulo anterior, denominados de currículo em espiral e método da descoberta (BRUNER, 1973c, p. 56; MOREIRA, 1999, p. 82).

Esses métodos consistem basicamente em iniciar um assunto pelo seu conceito central e aprofundar pelos conceitos secundários, respeitando os limites e as capacidades cognitivas de cada sujeito nesse processo educacional, propondo desafios por meio de situações problemas (BRUNER, 1973c, p. 56; MOREIRA, 1999, p. 82).

Por isso, o ensino sobre o tema em questão (Leis da Termodinâmica e máquinas térmicas a vapor) seguiu como metodologia a Teoria de Ensino Prescritiva de Jerome S. Bruner. Entre esses e outros aspectos, ela enfatiza que, de maneira intelectualmente honesta, é possível simplificar qualquer ideia, problema ou conjunto de conhecimentos para que seja compreendido por qualquer estudante sob uma

forma reconhecível. Ou seja, é possível ensinar qualquer assunto em qualquer etapa de seu desenvolvimento cognitivo, desde que sejam feitas as devidas adequações, respeitando a faixa etária e fases do desenvolvimento cognitivo do indivíduo (BRUNER, 1973c, p. 51).

Posteriormente, o seguimento das aulas remotas se dá por meio da utilização de slides, simulação e experimentos em momentos adequados referente ao conteúdo trabalhado (ler produto educacional vinculado ao trabalho).

As aulas se iniciam por uma abordagem histórica acerca da evolução das máquinas térmicas a vapor na Revolução Industrial a partir dos séculos XVII e XVIII e os principais cientistas envolvidos e suas contribuições. Isso é explicado por slides, e é disponibilizado ao grupo um “link” na página de abertura da referida sala virtual (“Google Classroom”), com um texto de apoio para aprofundamento sobre esse momento histórico, após a primeira aula ser ministrada.

O endereço eletrônico descrito encontra-se logo a seguir:

<a href="https://notapositiva.com/a-maquina-a-vapor/#">https://notapositiva.com/a-maquina-a-vapor/#</a>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Conforme as simulações e os experimentos eram aplicados em momentos adequados, oportunos durante as aulas, os métodos da descoberta e o currículo em espiral foram bastante explorados (BRUNER, 1973c, p. 56; MOREIRA, 1999, p. 82). Esses métodos foram explicados no tópico 3.6 do capítulo anterior e mencionado no quarto parágrafo desse capítulo.

Para isso, eram levantadas questões instigantes acerca das observações feitas pelos estudantes, após o manuseio dos simuladores pelo professor e pelos próprios estudantes em suas casas. Isso também era realizado durante e após as experiências aplicadas dentro da sequência didática proposta.

O método da descoberta, em especial, promove a exploração de alternativas, criação de hipóteses pelo estudante. Isso acontece de forma empírica e por encorajamento do professor frente à sua turma, que propõe desafios diversos (BRUNER, 1973c, p. 56), conforme o assunto ensinado.

#### 4.1 ESCOLHA DOS PARTICIPANTES E CRIAÇÃO DA SALA VIRTUAL

Para que o exposto no tópico anterior seja possível, no entanto, o professor pode optar por montar uma sala virtual no Google Classroom. Isso foi feito nesse trabalho com um grupo de participantes escolhidos, composto por 17 estudantes, dos quais 15 participaram até o final com os resultados no presente estudo.

A justificativa para a criação da referida sala virtual se dá pela pandemia da covid-19 na qual a população mundial atualmente se encontra. Com isso, as normas de decreto municipal e estadual foram legalmente respeitadas no decorrer da aplicação do presente produto educacional (BRASIL, 2020, p. 1-2).

Os 17 estudantes selecionados, entretanto, pertenciam a quatro turmas distintas, dois sextos anos e dois sétimos anos. Além disso, pertenciam a duas escolas diferentes. Assim, três pedagogas foram voluntariamente convidadas a participar da classe virtual (“Google Classroom”), criada com a finalidade de ministrar a sequência didática.

Por isso, existem algumas considerações (explicações) a serem levantadas a respeito da forma como foi escolhido o grupo de estudantes, com base na teoria de ensino adotada, além da justificativa da presença e da função das referidas pedagogas inseridas na sala virtual montada.

Primeiro, em relação ao corpo discente, é preciso reiterar que nove participantes pertenciam à sexta série do ensino fundamental II, de uma determinada escola, e cinco faziam parte da sétima série dessa mesma escola. Os outros três, também da sétima série, eram matriculados em outra instituição de ensino, todos da rede pública.

A maneira como se deu essa escolha é simples: foi perguntado aleatoriamente para os educandos das turmas às quais o professor, autor deste trabalho, ministrava aulas, a respeito de quem gostaria de participar de um projeto sobre o estudo do funcionamento das máquinas térmicas, como elas executavam suas atividades e quais Leis da Física e da Ciência, em geral, estão por trás de todo esse processo.

Muitos estudantes, a princípio, demonstraram interesse. Mas, no decorrer de 15 dias que antecediam o início dessas aulas, realizadas entre 21 de junho e 2 de julho de 2021, alguns desistiram por motivos pessoais. Permaneceram 17 participantes, dos quais, 15 colaboraram para os resultados até o final da pesquisa.

Os outros dois desistiram por impossibilidades de continuarem participando, ainda no início da pesquisa, logo após a primeira aula ministrada

A segunda explicação dessa escolha refere-se ao motivo da seleção de estudantes de séries distintas (sexta e sétima séries).

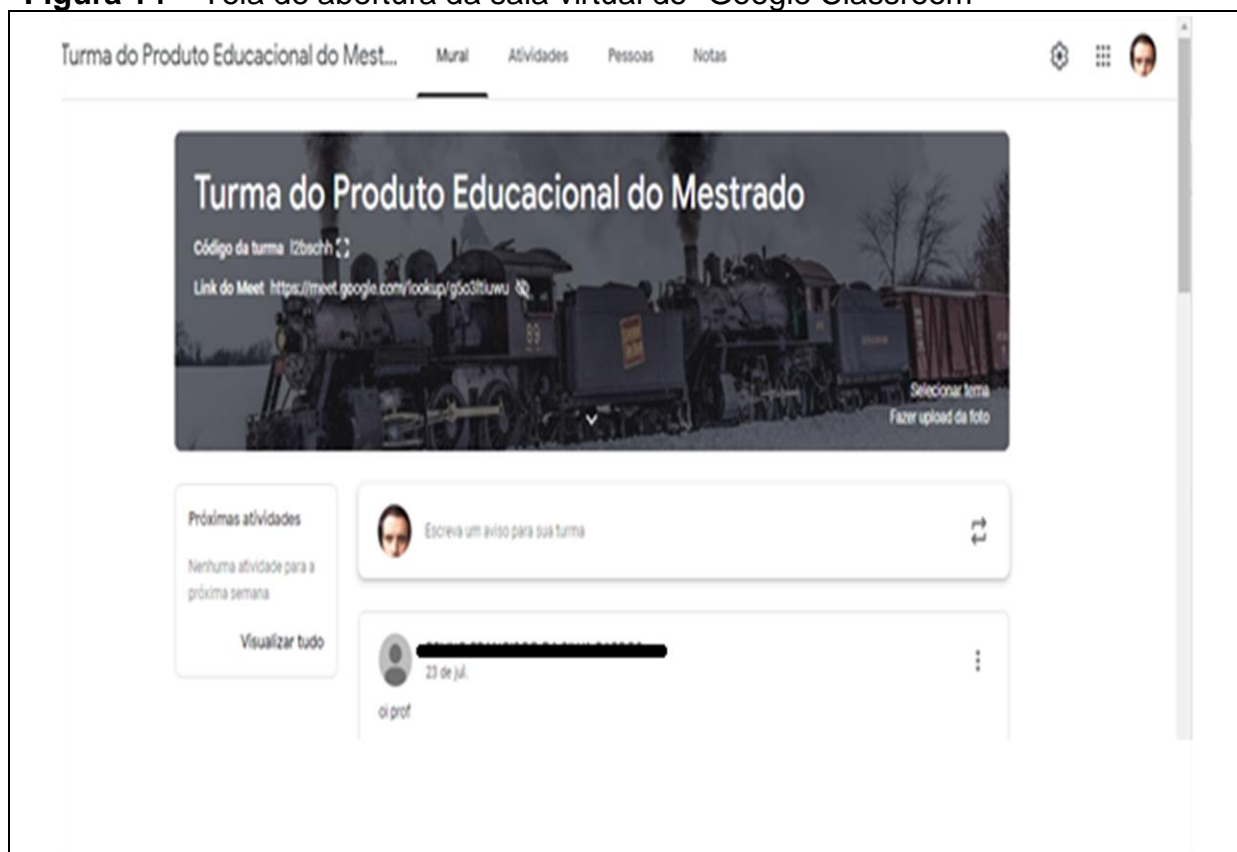
A justificativa toma como base o argumento de Bruner acerca do que fora mencionado no sexto parágrafo desse capítulo e no capítulo sobre os aspectos de sua teoria de ensino. O argumento diz que é possível simplificar qualquer ideia, problema ou conjunto de conhecimentos para que seja compreendido por qualquer estudante sob uma forma reconhecível. Ou seja, pode-se ensinar qualquer assunto para qualquer criança (indivíduo), desde que respeitados os modos de representação do conhecimento de cada um (BRUNER, 1973c, p. 51).

Com base nisso, foram considerados ainda alguns dos principais aspectos dessa teoria no decorrer da sequência didática adotada, tais como os seguintes: formas de representação do conhecimento, método da descoberta (já descrito), reforço, currículo em espiral (já descrito) e potência efetiva (BRUNER, 1973c).

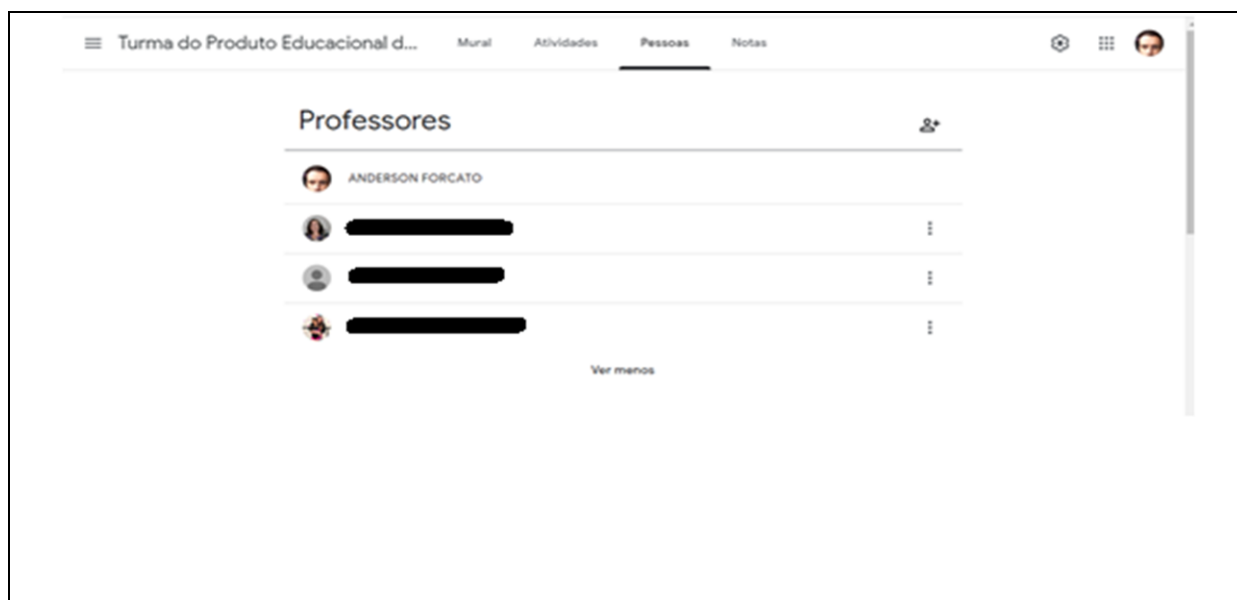
Em geral, ao aplicar o produto com as turmas de sétima série do ensino fundamental II, não é necessário o professor sempre utilizar o currículo em espiral. Ele pode usá-lo, no entanto, em momentos oportunos e conforme o desempenho de cada turma ao qual o conteúdo for ministrado.

A terceira explicação a destacar aqui é que as pedagogas foram convidadas voluntariamente para trazer credibilidade ao projeto e monitorar o grupo quanto ao comprometimento com a frequência e compromisso dos participantes em relação à realização das atividades propostas, já que ele foi realizado em período noturno (escolha compatível com a disponibilidade de horário de alguns participantes interessados), via “Google Meet”, ministrações por videoconferência, respeitando as normas de biossegurança necessárias no período em que foram promovidas as aulas (BRASIL, 2020, p. 1-2).

As figuras a seguir mostram, sem expor os nomes, a comprovação da participação de todos os colaboradores no estudo, corpo discente e docente, bem como a página principal da sala virtual criada com esta finalidade (figuras 14, 15, 16 e 17):

**Figura 14** – Tela de abertura da sala virtual do “Google Classroom”

Fonte: Autor.

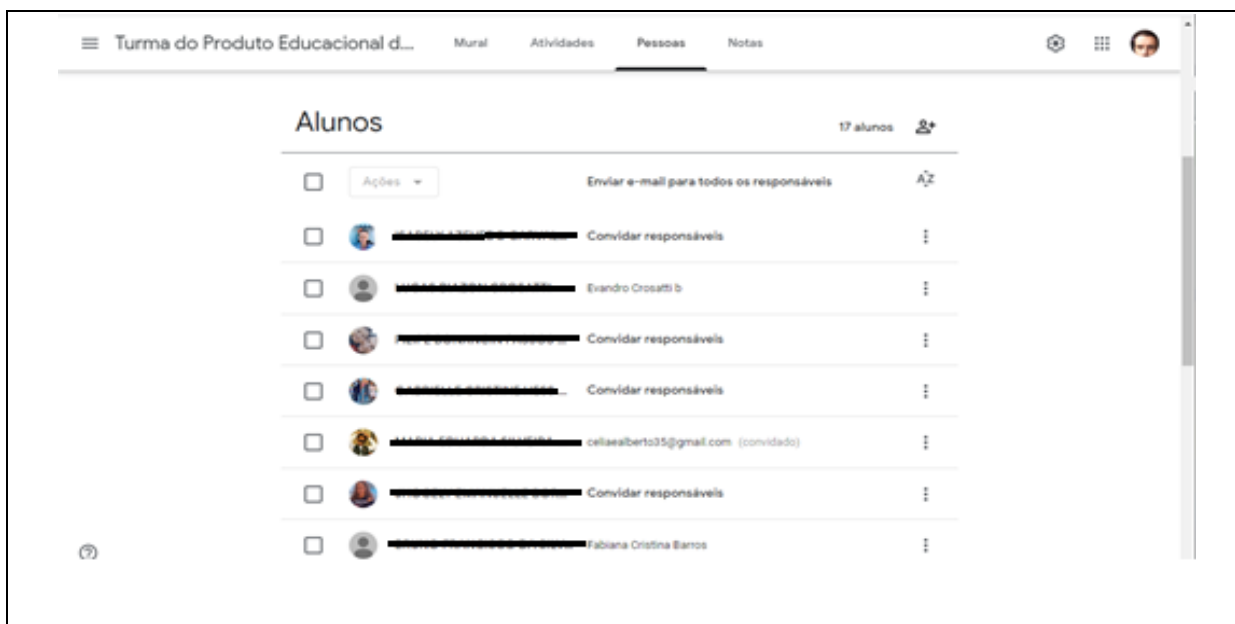
**Figura 15** – Corpo docente na sala virtual do “Google Classroom”

Fonte: Autor.

A figura 14 estampa a capa da referida sala no “Google Classroom”, e a outra figura, de número 15, representa a participação do professor da turma e das três pedagogas responsáveis pelos estudantes selecionados.

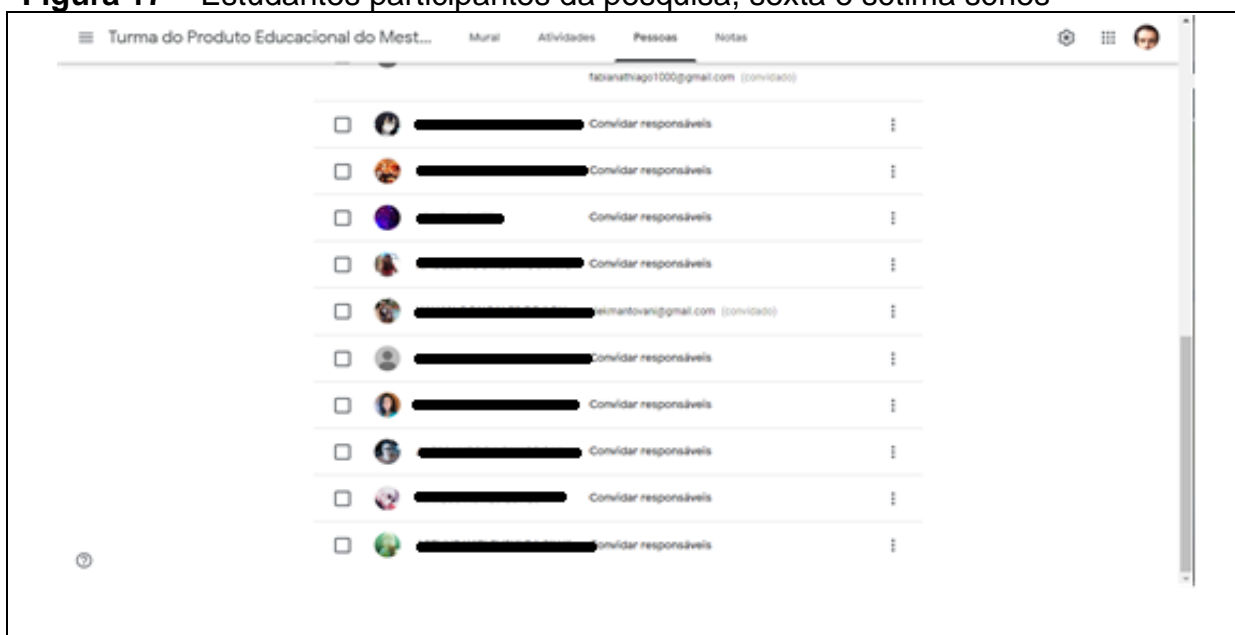
Já a figura 16 e a figura 17, logo abaixo, descrevem a equipe discente que colaborou com as análises evolutivas de aprendizagem no presente estudo.

**Figura 16** – Estudantes participantes da pesquisa, sexta série e sétima séries



Fonte: Autor.

**Figura 17** – Estudantes participantes da pesquisa, sexta e sétima séries



Fonte: Autor.



O produto educacional, portanto, foi desenvolvido com base em uma sequência de seis aulas, totalizando 400 minutos de aula.

Diante disso, quando o docente optar em ministrar o conteúdo por aulas remotas ou mesmo híbridas, poderá criar sua própria sala virtual na plataforma “Classroom”, como foi montado para esse trabalho. Isso facilita significativamente na hora de coletar os resultados de desempenho dos participantes, pela produção automática dos gráficos após as resoluções dos questionários.

Para facilitar um pouco mais como a sequência didática foi conduzida, o quadro a seguir descreve, em suma, o que foi trabalhado em cada aula do produto educacional vinculado (ver produto educacional para análise integral das aulas passo a passo e considerações acerca dos aspectos da Teoria de Ensino Prescritiva de Bruner):

**Quadro 3 – Resumo dos temas e formas de abordagem do assunto nas aulas**

Tema/Resumo	Simulação	Experimento	Abordagem	Questionário	Duração da aula
Aula 1: Breve abordagem histórica sobre a evolução das Máquinas, distinção entre calor, temperatura e conceituação sobre a Lei Zero	PhEt Colorado/Vascak.cz	Não	Influência das Máquinas sobre a Revolução Industrial e processos físicos	Conhecimentos prévios sobre energia, calor, temperatura, volume e pressão (teoria)	100 min
Aula 2: Princípio da conservação da energia e abordagem teórico/experimental sobre os tipos de transformações gasosas	PhEt Colorado/Vascak.cz	Transformações gasosas com materiais recicláveis (ler produto educacional vinculado)	Sistemas termodinâmicos diversos	Conservação da energia (teoria e cálculo: Primeira Lei da Termodinâmica) e transformações gasosas (teoria)	100 min
Aula 3: Funcionamento das Máquinas Térmicas a Vapor, motores a combustão externa, interna e Segunda Lei da Termodinâmica	Vascak.cz	Não	Funcionamento dos motores à combustão externa e interna (etapas)	Transformações gasosas e ciclos termodinâmicos (teoria)	50 min
Aula 4: Conceito de rendimento	Não	Trabalho mecânico:	Rendimento mecânico e	Segunda lei da	50 min

dos dispositivos térmicos, o Ciclo de Carnot e demonstração da relação entre a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica		papel espiral e mini máquina térmica de lata metálica reciclável (ler produto educacional vinculado)	Ciclo de Carnot	Termodinâmica Transformações gasosas	
Aula 5: Vantagens e desvantagens trazidas pelo uso das Máquinas Térmicas e tipos de combustíveis	Não	Não	Contraposição entre benefícios e malefícios trazidos pelo uso das Máquinas Térmicas ao longo da história	Não	50 min
Aula 6: Revisão geral de conteúdo	Não	Não	Revisão geral do conteúdo ministrado	Todo o conteúdo trabalhado durante a sequência didática (teoria e cálculo)	50 min

**Fonte:** Autor.

Enfatiza-se que o quadro acima traz apenas uma síntese em relação ao conteúdo referente a cada aula ministrada e sua abordagem por simulação ou aplicação experimental. Porém, não detalha a sequência didática em seu passo a passo e considerações acerca de alguns aspectos da Teoria de Ensino Prescritiva de Bruner.

Desse modo, a sequência dos conteúdos ensinados e a forma como é abordada nesse trabalho podem ser facilmente seguidos por qualquer docente que se interesse em aplicá-lo. Isso pode ser realizado em sala de aula ou mesmo em aulas remotas, como este foi executado, via Google Meet e seu aplicativo Google Forms, para obtenção dos resultados (dados) do aprendizado dos estudantes.

Para isso, o professor que se interesse em fazer uso desta metodologia precisa estar em posse do produto educacional vigente, pois ele detalha cada momento da sequência didática adotada, que, segundo Bruner (1973c, p. 56), pode ser de livre escolha por parte do educador.

Todavia, enfatiza-se aqui que o “carro chefe” desse material não é a sequência didática adotada (BRUNER, 1973c, p. 56), visto que ela não é exatamente

um diferencial, mas sim a Teoria de Ensino de Bruner (prescritiva), que, entre tantos aspectos, dá ênfase ao processo de economia na representação do conhecimento. Este prescreve possíveis e melhores formas para que o estudante aprenda com eficácia o assunto tratado pelo professor (sugestão de leitura do capítulo dos fundamentos dessa teoria de ensino na dissertação para obter uma compreensão adequada sobre o conceito de economia pontuada por Bruner).

Posteriormente à ministração das aulas e coleta de resultados evolutivos com os estudantes do ensino fundamental II, foi levantada uma pesquisa com professores da rede estadual de ensino e estudantes de um primeiro ano do ensino médio, também da rede pública, pertencentes a uma das escolas estaduais que colaboraram com a presente pesquisa.

As descrições sobre essa pesquisa, o modo como foi realizado e as justificativas para isso estão descritos no tópico subsequente, e os resultados obtidos são encontrados no capítulo seguinte ao tópico 4.2, abaixo.

#### 4.2 PESQUISA COM PROFESSORES DA REDE PÚBLICA DE ENSINO E ESTUDANTES DE UMA TURMA DO ENSINO MÉDIO

Existe, muitas vezes, uma má formação conceitual desenvolvida no pensamento de alguns estudantes acerca de algumas grandezas, leis e fenômenos da física. Esses equívocos podem estar muitas vezes relacionados à falta de preparo do profissional da educação na matéria de Ciências em ministrar os conteúdos pertinentes à disciplina de Física, que faz parte da sua ementa no ensino fundamental II.

Diante disso, uma pesquisa com estudantes do ensino médio (alguns conhecimentos prévios analisados) e professores da rede pública de ensino da região, pertencentes à Secretaria Estadual de Educação do Paraná (SEED) e que ministram aulas nessa etapa da educação básica, investigou sobre o exposto no parágrafo anterior.

Os questionários com as perguntas investigativas tanto para os professores quanto para os estudantes foram criados pelo próprio professor deste trabalho. Os “links” de ambos, para quem possui cadastro no “e-mail” do @escola, vinculado à Secretaria da Educação Estadual do Paraná (SEED), pode ser copiado em uma barra de busca na internet e acessado diretamente.

Os “links” para abertura dos referidos questionários no “Google Forms” encontram-se a seguir:

Pesquisa com os professores: <https://forms.gle/18Ts5j6ygCVKqtSx5>

Pesquisa com os estudantes: <https://forms.gle/TH2pa8C13Hp1WCncA>

Nessa investigação, ficou claro que a maioria dos professores que participaram dessa pesquisa, por esse questionário via Google Forms, descreveu que teve a disciplina de Física na grade curricular durante sua formação acadêmica, mas não foi suficiente para sua preparação em ministrar aulas sobre essa disciplina no ensino fundamental II em relação à ementa de ciências.

O formulário em questão foi encaminhado a um grupo de docentes de ciências criado no WhatsApp, com a finalidade de troca de informações entre os profissionais da área.

Em outras palavras, o questionário criado pelo próprio autor dessa pesquisa e aplicado para os professores da rede pública de ensino abordou e constatou a questão da insuficiência conceitual da maioria dos investigados em ministrar o conteúdo de Física na etapa do ensino fundamental II, na disciplina de Ciências, com base na grade curricular/disciplinar inserida no curso de graduação desses profissionais durante sua formação acadêmica.

Para agravar a situação relacionada à falta de preparo docente sobre uma formação conceitual básica a respeito dos conceitos associados aos conteúdos de Física, a outra pesquisa, também elaborada pelo autor desse estudo, foi feita com educandos do ensino médio. Uma das questões se referia à diferença entre calor e temperatura, sendo que uma considerável parcela dos investigados disse que calor e temperatura são a mesma grandeza. Além disso, um determinado número de estudantes pensava que sempre que um gás, por exemplo, recebe energia na forma de calor, é aquecido.

Notem que os argumentos aqui descritos não são meramente ao acaso ou por simples capricho, mas são dados de pesquisa que foram levantados durante esse trabalho e que são discutidos com mais detalhes no quinto capítulo da presente dissertação.

Diante disso, o objetivo da metodologia aplicada foi minimizar essa má formação conceitual com que muitos estudantes chegam ao ensino médio, a respeito

de inúmeros conteúdos da disciplina de Física. Esses, em muitos casos, ainda se formam nessa etapa da educação, acreditando estar certos sobre o que absorveram de informação, produzindo equívocos sobre as reais definições acerca dos fenômenos naturais que os cercam, que, por muitas vezes, são necessários para compreender situações problemas em seu cotidiano e tomar decisões adequadas para resolvê-las.

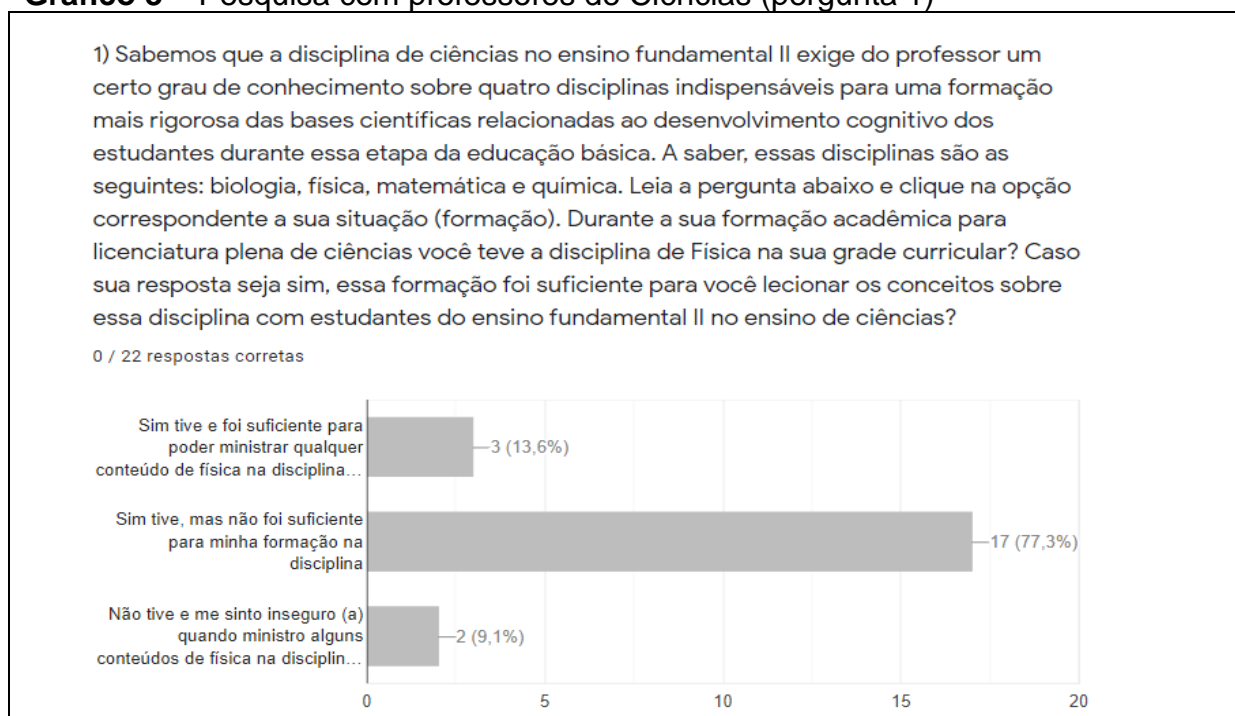
## CAPÍTULO 5

### APRESENTAÇÕES DOS DADOS, ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS E BREVE DISCUSSÃO SOBRE A FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Esse capítulo se inicia considerando uma situação relacionada a uma das principais justificativas desse trabalho (ver produto educacional vinculado). Uma parcela considerável dos docentes da disciplina de Ciências, ao menos da região norte do Paraná (Arapongas e Apucarana), não tem, na atualidade, um preparo adequado para lecionar os conteúdos de Física nas séries iniciais do ensino fundamental II.

Esse argumento pode ser comprovado a seguir, observando dados de resultados da pesquisa realizada com os professores da rede pública de ensino, como mencionado no capítulo anterior:

**Gráfico 3 – Pesquisa com professores de Ciências (pergunta 1)**



Fonte: Autor.

Dos 22 professores de Ciências que participaram da pesquisa, apenas 13,6% disseram ter tido contato suficiente com a matéria de Física durante o curso de licenciatura, contra 77,3%, que relataram ter sido insuficiente para sua formação e preparo para dar aulas sobre os conteúdos dessa área.

Além disso, dois (9,1%) dos que participaram da pesquisa, além de não terem a disciplina de Física em sua grade curricular durante a graduação (formação), também não têm segurança em abordar temas pertinentes a essa disciplina.

Esses são dados preocupantes, porque, como já se presumia por experiência cotidiana e defasagem conceitual observada nos estudantes, quando muitos ingressam no ensino médio, muitas vezes e não raramente, chegam com definições distorcidas, confusas, ou nada sabem a respeito daquilo que foi abordado no ensino fundamental acerca de conteúdos da Física.

Mais grave ainda acontece quando os educandos se formam nessa última etapa de ensino e continuam com uma má formação conceitual sobre muitos assuntos fundamentais relacionados a essa disciplina.

O quadro a seguir, pois, é resultado da pesquisa sobre a formação profissional dos docentes que ministram a Física na disciplina de Ciências:

**Quadro 4 – Formação profissional básica dos docentes entrevistados**

Professor	Tipo de Graduação (licenciatura plena)	Com especialização	Sem especialização
A	Ciências Biológicas	Sim	---
B	Matemática	Sim	---
C	Ciências Biológicas	Sim	---
D	Ciências (curta) Biologia (plena)	Sim	---
E	Ciências Biológicas	Sim	---
F	Ciências Biológicas	Sim	---
G	Ciências Biológicas	Sim	---
H	Ciências Biológicas	Sim	---
I	Biologia e Matemática	Sim	---
J	Ciências Biológicas	Sim	---
K	Ciências Biológicas	Sim	---
L	Ciências Biológicas	Sim	---
M	Ciências Biológicas	Sim	---
N	Ciências Biológicas	Sim	---
O	Ciências Biológicas	Sim	---
P	Ciências	Sim	---
Q	Ciências Biológicas	Sim	---
R	Ciências Biológicas	Sim	---
S	Ciências Biológicas	Sim	---
T	Ciências Biológicas	Sim	---
U	Ciências Biológicas e Química	Sim	---
V	Ciências Biológicas	Sim	---

Fonte: Autor.

Conforme os dados do questionário são cuidadosamente analisados, talvez seja necessário rever a ementa disciplinar dos cursos de graduação em Ciências Biológicas para a formação de professores dessa área de conhecimento.

Isso porque, com a nova organização dos conteúdos de ciências inseridas nos livros didáticos de ensino (PARANÁ, 2020a), os conteúdos de Física, na atualidade, exigem um grau de compreensão maior por parte do professor para ministrar aulas sobre essa área de conhecimento.

Para comprovar esse argumento, basta tomar como referência um dos livros adotados nessa pesquisa como fonte literária norteadora (CARNEVALLE, 2018a).

Ademais, essa discussão sobre a formação de professores é superficialmente debatida no tópico seguinte.

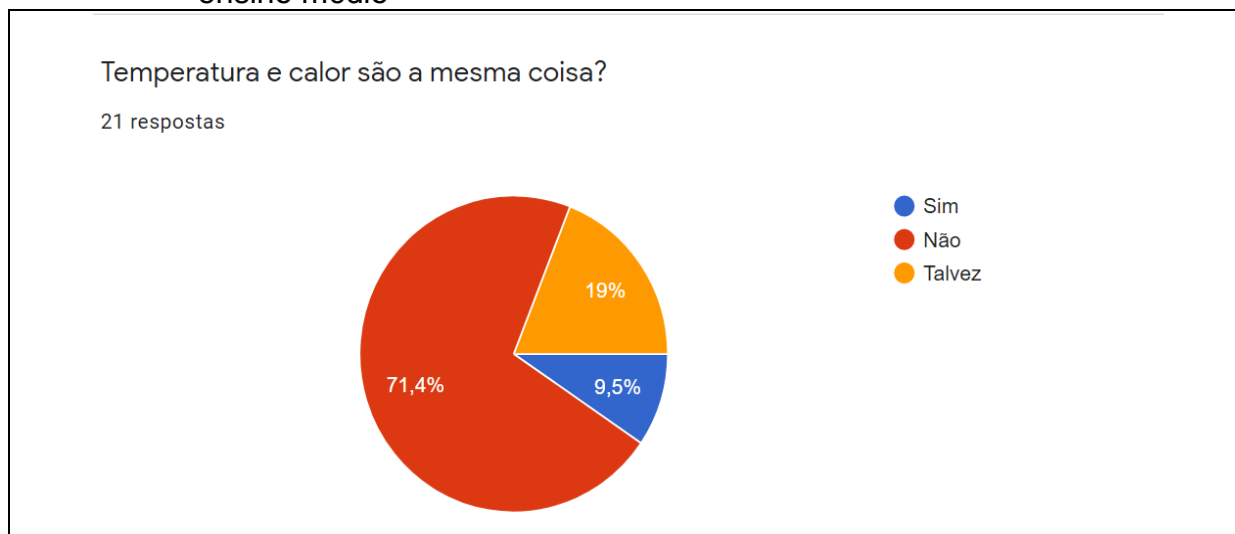
## 5.1 FORMAÇÃO DE PROFESSORES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL II: ENFOQUE SOBRE OS CONTEÚDOS DE FÍSICA NESSA ETAPA DE ENSINO

Segundo Melo *et al.* (2015, p. 242), a quantidade de docentes formados na disciplina de Física é relativamente baixa quando comparada à formação profissional relacionada a outras disciplinas, tais como Biologia, Química e Matemática. Isso acarreta um primeiro contato dos estudantes com o conteúdo de Física por licenciados em áreas distintas a esta.

Os autores pontuam que é bastante comum verificar profissionais dessas diversas outras áreas do conhecimento ministrando Física no ensino fundamental II. Enfatizam ainda que, por serem de uma área diferente, muitas vezes pode ocorrer uma desmotivação desses professores em ensinar os conteúdos como deveriam e, naturalmente, podem acabar priorizando sua disciplina sobre os conceitos próprios por trás dos fenômenos físicos de cada conteúdo (MELO *et al.*, 2015, p. 242).

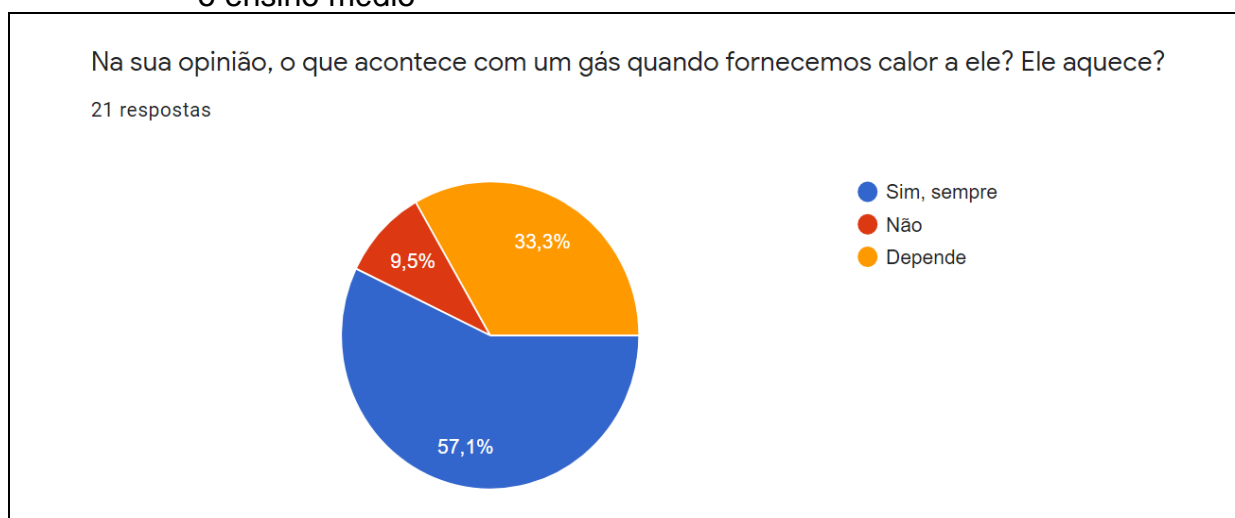
Para reforçar a preocupação sobre esse contexto, outra pesquisa foi feita com estudantes do ensino médio acerca de alguns conceitos relacionados ao tema abordado nesse trabalho, tais como o conceito de calor, temperatura e um sistema termodinâmico. Os resultados podem ser observados a seguir:

**Gráfico 4** – Questão investigativa sobre a diferença entre temperatura e calor com ensino médio



Fonte: Autor.

**Gráfico 5** – Questão investigativa com base na Primeira Lei da Termodinâmica com o ensino médio



Fonte: Autor.

É interessante ressaltar que essa mesma pergunta foi feita para os estudantes de sexta e sétima séries do ensino fundamental II, no questionário de conhecimentos prévios e, estranhamente, se saíram melhor nas respostas do que os entrevistados dessa turma de nível médio.

Pode ser que seja apenas um palpite, ou um certo grau de desconfiança dos educandos mais novos (séries iniciais) sobre uma identificação de obviedade nessa pergunta. Pode ser, ainda, que seus subsunçores estavam mais bem desenvolvidos do que os subsunçores (AUSUBEL, 2003) dos estudantes de mais idade (ensino médio).

Esses resultados, entretanto, serão descritos logo adiante neste capítulo, por dados percentuais comparativos entre ambas as séries.

No entanto, tais resultados podem ser fundamentais para agilizar o aprendizado do grupo de estudantes envolvidos na pesquisa, pois é mais fácil construir um certo conceito a partir de um parcialmente correto do que destruir um erroneamente construído para depois reconstruí-lo.

Essas duas questões descritas foram baseadas na definição da Primeira Lei da Termodinâmica, que é um dos pilares para a compreensão do funcionamento das máquinas térmicas.

Mostrou-se, portanto, que alguns educandos chegaram ao ensino médio com uma má formação conceitual a esse respeito, porque, segundo a Primeira Lei da Termodinâmica, nem sempre que um gás recebe energia térmica ele aquece (balanço de energia), caso este, do ponto de fusão do gelo, por exemplo.

Segundo Albernaz *et al.* (2002, p. 455), o desempenho escolar do estudante é influenciado por três fatores pontuados nos seus resultados de pesquisa.

O primeiro trata das variações no desempenho de educandos de diferentes instituições de ensino, que se dão por influência de fatores relacionados à vida socioeconômica deles.

O segundo trata das desigualdades quantitativas e qualitativas quanto aos produtos básicos, como materiais didáticos e alimentos, entre outros de uso e consumo entre as escolas, que também implica relevante diferença de desempenho. Esse segundo resultado é reforçado pelos autores, ao relatarem que, em um comparativo entre diversos países, a qualidade de formação docente e a infraestrutura física escolar é também fator influente no rendimento de cada instituição.

O terceiro descreve que o desempenho do rendimento em escolas privadas está acima do desempenho das escolas públicas, mesmo amenizando os fatores mencionados nos dois primeiros dados dessa análise (socioeconômicos e referentes a insumos, infraestrutura e profissionais mais capacitados).

Na prática cotidiana, como profissional da educação, muitos desses problemas foram e ainda são notados pelo autor desse trabalho (dissertação). É justamente por isso que foi despertado um incômodo em tentar realizar uma proposta de estudo para ao menos minimizar esse problema de má formação conceitual e promover um ensino de Física de melhor qualidade para turmas de ensino fundamental II e ensino médio.

Como se sabe, a metodologia escolhida foi aquela que se acreditou ser funcional para promover esse processo de ensino-aprendizagem e obter resultados satisfatórios.

Esses dados de resultados encontram-se descritos no tópico a seguir, de maneira bastante detalhada e de fácil entendimento quando feitas as leituras dos resultados gráficos e dos quadros de resultados individuais referentes.

## 5.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE RESULTADOS EVOLUTIVOS DOS ESTUDANTES

Nesse tópico, são apresentados os dados dos resultados dos estudantes obtidos acerca do conteúdo Leis da Termodinâmica e suas grandezas físicas envolvidas no processo de funcionamento das máquinas térmicas, em especial, das máquinas a vapor.

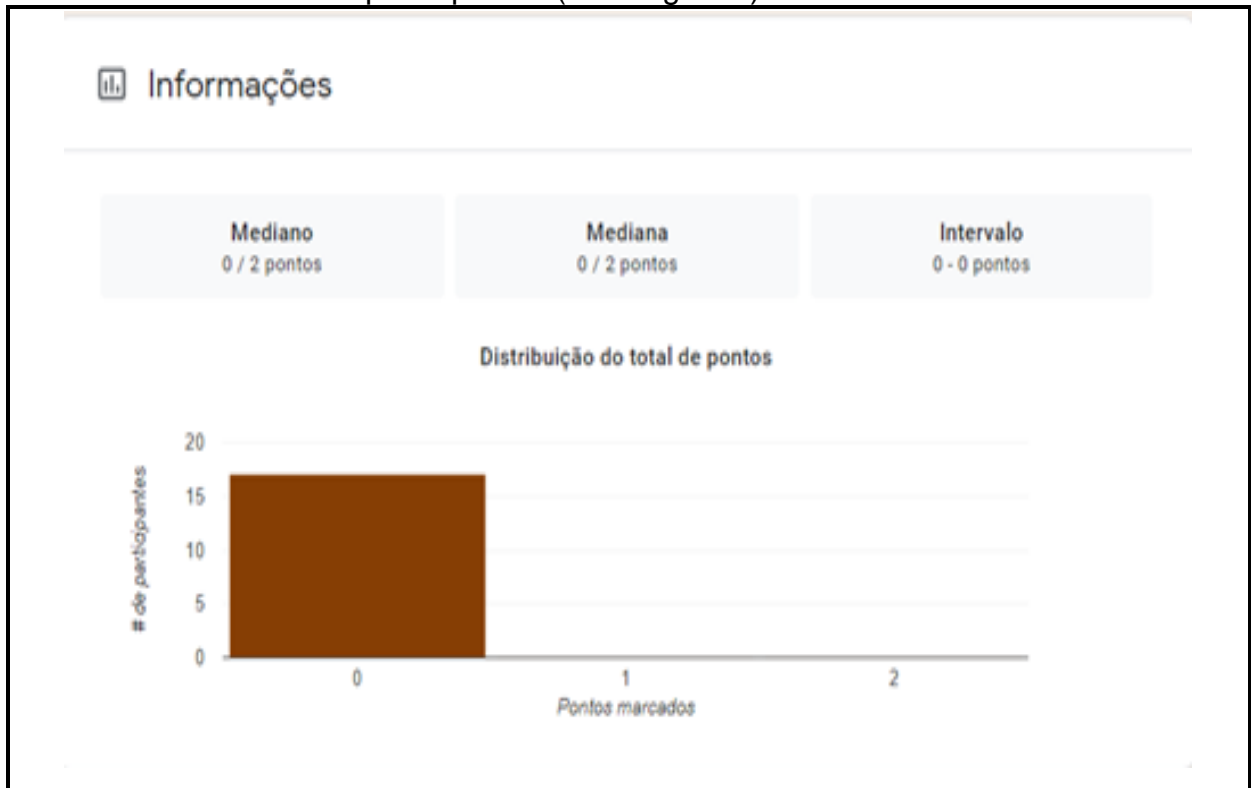
Apesar de ter sido realizado com estudantes de sexta e sétima séries do ensino fundamental II, o mesmo produto pertencente a essa pesquisa (bifuncional) pode também ser aplicado a grupos de ensino médio na disciplina de Física, como mencionado, respeitando o método do currículo em espiral.

Após o exposto, a coleta de resultados se iniciou por meio da aplicação de um questionário de conhecimentos prévios a respeito das principais grandezas físicas envolvidas em sistemas termodinâmicos, por exemplo, e que são ilustrados pelas imagens descritas logo após o gráfico (figuras 20, 21 e 22).

Sobre as grandezas temperatura e pressão, não foi especificado (exigido) nas perguntas a definição macroscópica ou microscópica sobre seus conceitos, mas sim, uma definição conforme as experiências vividas. Nessa faixa de idade, principalmente, os educandos podem nem mesmo saber as reais definições acerca dessas grandezas, e deve ser lembrado que testes de conhecimentos prévios têm como objetivo conduzir às respostas de acordo com o conhecimento de mundo do sujeito.

### 5.2.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS SOBRE OS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

**Gráfico 6 – Número de participantes (dados gerais)**



Fonte: Autor.

Os gráficos pertencentes a esse questionário de conhecimentos prévios não descrevem dados percentuais de erros e acertos, mas apenas fazem uma demonstração das respostas dos participantes segundo os conceitos adquiridos por eles em sua compreensão de mundo, como demonstram os resultados nas figuras logo a seguir:

**Figura 20 – Conceito de energia e tipos de energia (conhecimentos prévios)**

Perguntas Respostas 17 Total de

1. O que é Energia? Quais os tipos de energia que você conhece?

17 respostas

Energia solar

Não há uma definição exata para energia, mas podemos dizer que ela está relacionada à capacidade de produção de ação ou movimento e manifesta-se de muitas formas diferentes, como movimento de corpos, calor, eletricidade etc.

Energia elétrica  
Energia mecânica  
Energia térmica.

Não sei dizer o que é energia mais os tipos são hidrelétrica, solar e eólica

Energia elétrica e energia solar

energia é uma coisa que faz a luz acender faz celulares carregarem e etc.  
eu conheço a eólica, solar, nuclear.

Quando corpo se movimenta, cria energia.  
Elétrica, calor, e movimento do corpo

Fonte: Autor.

**Figura 21 – Outras respostas sobre o conceito de energia e tipos de energia (conhecimentos prévios)**

Perguntas Respostas 17 Total de

1. O que é Energia? Quais os tipos de energia que você conhece?

17 respostas

ENERGIA , É UMA FORÇA QUE SURGE DE LUGARES AONDE TEM UMA GRANDE FORÇA EM MOVIMENTO COMO OS LUGARES HIBRIDOS , QUE PEGAM A ÁGUA PARA FAZER A ELETRICIDADE . A ENERGIA DO NOSSO CORPO , A ENEGIA ELÉTRICA E A ENERGIA HIBRIDA .

R= Energia é uma fonte de eletricidade sustentável diferente da maneira dele ser armazenavam, que é transportada para casas de famílias.  
Quais os tipos de energia que você conhece R=Energia solar, hidrelétrica e Eólica.

energia e uma coisa que faz com que outras coisas eletrônicas funcionam e eu conheço a eólica, solar e a que é causada pela água que eu não sei o nome e a hidroeletrica

Energia luna, Energia solar, Energia do nar

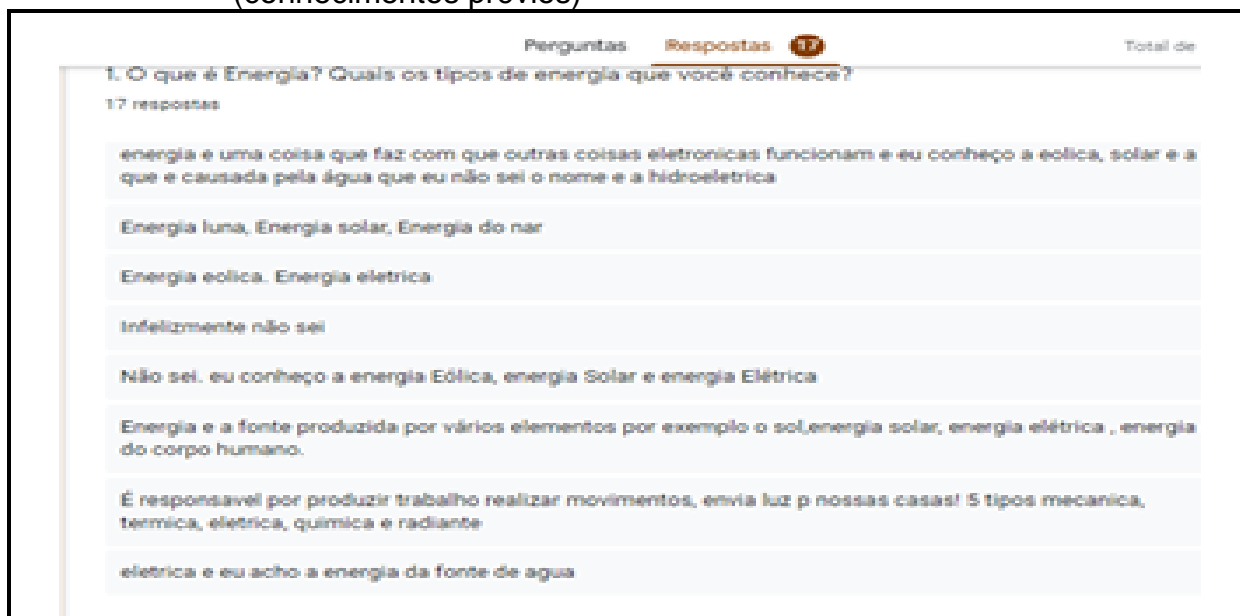
Energia eólica. Energia elétrica

Infelizmente não sei

Não sei. eu conheço a energia Eólica, energia Solar e energia Elétrica

Fonte: Autor.

**Figura 22** – Últimas respostas sobre o conceito de energia e tipos de energia (conhecimentos prévios)

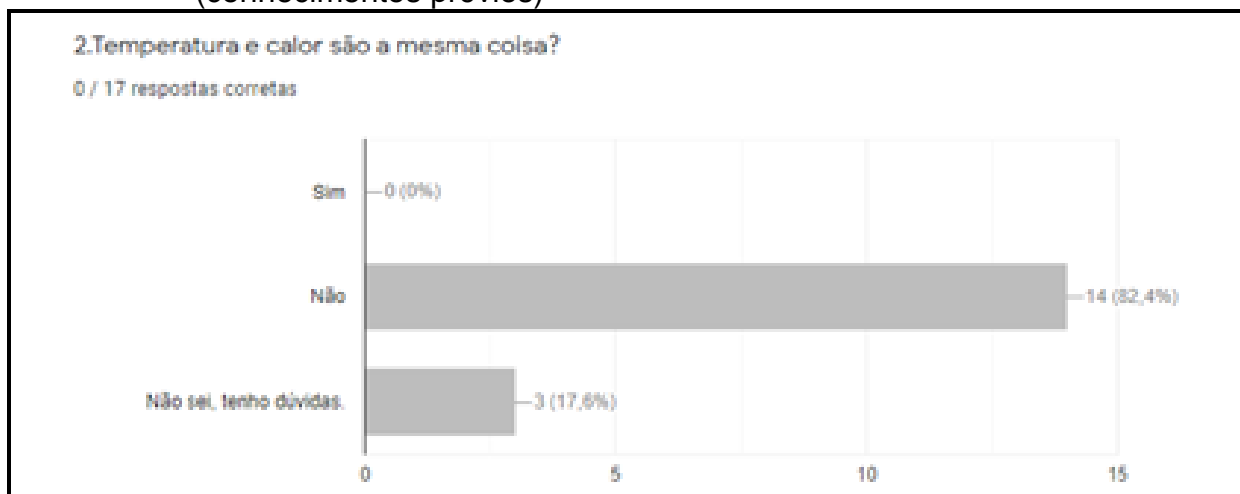


Fonte: Autor.

Em geral, ao analisar as respostas acima, o grupo demonstrou ter bom conhecimento prévio acerca da definição de energia. Isso porque, embora um ou outro participante desconhecia tal conceito, a maioria respondeu sobre os tipos de energia existentes. Houve, ainda, resposta mais técnica, como uma das últimas da imagem acima (“é responsável por produzir trabalho, movimentos”).

Em seguida, serão demonstradas as respostas da segunda pergunta, e, após o gráfico (gráfico 8), será encontrada outra breve análise sobre os dados obtidos.

**Gráfico 7** – Dados das respostas sobre a comparação entre calor e temperatura (conhecimentos prévios)

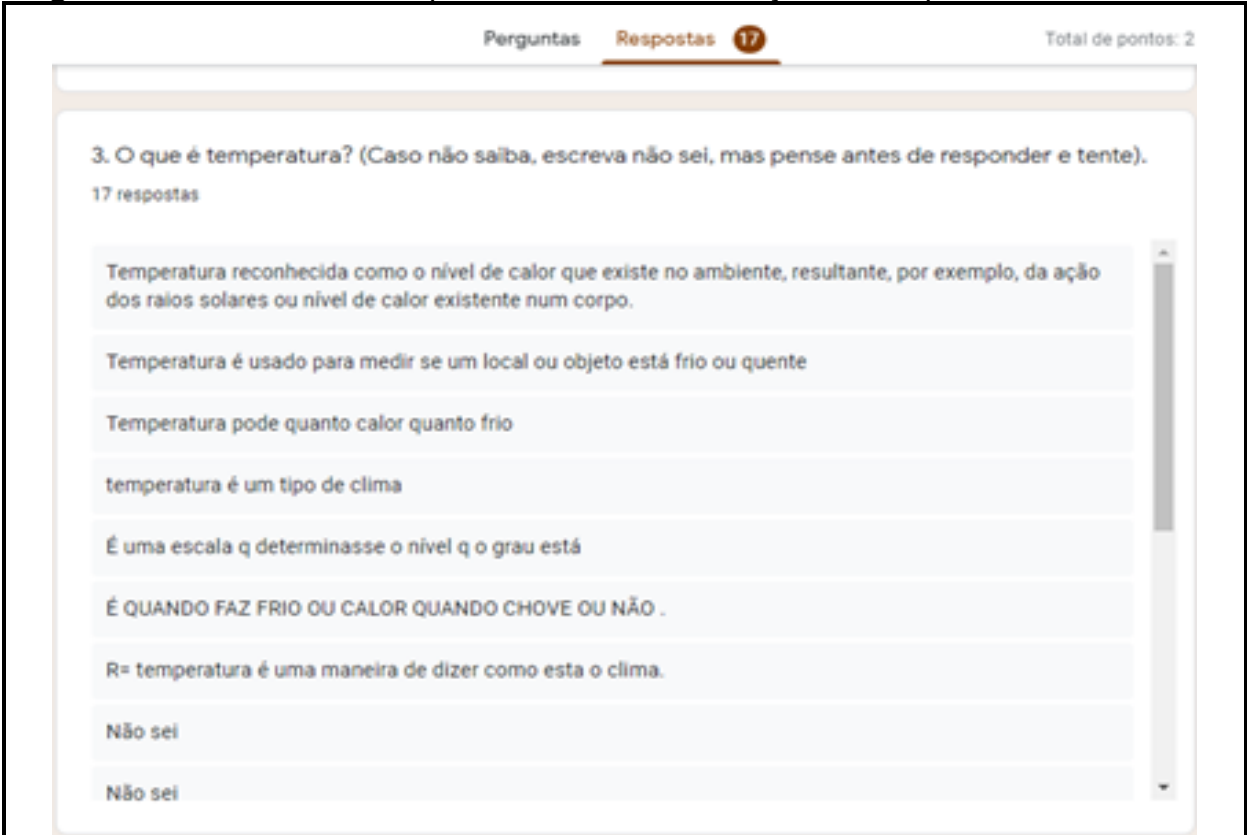


Fonte: Autor.

Conforme as respostas obtidas no questionário sobre as grandezas calor e temperatura, pode-se concluir que essas foram um bom ponto de partida para trabalhar o conceito sobre tais definições e suas influências em processos termodinâmicos, que são explicados posteriormente de acordo com a sequência didática.

Seguindo, abaixo encontram-se as imagens da terceira questão e no final uma nova síntese das respostas obtidas nela.

**Figura 23** – Conhecimentos prévios acerca da definição de temperatura

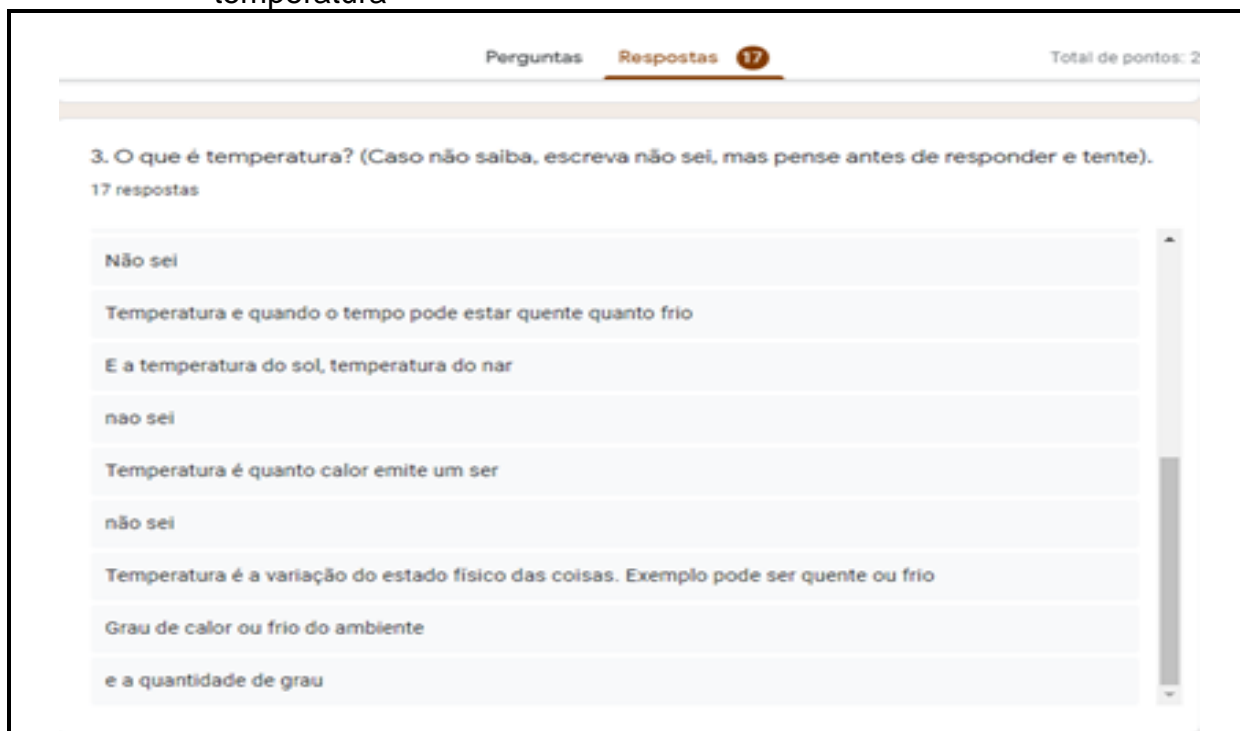


The image shows a screenshot of a quiz interface. At the top, there are two tabs: 'Perguntas' and 'Respostas' (17). To the right, it says 'Total de pontos: 2'. The question is: '3. O que é temperatura? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).' Below the question, it says '17 respostas'. The responses are listed in a scrollable area:

- Temperatura reconhecida como o nível de calor que existe no ambiente, resultante, por exemplo, da ação dos raios solares ou nível de calor existente num corpo.
- Temperatura é usado para medir se um local ou objeto está frio ou quente
- Temperatura pode quanto calor quanto frio
- temperatura é um tipo de clima
- É uma escala q determinasse o nível q o grau está
- É QUANDO FAZ FRIO OU CALOR QUANDO CHOVE OU NÃO .
- R= temperatura é uma maneira de dizer como esta o clima.
- Não sei
- Não sei

Fonte: Autor.

**Figura 24** – Outras respostas sobre conhecimentos prévios acerca da definição de temperatura



**Fonte:** Autor.

Basta ler as respostas dos estudantes para notar que o conceito prévio acerca da temperatura, em geral, é que ela é um estado de quente ou frio. Porém, alguns deles associaram, não raramente, essa grandeza com o calor e o clima.

A partir de então, poder-se-á analisar as respostas da questão quatro, logo após as observações feitas em ambas as imagens a seguir. Nela, é abordado o conceito de calor, tão indispensável para a compreensão acerca do funcionamento das máquinas térmicas, em geral, assim como é o conceito de temperatura até então investigado nesse questionário e outras grandezas físicas relacionadas:

**Figura 25** – Conhecimentos prévios sobre o conceito de calor

Perguntas Respostas 17 Total de pontos: 17

4. O que é calor? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).  
17 respostas

- O calor é a energia térmica que passa de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura. Quando não há diferença de temperatura entre dois corpos, não existe calor.
- Calor é quando um local esta quente
- É algo muito quente ,quando chega na nossa pele suamos
- calor é uma coisa que aquece conforme o fogo ou o sol.
- A temperatura eleva
- É QUANDO O DIA OU A NOITE ESTÁ QUENTE .
- R= Calor é uma sensação de estar quente com grau alto de temperatura , dependendo do que se trata.
- Quando fica muito quente e chama do de calor
- Não sei

Fonte: Autor.

**Figura 26** – Outras respostas acerca de conhecimentos prévios sobre o conceito de calor

Perguntas Respostas 17 Total de pontos: 2

4. O que é calor? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).  
17 respostas

- Não sei
- Calor e uma temperatura quente
- O calor de serdas coisas
- calor e a temperatura do lugar
- Calor é transmitido pelo sol mas do que é feito eu nao sei
- Calor é uma sensação térmica que sentimos
- Calor e a junção de dois corpos que se atraem
- Uma temperatura quentequantida
- um tempo quente que te faz suar e etc

Fonte: Autor.

Claramente, alguns participantes associaram a grandeza calor com a grandeza temperatura. Porém, não souberam defini-la com precisão, o que era de se esperar.

Como exceção, uma das participantes pesquisou o conceito de calor na “internet” e, ao conversar com ela, a mesma se desculpou e prometeu que não repetiria mais o ocorrido, pois achava que iria ser prejudicada em sua nota trimestral.

No entanto, tinha sido realizado uma reunião com o grupo, exigindo o compromisso dos estudantes. As três pedagogas também participaram dessa reunião.

Apesar de ter acontecido esse pequeno problema, foi um caso isolado. A partir de então, o estudo seguiu dentro do que se esperava, sem mais problemas dessa natureza, como poderá ser observado no decorrer das descrições dos resultados subsequentes.

A próxima imagem é um demonstrativo de respostas relacionadas aos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a definição de volume.

**Figura 27 – Conhecimentos prévios acerca do conceito de volume**

<p>5. O que é volume? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente). *</p> <p>volume é uma altura que você pode definir para um som</p>	<p>5. O que é volume? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente). *</p> <p>R= Volume é uma quantidade de massa dentro de um objeto por Ex.</p>
<p>5. O que é volume? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente). *</p> <p>ondas sonicas</p>	<p>5. O que é volume? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente). *</p> <p>por exemplo quando a agua do mar esta aumentando ela esta aumentando o volume dela igual a pressao</p>

**Fonte:** Autor.

Por essa prévia de respostas obtidas sobre o conceito de volume, podem ser citados desde aqueles que disseram não saber sua definição até algumas definições curiosas, como se observa na figura 27, acima.

As demais respostas na íntegra podem ser analisadas por meio do “link” a seguir:

<https://forms.gle/eTTLUEgwDNLFAroQ9>

Porém, o acesso é permitido apenas para os professores da rede estadual de ensino que se encontram cadastrados pelo “e-mail” @escola, vinculado à Secretaria Estadual de Educação do Paraná e da plataforma Google.

Semelhantemente às respostas sobre o conceito de volume, com o conceito de pressão tivemos desde uma resposta simples (“não sei”) até algumas que foram consideradas interessantes. A seguir, encontram-se algumas delas:

**Figura 28 – Conhecimentos prévios sobre pressão**

6. O que é pressão? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).*	6. O que é pressão? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).*
Pressão é algo que faz muita força e acaba virando a pressão	pressão é uma coisa que você tem que pressionar ou apertar.
6. O que é pressão? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).*	6. O que é pressão? (Caso não saiba, escreva não sei, mas pense antes de responder e tente).*
É uma força	PRESSÃO , É QUANDO ALGO FICA MUITO QUENTE E ACABA SAINDO UM GÁS.

Fonte: Autor.

Por fim, a questão abaixo é aquela mesma realizada com estudantes do ensino médio e do ensino fundamental II, em relação aos princípios da Primeira Lei da Termodinâmica, mencionada no tópico 4.1 deste capítulo.

**Gráfico 8 – Questão investigativa com base na Primeira Lei da Termodinâmica para o ensino fundamental II**

Fonte: Autor.

Como mencionado, é interessante o percentual de respostas dos estudantes do ensino fundamental II. Quando comparado com as respostas dos educandos do ensino médio (uma turma de primeiro ano), nesta última, 57,1% responderam que sim (sempre que um gás recebe energia na forma de calor, ele é aquecido), contra apenas 23,5% daqueles (ensino fundamental II), que deram a mesma resposta. Em outras palavras, os estudantes investigados do ensino médio, ao menos por ora, demonstraram desconhecimento conceitual acerca da Primeira Lei da Termodinâmica em relação aos estudantes do ensino fundamental II.

A partir de então são feitas observações quantitativas dos questionários avaliativos que foram aplicados no decorrer das aulas. Elas seguem a seguinte

sequência de análise na descrição desse trabalho: apresentação de resultados de dados gerais obtidos (resultado gráfico); análise dos resultados por questões de cada questionário, dados gerais; questões erradas com frequência no questionário (quando houver); por fim, apresentação de resultados individuais obtidos em cada questão.

Portanto, para melhor compreensão dessa análise individual, é feita a seguinte simbologia para facilitar e agilizar o processo:

**Quadro 5** – Símbolos utilizados nos quadros analíticos sobre o desempenho individual dos participantes no presente trabalho

Acertos	Erros
▲	▼

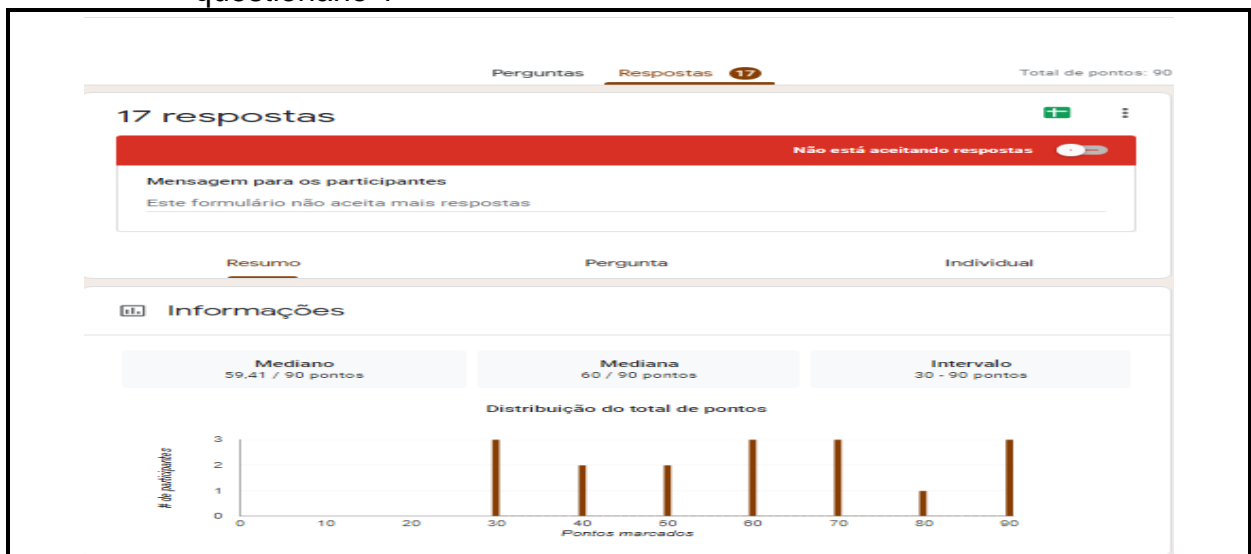
Fonte: Autor.

Assim, a partir dos próximos parágrafos, o leitor encontrará todos esses resultados mencionados.

### 5.2.2 Apresentação de resultado de dados gerais obtidos: questionário 1

O gráfico abaixo, que representa dados gerais do número de participantes e pontuação, entre outros indicativos, é relevante para a compreensão em análises posteriores de cada questão e para comparar, caso haja necessidade, com os resultados individuais que serão pontuados ao final de cada formulário aplicado.

**Gráfico 9** – Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 1



Fonte: Autor.

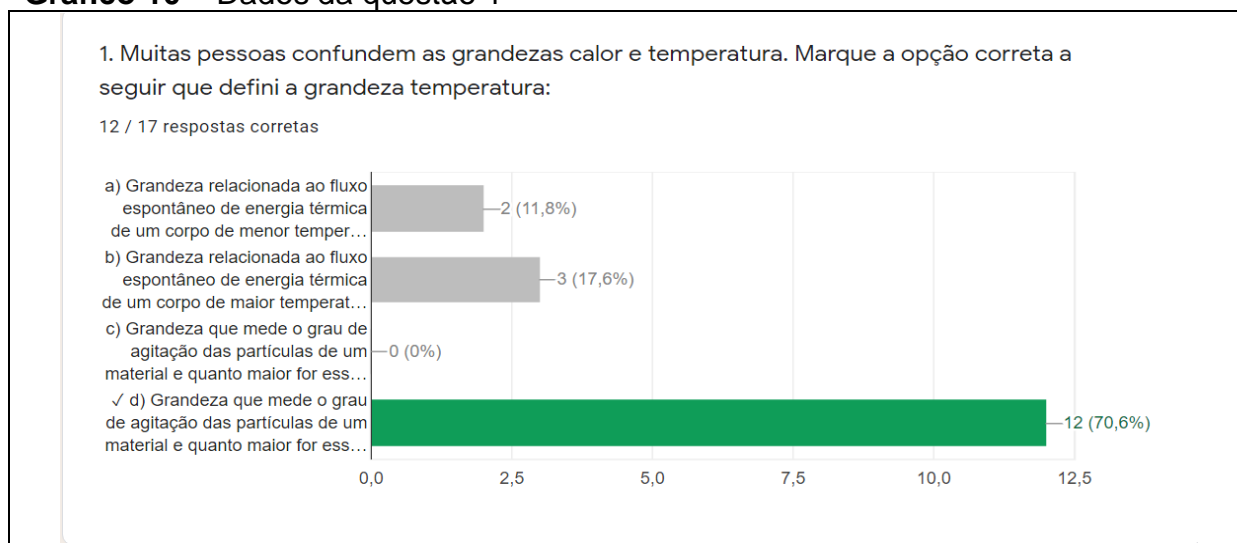
Como observado no gráfico acima, para um primeiro momento, considerou-se como positivo os resultados obtidos. Como se sabe, conteúdos relacionados à Termologia (em especial as definições de calor, temperatura e outras grandezas físicas relacionadas, tais como variação da energia interna de um gás ideal, pressão, volume e o conceito geral de energia) são considerados por muitos estudantes um tema complexo para assimilar. De acordo com a ilustração gráfica dos dados gerais, foi atingida a mediana seis de nove pontos limite entre os 17 participantes.

A partir de então, essa será a sequência de análise padrão, mencionada no tópico anterior, para facilitar as observações, de maneira que se perceba a evolução de conhecimentos atingida até o momento da avaliação final, quando for comparado os dados finais com os dados iniciais.

### 5.2.3 Análise dos Resultados das Questões do Questionário 1: dados gerais

Como mencionado, após uma observação geral de pontuação por meio das descrições do gráfico anterior, logo em seguida serão demonstrados os resultados obtidos em cada questão aplicada para os estudantes no primeiro formulário, após a investigação por conhecimentos prévios e a ministração da primeira aula da sequência didática montada para compor o presente produto educacional vinculado.

#### Gráfico 10 – Dados da questão 1



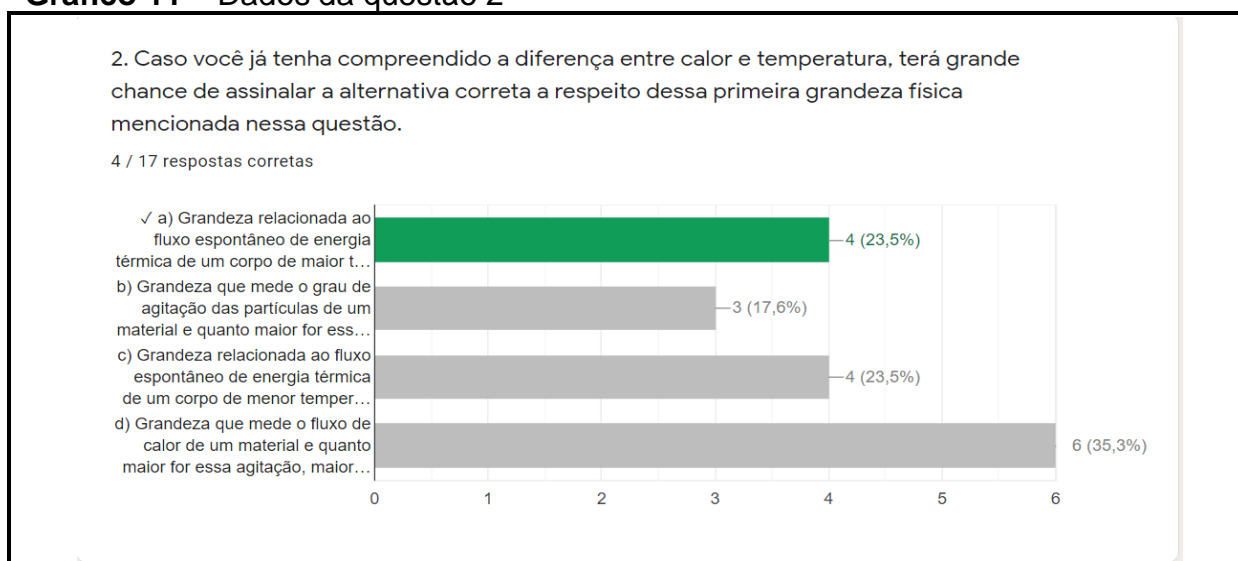
Fonte: Autor.

Em síntese, pode-se dizer que houve um resultado positivo para essa questão, pois 70,6% dos participantes acertaram. Ou seja, um total de 12 acertos contra apenas cinco assinaladas erradas, 29,4%.

Além disso, os estudantes ainda estão iniciando sua formação sobre o conceito de temperatura, que muitas vezes é confundido com o conceito de calor.

Para a questão dois, analisamos o seguinte:

**Gráfico 11 – Dados da questão 2**



Fonte: Autor.

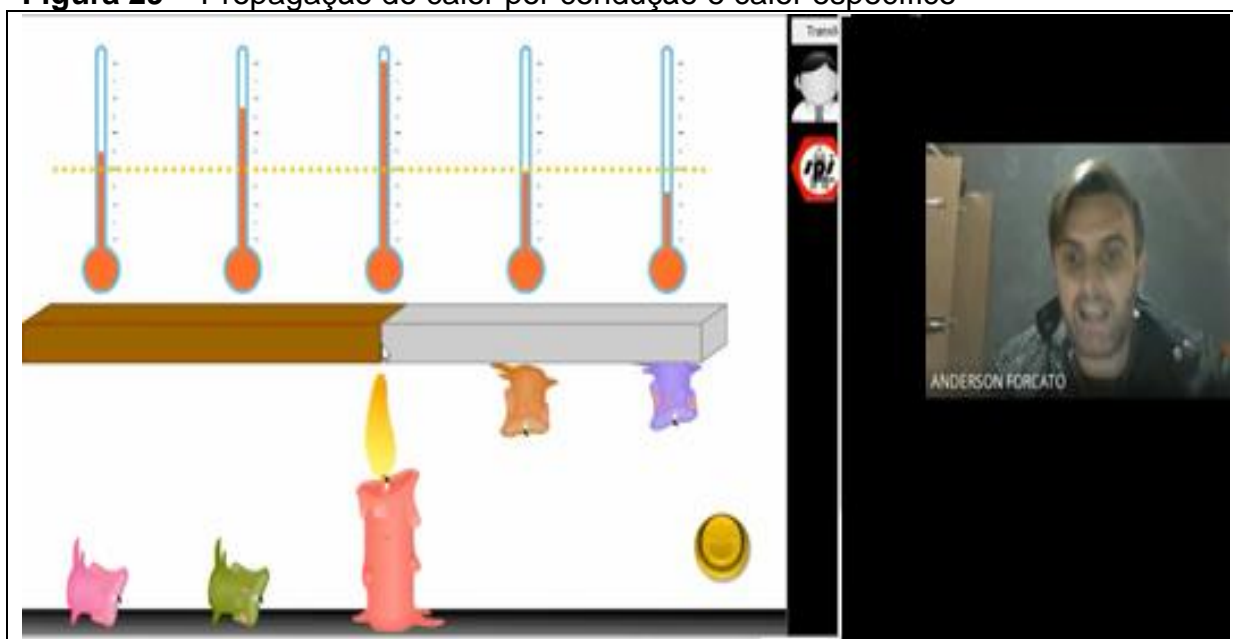
Mesmo os que acertaram a primeira questão sobre a definição microscópica de temperatura (grau de agitação das partículas) equivocaram-se ao identificar corretamente a alternativa sobre a definição do calor.

Os resultados percentuais demonstram essa afirmativa, pois apenas 23,4%, total de 4 participantes dos 17, assinalaram corretamente; 17,6%, três estudantes, assinalaram a questão b; outros 23,5 %, quatro estudantes, a questão c; e a maior parte deles, 35,3%, seis participantes, assinalaram a questão d.

Durante a aplicação do produto educacional, no entanto, foi trabalhado uma situação clara sobre esse fluxo de energia térmica de forma espontânea (propagação por condução), por simulação (simulador Vascak.cz).

Com essa mesma simulação, ainda, foi explicado teoricamente o conceito de calor específico, como mostra a ilustração de um momento da aula de número um, a seguir (figura 29):

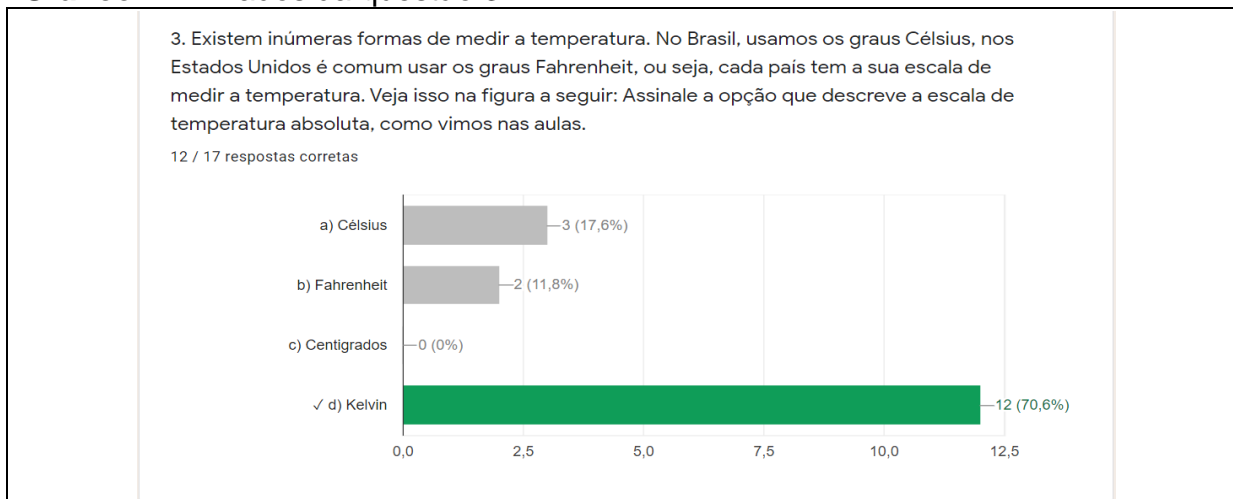
**Figura 29** – Propagação do calor por condução e calor específico



Fonte: Autor.

Analisando a questão 3 a seguir:

**Gráfico 12** – Dados da questão 3



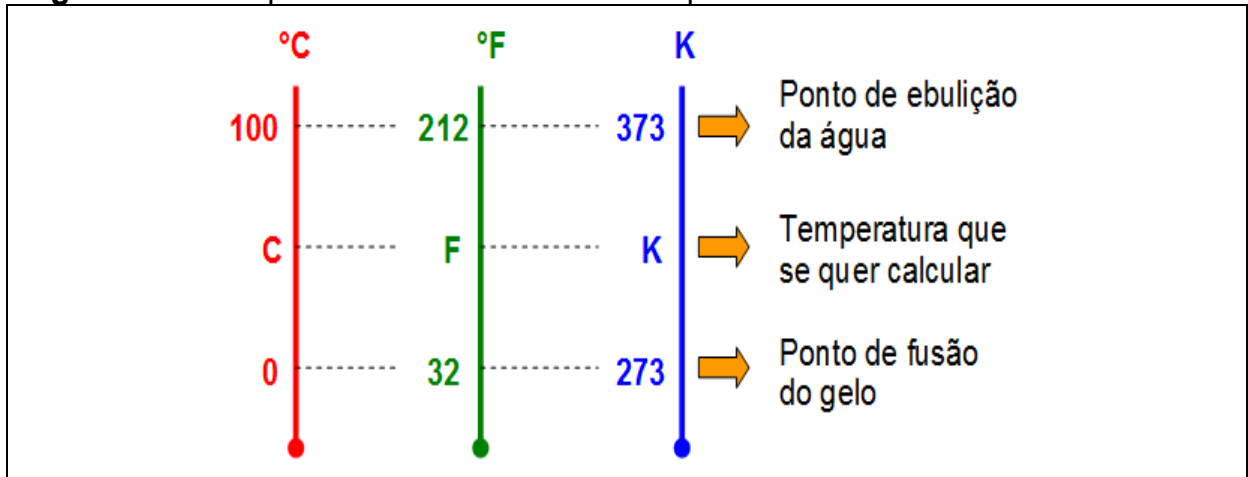
Fonte: Autor.

Essa foi outra questão da qual os dados obtidos foram positivos. A pergunta foi feita pelo fato de muitos estudantes e inclusive a população usualmente usarem como parâmetro de medição de temperatura no cotidiano a escala Celsius.

Os resultados descrevem que, dos 17 participantes, 12 acertaram, assinalando a questão d, perfazendo 70,6% dos acertos, contra três erradas na alternativa a, com 17,6%; dois assinalaram a alternativa b, com 11,8%, e nenhum estudante assinalou a opção c.

A ilustração abaixo é de simples compreensão e foi utilizada nessa questão, visto que os participantes só precisavam distinguir qual era a escala absoluta de temperatura (medida em energia):

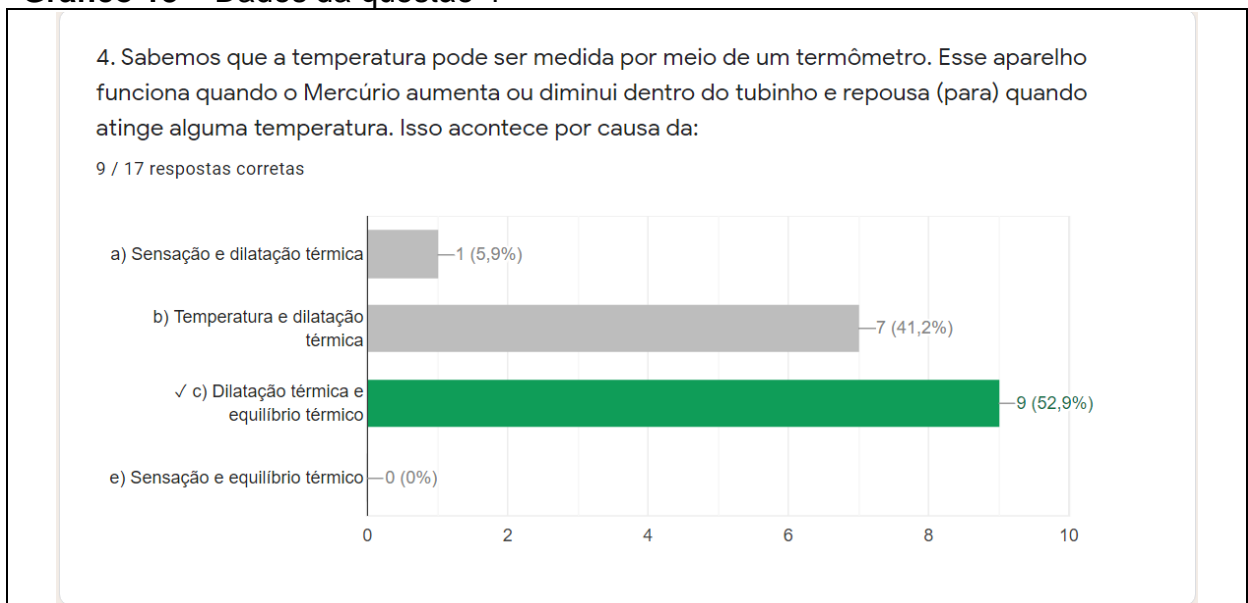
**Figura 30** – Comparativo entre escalas de temperatura



Fonte: (TEMPERATURA..., [2021]).

Analisando a questão 4 a seguir:

**Gráfico 13** – Dados da questão 4



Fonte: Autor.

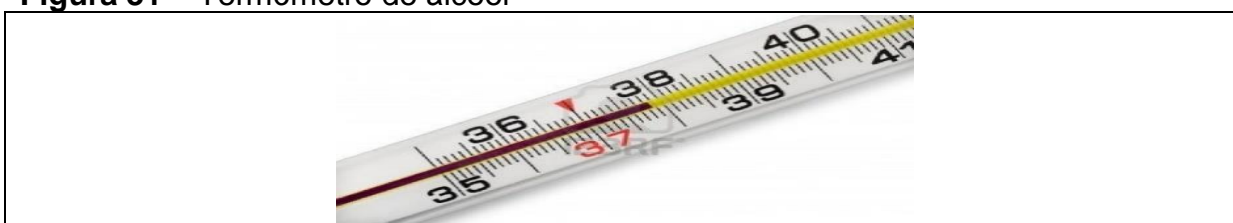
Pode-se observar, com os resultados da questão 4, que para a maioria dos participantes o conceito de equilíbrio térmico foi aparentemente compreendido. Usa-se como referência a dilatação térmica volumétrica do mercúrio no tubo de um

termômetro manual, que estaciona comumente em uma dada temperatura quando atinge o equilíbrio térmico entre dois corpos, por exemplo.

Essa afirmativa é baseada em que, como pode ser visualizado no gráfico 16, nove dos 17 estudantes assinalaram a alternativa correta, resultando num percentual de 52,9%, seguidos de sete erros assinalados pela alternativa b, equivalendo a 41,2%. Apenas um assinalou a alternativa a, 5,9%, e nenhum a alternativa d (onde se lê alternativa e, leia-se alternativa d), 0%.

A figura que ilustra essa questão é a seguinte:

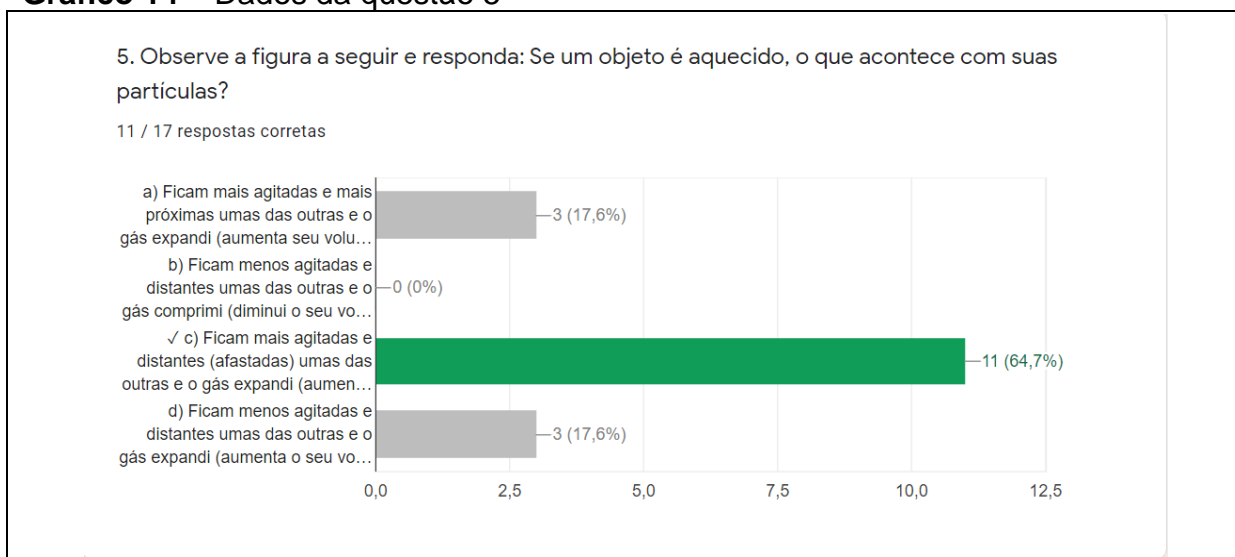
**Figura 31 – Termômetro de álcool**



Fonte: Aconteceu no Vale ([2021]).

Analisando a questão 5 a seguir:

**Gráfico 14 – Dados da questão 5**



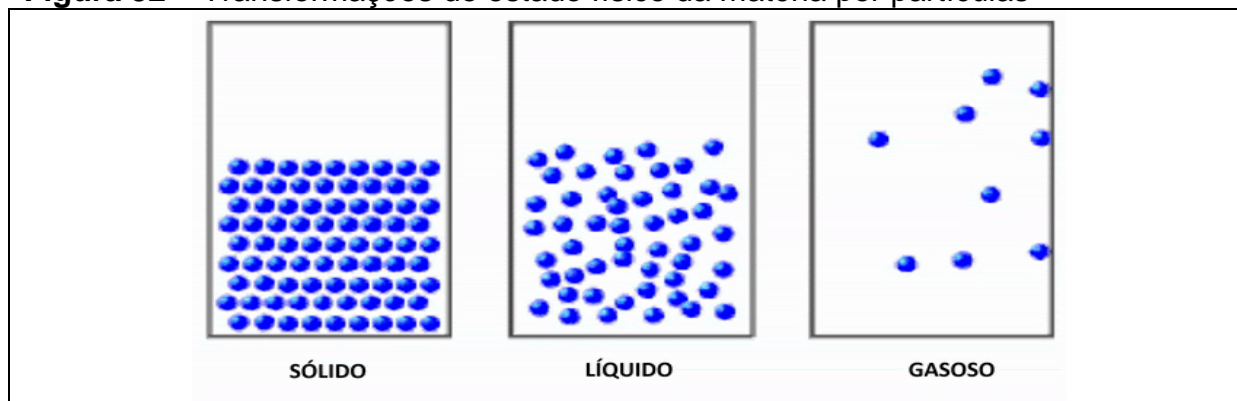
Fonte: Autor.

O resultado positivo obtido para essa questão confirma que o conceito de temperatura foi mais bem compreendido entre o grupo, como descrito no primeiro exercício desse questionário.

Os dados mostram que 64,7% acertaram o que foi proposto, ou seja, 11 dos 17 responderam corretamente. Apenas 35,2%, seis estudantes, assinalaram a alternativa errada.

A imagem na sequência ilustrou essa questão para facilitar a compreensão na hora da resposta:

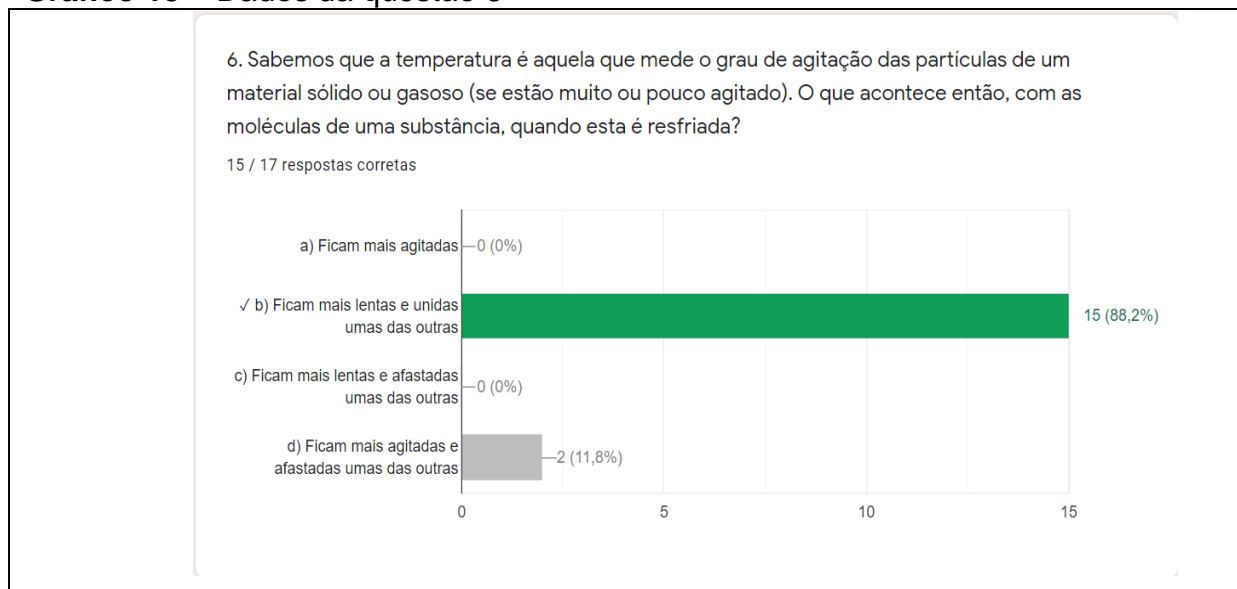
**Figura 32 – Transformações de estado físico da matéria por partículas**



Fonte: (ESTADOS..., 2020)

Analisando a questão 6 a seguir:

**Gráfico 15 – Dados da questão 6**



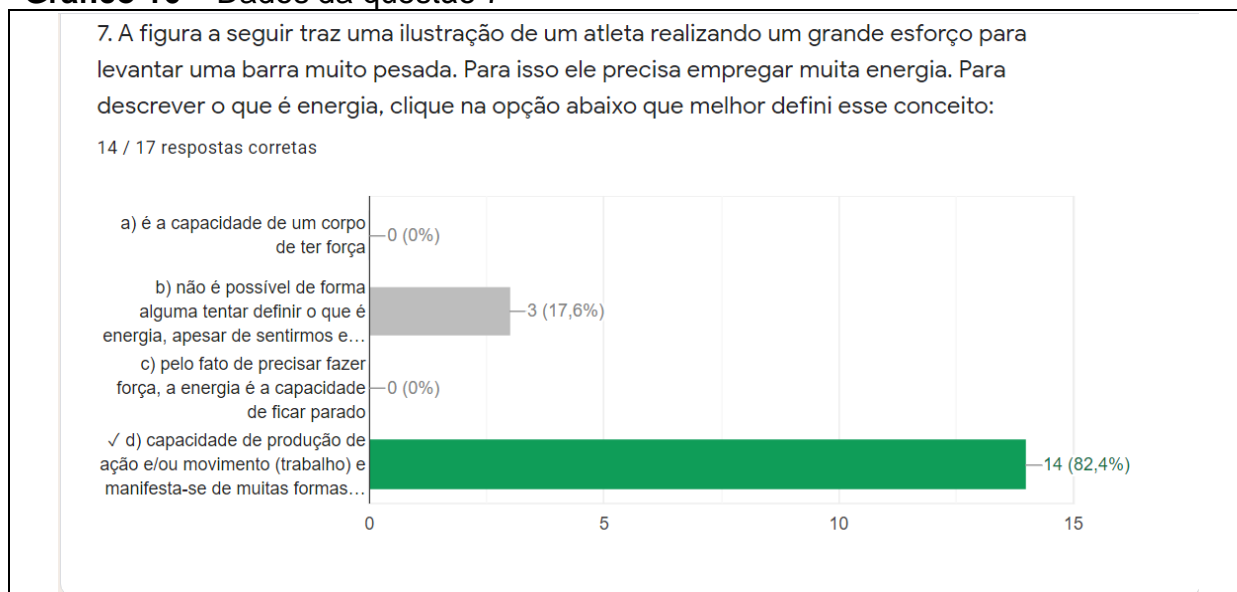
Fonte: Autor.

Mais uma vez, o conceito de temperatura formado ajudou nos resultados para essa questão. Isso novamente pode ser demonstrado pelos valores a seguir: 15 do

total de 17 acertaram, perfazendo 88,2% das assertivas, e apenas 11,8% erraram, assinalando a alternativa d.

Analisando a questão 7 a seguir:

### Gráfico 16 – Dados da questão 7



Fonte: Autor.

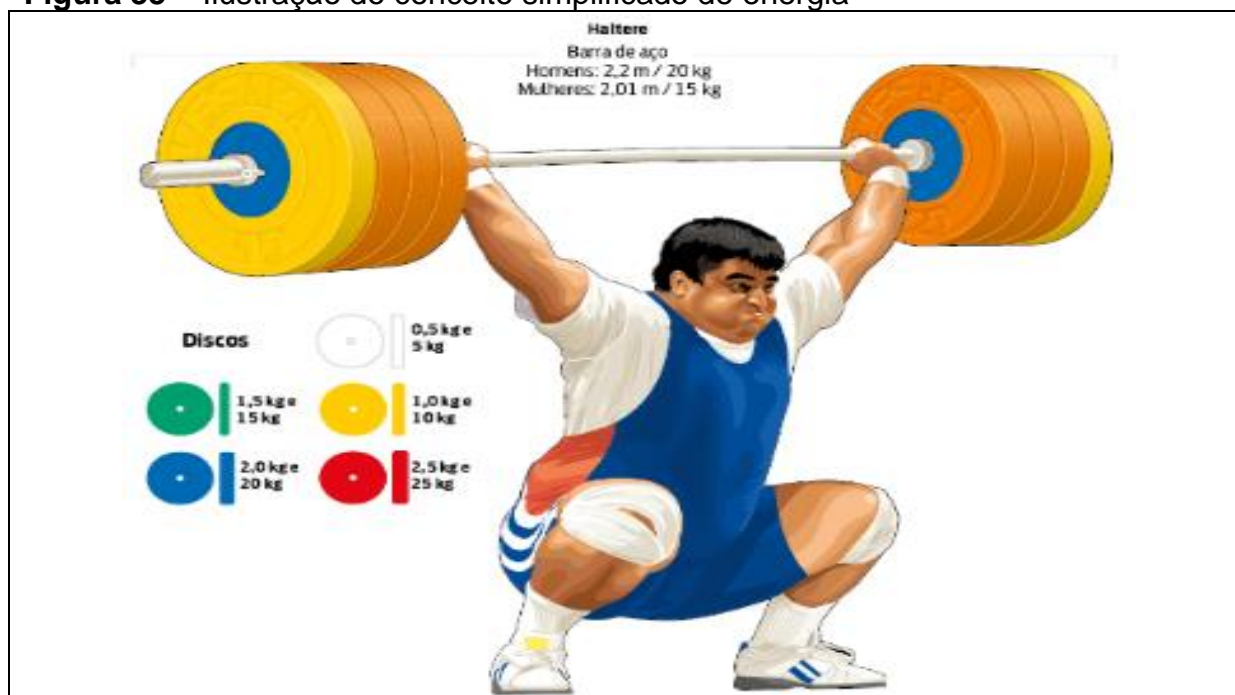
Sabe-se que o conceito de energia sempre foi bastante complexo, pois essa grandeza física não é algo que se pode tatear, mas sentir de formas diferentes como, por exemplo, de maneira abstrata.

Por esse motivo, foi feita uma questão simplificada, para que o grupo fosse aos poucos compreendendo o conceito por trás dessa grandeza indispensável em todos os campos de atuação da Ciência/Física.

A imagem abaixo foi usada na questão para ilustrar e iniciar essa formação conceitual. Os resultados descrevem um saldo positivo de resposta para a pergunta feita, como mostrados a seguir: 14 dos 17 participantes acertaram a pergunta (82,4%), enquanto apenas três, ou seja, 17,6% não assinalaram a opção correta.

Houve uma distância percentual entre acertos e erros bastante significativa; ou seja, uma diferença de 64,8% entre essas duas oposições do total de 100% representados.

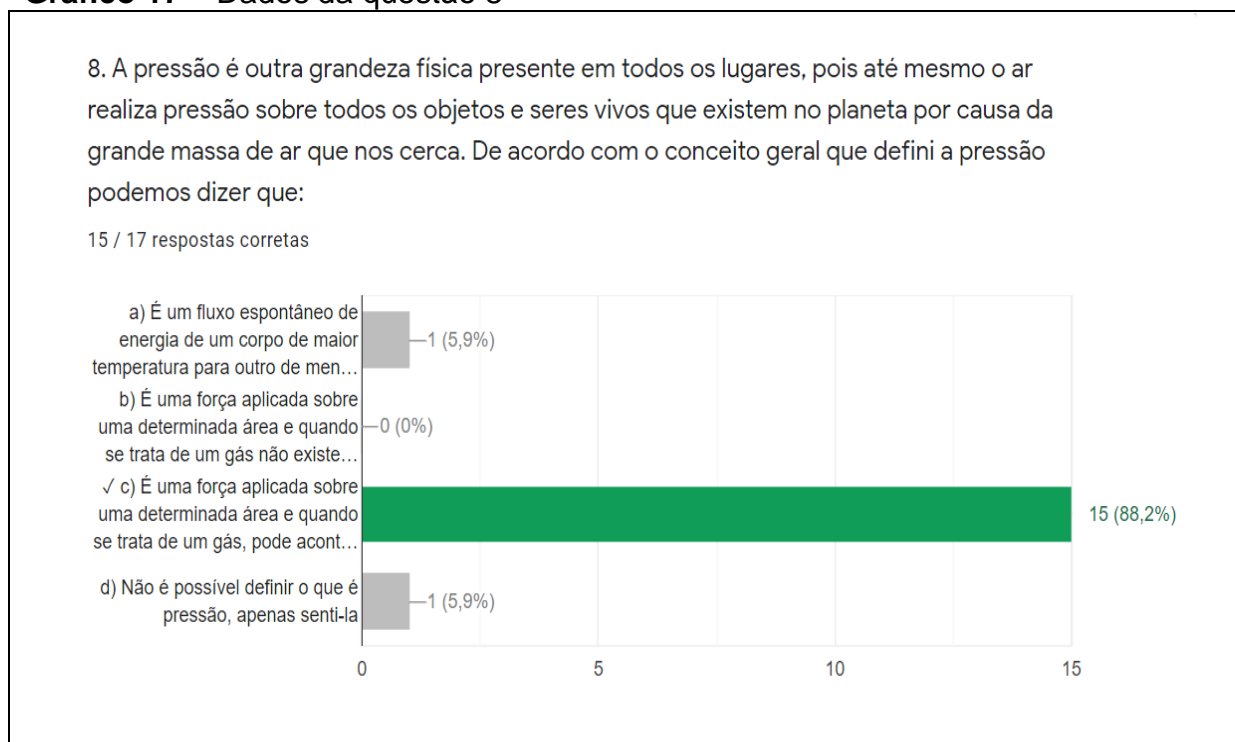
**Figura 33** – Ilustração do conceito simplificado de energia



Fonte: (LEVANTAMENTO..., 2016).

Analisando a questão 8 do questionário 1, a seguir:

**Gráfico 17** – Dados da questão 8



Fonte: Autor.

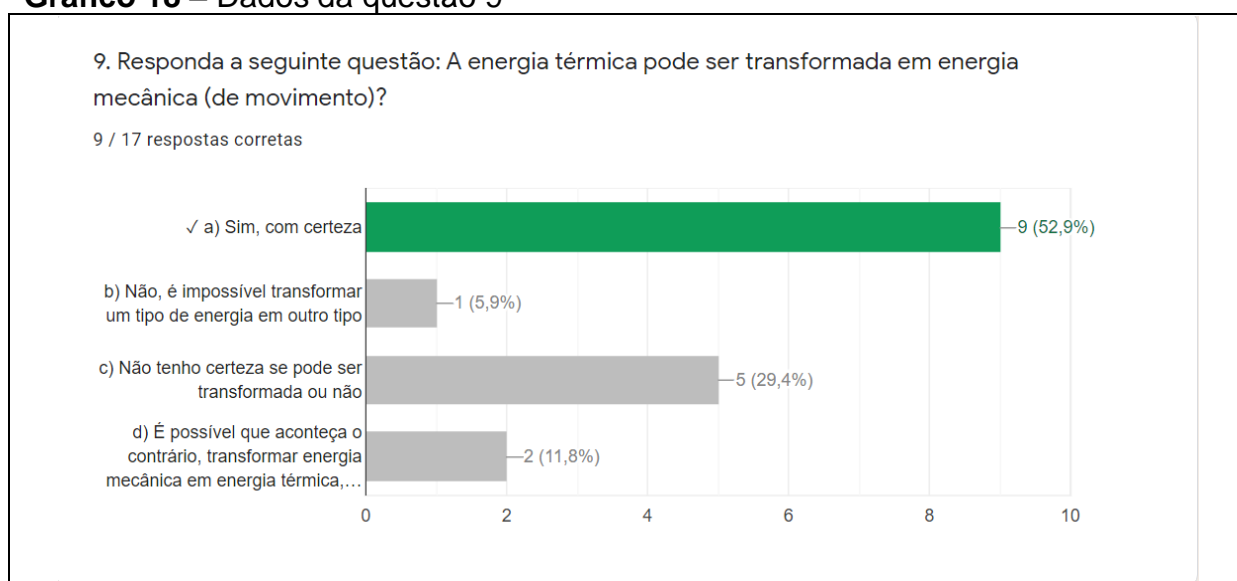
Os resultados obtidos na questão 8 foram também significativos, porque boa parte do grupo ao menos começou a compreender o conceito de pressão. Essa é uma das principais grandezas físicas envolvidas no funcionamento de uma máquina térmica a vapor, pois trata de uma das variáveis de estado de um gás.

Dessa forma, 15 estudantes dentre os 17, acertaram essa questão, (88,2%) e apenas dois participantes erraram (11,8%).

Os gráficos sempre são um bom indicativo analítico para dados. No caso da oitava questão, as alternativas não são descritas integralmente nas imagens que ilustramos. Contudo, no produto educacional dessa pesquisa, as questões estão dispostas na íntegra no final de cada aula ministrada, bem como o “link” do respectivo questionário para quem tem acesso ao “e-mail” do @escola, feito para os professores das escolas pertencentes à Secretaria Estadual de Educação de cada núcleo regional do Estado do Paraná (SEED).

Analisando a questão 9 do questionário 1, a seguir:

**Gráfico 18 – Dados da questão 9**



**Fonte:** Autor.

Os resultados atingidos nessa questão demonstram com clareza a falta de compreensão por parte de alguns estudantes sobre o real conceito a respeito de energia, haja vista que oito de 17 participantes assinalaram a opção incorreta. Além disso, um deles marcou a alternativa b, que diz ser impossível transformar um tipo de energia em outro.

Entretanto, 52,9% (nove estudantes/17 estudantes) acertaram a questão e 47,1% (oito estudantes/17 estudantes) assinalaram as alternativas incorretas. Ainda assim, o saldo foi positivo.

É preciso enfatizar que, sempre que o estudante tinha dúvidas na resolução de algum exercício e/ou errava questões, era considerado o argumento de Bruner sobre o reforço, do qual ele diz:

O conhecimento dos resultados deverá ser dado a alguém no momento exato de uma resolução de problemas, quando está comparando os resultados de sua tentativa com o critério que ele procura satisfazer. Se dado antes, não será entendido ou será apenas uma carga adicionada na memória imediata. Se dado depois, poderá ser tarde demais para orientar na escolha de nova hipótese ou tentativa. Mas, para ser útil, não deverá o conhecimento dos resultados limitar-se a informar se determinada ação de uma pessoa foi bem-sucedida ou não, mas também dizer se tal ação está ou não a conduzindo através de uma hierarquia de metas a atingir (BRUNER, 1973c, p. 57).

Respeitando a questão do reforço, descrita por ele (BRUNER, 1973c, p. 57), esse foi um ponto crucial no presente estudo para obter bons resultados evolutivos com os estudantes nas avaliações seguintes e ainda minimizar as possíveis incompreensões do grupo sobre o assunto abordado.

#### 5.2.4 Questões Erradas com Frequência no Questionário 1

A questão de número 2 foi frequentemente errada nesse questionário. A figura logo a seguir comprova esses dados (figura 34):

**Figura 34 – Questões mais erradas no questionário**

Perguntas erradas com frequência ?	
Pergunta	Respostas corretas
2. Caso você já tenha compreendido a diferença entre calor e temperatura, terá grande chance de assinalar a alternativa correta a respeito dessa primeira grandeza física mencionada nessa questão.	4 / 17

Fonte: Autor.

### 5.2.5 Apresentação de resultados individuais obtidos: questionário 1

Por questões de segurança, praticidade e formalização, os nomes dos participantes foram transformados em letras para as descrições dos resultados individuais, que serão sempre dispostos no final de cada análise sobre os questionários, desde o primeiro até o último.

O quadro posteriormente descrito é o primeiro a ilustrar os resultados individuais dos participantes, e as legendas mencionadas anteriormente indicam a figura de cor azul referente aos acertos e a vermelha, aos erros.

**Quadro 6** – Dados individuais dos resultados do questionário 1

Estudante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▼	▼	▲	▼	▲	▲	▲
Questão 2	▼	▼	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▲	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Questão 3	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▲
Questão 4	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▼	▲	▼
Questão 5	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▼
Questão 6	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼
Questão 7	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Questão 8	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲
Questão 9	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▼	▼	▲	▲	▲	▼	▼	▼	▼	▲

Fonte: Autor.

A princípio, era de se esperar um número considerável de possíveis erros por parte dos estudantes, porque o conteúdo abordado não é tão simples, a forma como foi abordado não é superficial e a faixa de idade dos participantes não é aquela em que já se pode esperar um conhecimento de mundo maior sobre conceitos científicos, entre outros.

Mesmo assim, acreditou-se na evolução cognitiva do grupo. Até o final deste capítulo, será perceptível um grande desenvolvimento conceitual e formal com base nos resultados positivos obtidos, que serão crescentes.

### 5.2.6 Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: pré-questionário 2

Antes de aplicar diretamente o formulário 2, foi proposto um pré-questionário 2, que abordou aspectos formais a respeito da Lei da Conservação da Energia (Primeira Lei da Termodinâmica). Os estudantes demonstraram grande dificuldade de interpretação e resolução dos problemas, quando foi exigido que eles realizassem contas.

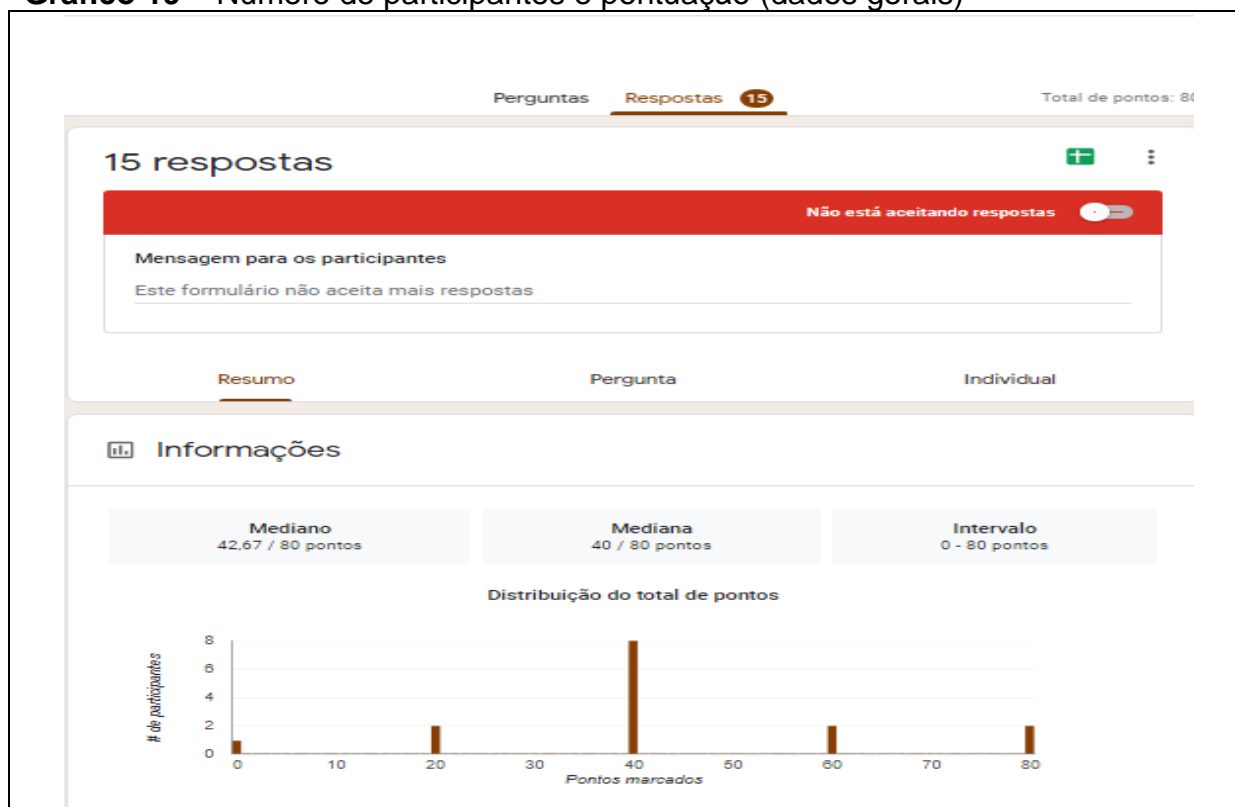
Nesse momento, foi explorado significativamente o estágio de desenvolvimento simbólico (representação simbólica), aquele de que o indivíduo necessita para resolver problemas de lógica e matemática; e, principalmente; o argumento de Bruner (1973c, p. 51), que diz que qualquer conjunto de conhecimentos pode ser suficientemente simplificado para ser compreendido por qualquer criança e em qualquer estágio de seu desenvolvimento cognitivo.

Para isso, a equação tradicionalmente conhecida a respeito da Primeira Lei da Termodinâmica ( $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ ), foi substituída simplesmente por uma equação equivalente sobre o balanço de energia promovido por um sistema termodinâmico linear ( $\Delta U = E_R - E_L$ ) e denominada de equação ou método “intuitivo”.

A lógica dessa última equação é a seguinte: sempre que o sistema recebe energia, independentemente se é na forma de calor ou de trabalho, significa considerar  $E_R$ , e sempre que perder ou liberar energia, independentemente de qual maneira se dê essa perda, calor ou trabalho (por exemplo, quando um gás realiza trabalho ou quando um gás cede calor ao meio), é considerado  $E_L$ .

Boa parte dos participantes entenderam perfeitamente e acertaram as questões. Por outro lado, alguns faziam confusões quanto a essa propriedade e às vezes somavam ao invés de subtrair durante as resoluções, quando necessário, ou subtraíam ao invés de somar, errando os problemas propostos.

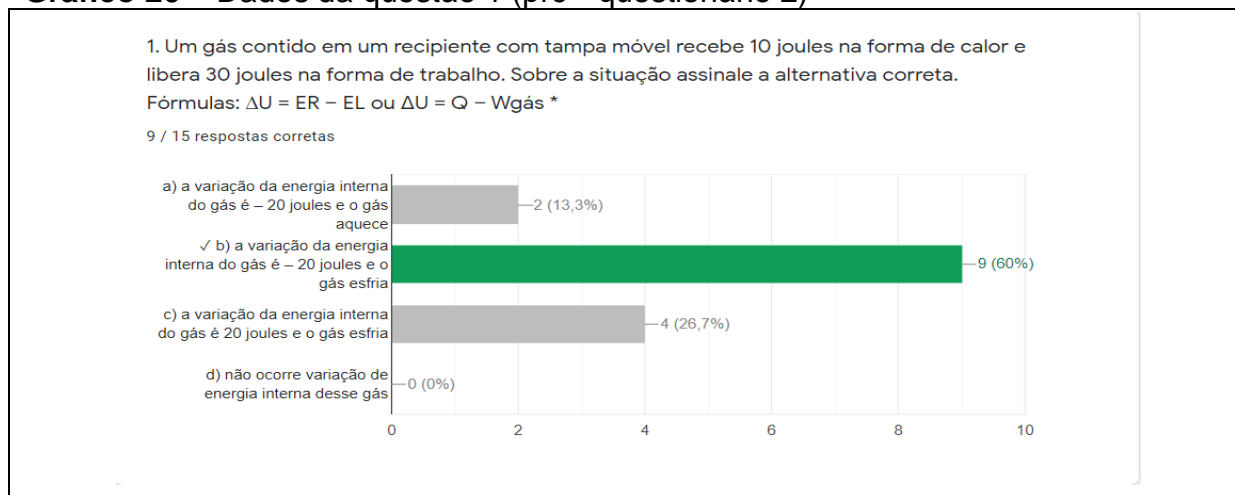
O gráfico posterior é a descrição dos dados gerais dos participantes nesse questionário.

**Gráfico 19 – Número de participantes e pontuação (dados gerais)**

Fonte: Autor.

Os parâmetros dos dados gerais acima são mais bem discutidos ao passo que são apresentados os gráficos de cada problema proposto e o quadro individual de resultados posteriormente ilustrados.

### 5.2.7 Análise dos Resultados das Questões do Questionário Teste (pré-questionário 2): dados gerais

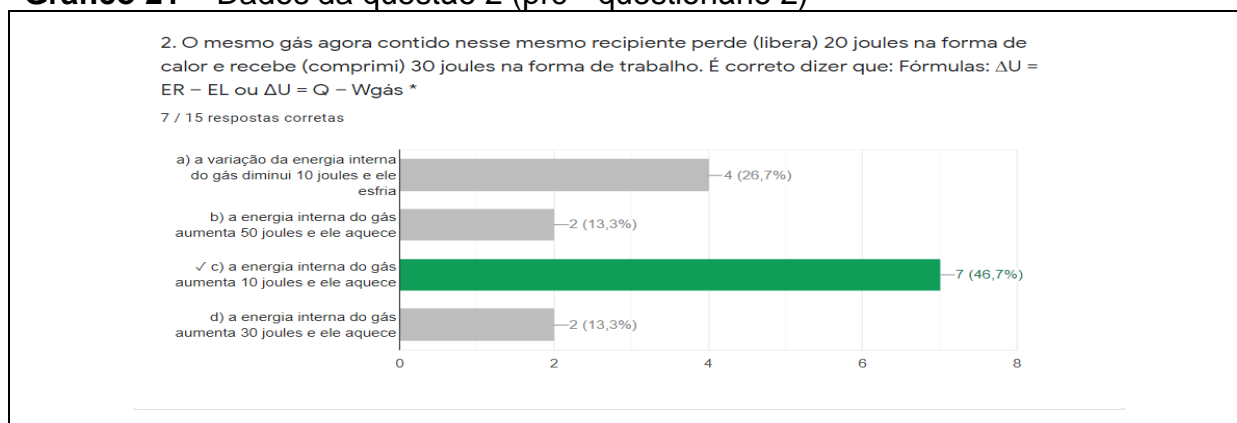
**Gráfico 20 – Dados da questão 1 (pré - questionário 2)**

Fonte: Autor

O método denominado “intuitivo”, considerado na resolução desses tipos de exercícios acerca da Primeira Lei da Termodinâmica, foi satisfatório para o problema de número 1, pois 60%, ou seja, nove entre os 15 participantes, acertaram a questão, enquanto apenas seis, os 40% restantes, a erraram.

Analisando a questão 2, a seguir:

**Gráfico 21 – Dados da questão 2 (pré - questionário 2)**



Fonte: Autor.

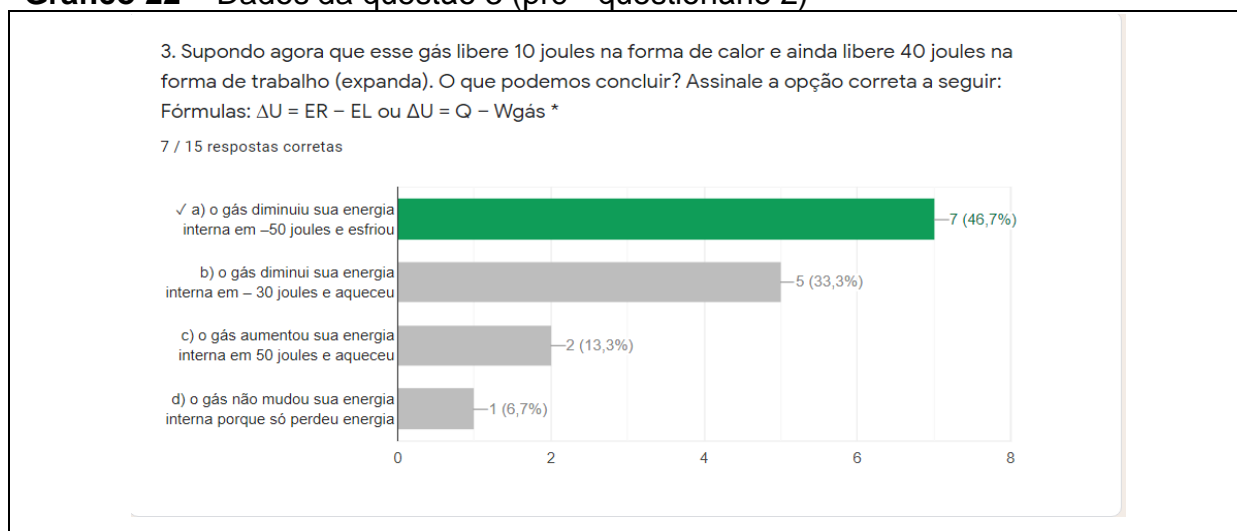
Apesar de o número de acertos ter diminuído um pouco no exercício 2, ainda se considerou satisfatório o resultado obtido. É preciso lembrar que os estudantes resolveram esses problemas após terem um primeiro contato com o conteúdo e, inclusive, muitos deles nem mesmo sabiam definir as grandezas calor e temperatura, que fazem parte desse processo.

Os dados, portanto, foram os seguintes, como mostram as barras no gráfico 24: sete acertos (46,7%) contra oito erros (53,3%).

É preciso adiantar aqui que, não somente em relação ao exercício 2, mas também à primeira questão, ao questionar os participantes durante uma revisão na aula posterior, alguns revelaram ter somado ao invés de subtrair. Além disso, demonstraram ter dificuldades quanto à regra de sinais na matemática, quando necessário para a resolução de algum problema (soma de valores negativos).

Esse equívoco refletiu nos resultados descritos no gráfico, como ilustrado.

Analisando a questão 3 a seguir:

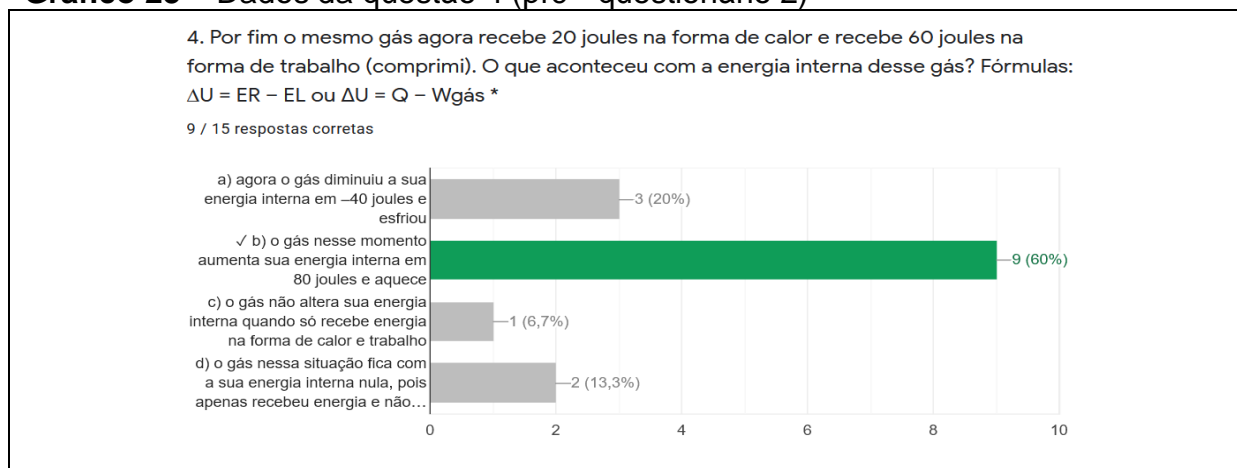
**Gráfico 22 – Dados da questão 3 (pré - questionário 2)**

Fonte: Autor.

O número de acertos e erros no exercício 3 se manteve em relação ao anterior. Como mencionado, a parcela negativa descrita tem a ver com a pequena confusão de alguns estudantes quanto a dúvidas em subtrair ou somar, ou ainda quanto à regra de sinais por ora exigida. Afinal, quando um gás libera energia na forma de calor e ainda libera energia na forma de trabalho (realiza trabalho), caso do problema 3 ( $\Delta U = 0 - 10 - 40$ ), é como somar dívidas.

Ficou claro que, mesmo fazendo uma breve explicação sobre o conceito de soma e de regra de sinais antes da resolução desse questionário, alguns participantes demonstraram novamente essa dificuldade (refletindo nos resultados negativos de alguns estudantes).

Analisando a questão 4 a seguir:

**Gráfico 23 – Dados da questão 4 (pré - questionário 2)**

Fonte: Autor.

O ocorrido nas questões anteriores pode ser mais bem comprovado por meio dos resultados no exercício 4.

O fato de que alguns participantes não sabiam como operar com valores negativos é indicado pelo pequeno aumento de acertos na última questão (de número 4). Para resolvê-la, bastou o estudante efetuar a seguinte expressão:  $\Delta U = 20 + 60 - 0$ . Isso porque o gás, nesse exemplo, apenas recebe energia e nada libera ( $\Delta U = E_R - E_L$ ). Era só substituir os valores do enunciado na expressão “intuitiva”.

Portanto, o que seria mais fácil para alguns participantes? Efetuar a operação i ou a operação ii abaixo?

1.  $\Delta U = -10 - 40$
2.  $\Delta U = 20 + 60 - 0$

Embora pareça trivial, como mencionado no terceiro capítulo, ao ser realizada observações com a equação  $3 + x = 8$  e a equação  $x + 3 = 8$ , a primeira demonstrou ser mais acessível para as crianças (BRUNER, 1973c, p. 61).

Por esse simples detalhe, Bruner levanta a seguinte indagação, seguida de um argumento:

Deriva-se a dificuldade de lidar com uma incógnita no início de uma expressão de uma transferência de hábitos linguísticos, em que é mais fácil completar uma sentença quando um termo é retirado do meio do que do início? As questões de onde se pode tolerar melhor a incerteza e da possível interferência entre hábitos linguísticos e matemáticos são certamente dignas de estudos cuidados e profundos (BRUNER, 1973c, p. 61).

Pensando nisso, a ordem dos sinais ou o arranjo erroneamente feito durante a montagem da expressão com os valores foi possivelmente um fator de influência na hora da resolução de alguns problemas. Além disso, em aulas notou-se também que alguns participantes não sabiam lidar com soma de valores negativos.

A imagem com as perguntas erradas com frequência é um reflexo desse questionário. Ela encontra-se logo abaixo para comprovar o que se diz no parágrafo anterior.

## 5.2.8 Questões Erradas com frequência no pré-questionário 2

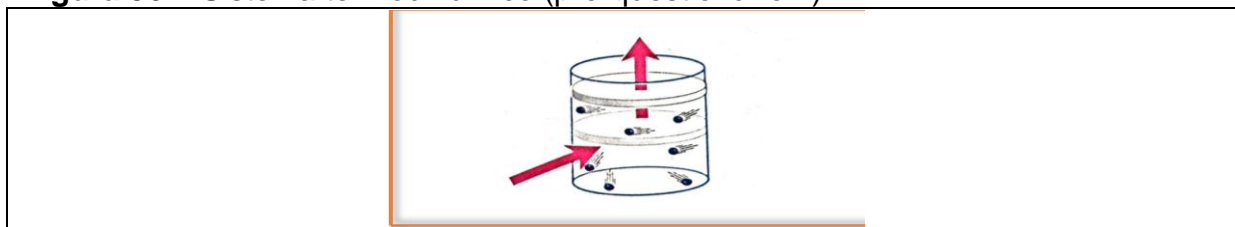
**Figura 35** – Questões mais erradas (pré-questionário 2)

Perguntas erradas com frequência ?	
Pergunta	Respostas corretas
2. O mesmo gás agora contido nesse mesmo recipiente perde (libera) 20 joules na forma de calor e recebe (comprimi) 30 joules na forma de trabalho. É correto dizer que: Fórmulas: $\Delta U = ER - EL$ ou $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ *	7 / 15
3. Supondo agora que esse gás libere 10 joules na forma de calor e ainda libere 40 joules na forma de trabalho (expanda). O que podemos concluir? Assinale a opção correta a seguir: Fórmulas: $\Delta U = ER - EL$ ou $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ *	7 / 15

Fonte: Autor.

Digo ainda, por experiência própria, que durante a minha pequena jornada de sete anos lecionando Física, Matemática e Ciências na rede pública de ensino e dois anos na rede particular, até mesmo educandos do ensino médio fazem inúmeras confusões quando se deparam com esses tipos de questões, seja na Matemática, seja na Física. Quanto mais com estudantes de sexta e sétima séries com os quais esse trabalho foi realizado.

É preciso ressaltar aqui que, não somente a representação simbólica foi explorada nesse questionário, mas também a representação icônica, nas quatro questões. Esses problemas foram ilustrados por figuras de acordo com a situação criada em cada sistema termodinâmico, como mostra um dos exemplos a seguir. Foi usado no primeiro exercício, no qual o gás recebe 10 joules de energia na forma de calor e libera 30 joules na forma de trabalho, indicados pelas setas da imagem a seguir:

**Figura 36** – Sistema termodinâmico (pré-questionário 2)

Fonte: Fernandes (2020).

Após a aplicação desses exercícios e analisando os erros de alguns estudantes, foi novamente respeitado, com alguns ajustes, as considerações acerca do reforço descrito por Bruner (1973c, p. 57) para melhorar o aprendizado.

Os resultados individuais desse pré-questionário, portanto, podem ser observados logo abaixo.

## 5.2.9 Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: pré-questionário 2

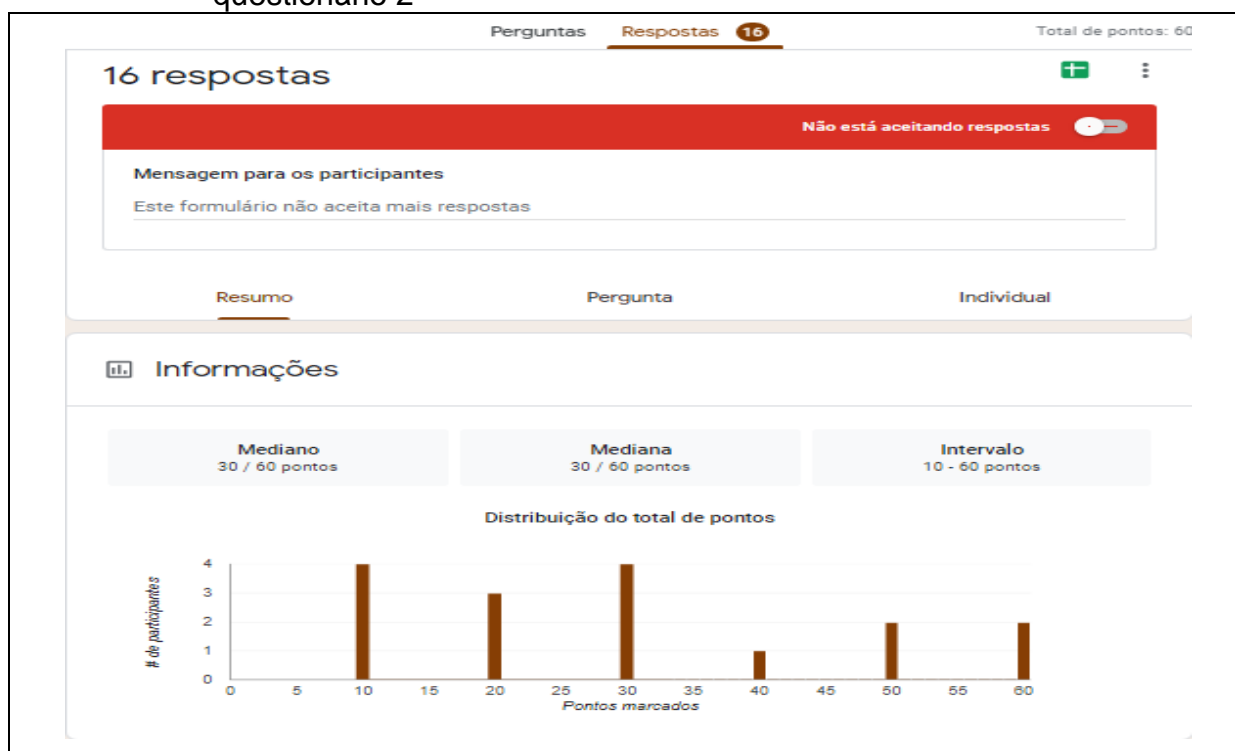
**Quadro 7** – Dados individuais de resultados do pré-questionário 2

Estudante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▲	-	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▼	-	▼
Questão 2	▼	-	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▼	▲	▼	▼	▲	▲	-	▲
Questão 3	▼	-	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▲	▲	▼	-	▼
Questão 4	▲	-	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▼	▼	-	▼

Fonte: Autor.

Conforme os dados, na contagem geral de acertos e erros, são 32 acertos indicados pelas setas azuis e 28 erros indicados pelas setas vermelhas invertidas. Por isso, um saldo total positivo.

## 5.2.10 Apresentação de resultado de dados gerais obtidos: questionário 2

**Gráfico 24** – Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 2

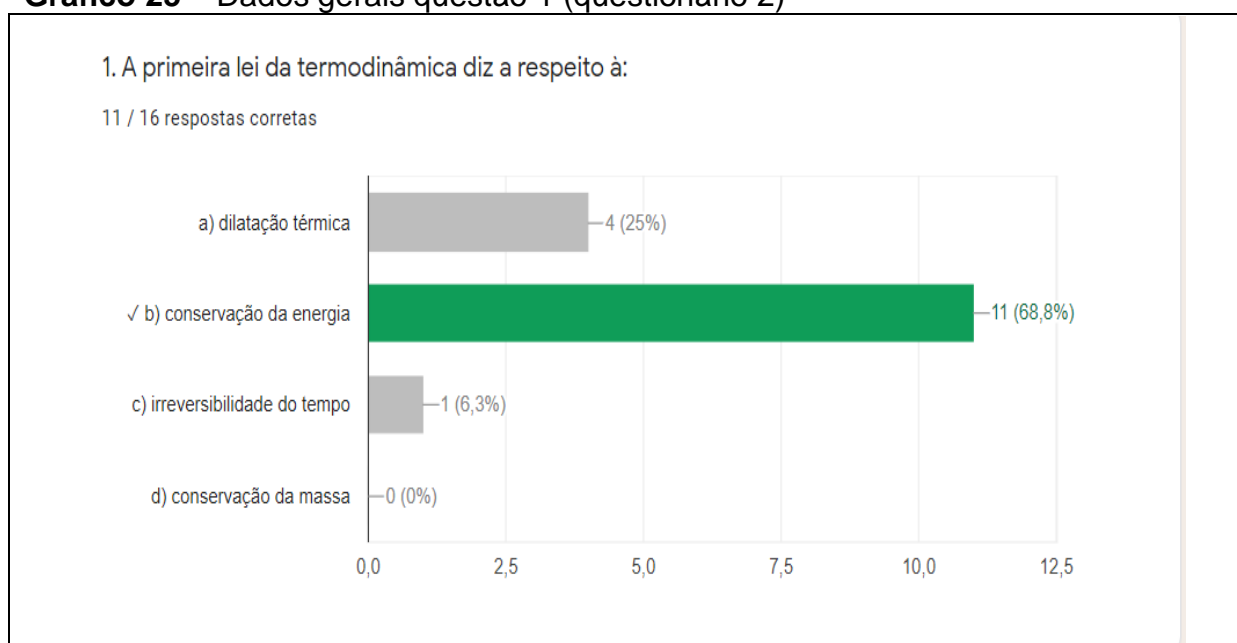
Fonte: Autor.

Ao compararmos o gráfico acima com aquele referente ao primeiro questionário, ressalta-se que um dos participantes desistiu após a aplicação da primeira coleta de dados. Assim, esse número caiu para 15 estudantes, o que se manteve até o final da pesquisa.

Seguindo o padrão de descrições (ordem de análise dos resultados/gráficos), os dados das respostas com resultados gerais por questão encontram-se logo abaixo ilustrados.

#### 5.2.11 Análise dos Resultados das Questões do Questionário 2: dados gerais

**Gráfico 25 – Dados gerais questão 1 (questionário 2)**



Fonte: Autor.

Observando os dados pontuados no gráfico da questão 1 do questionário 2, é perceptível que boa parte assinalou a alternativa que define corretamente a Primeira Lei da Termodinâmica.

No entanto, alguns participantes ainda se equivocaram, julgando que ela se refere à dilatação térmica.

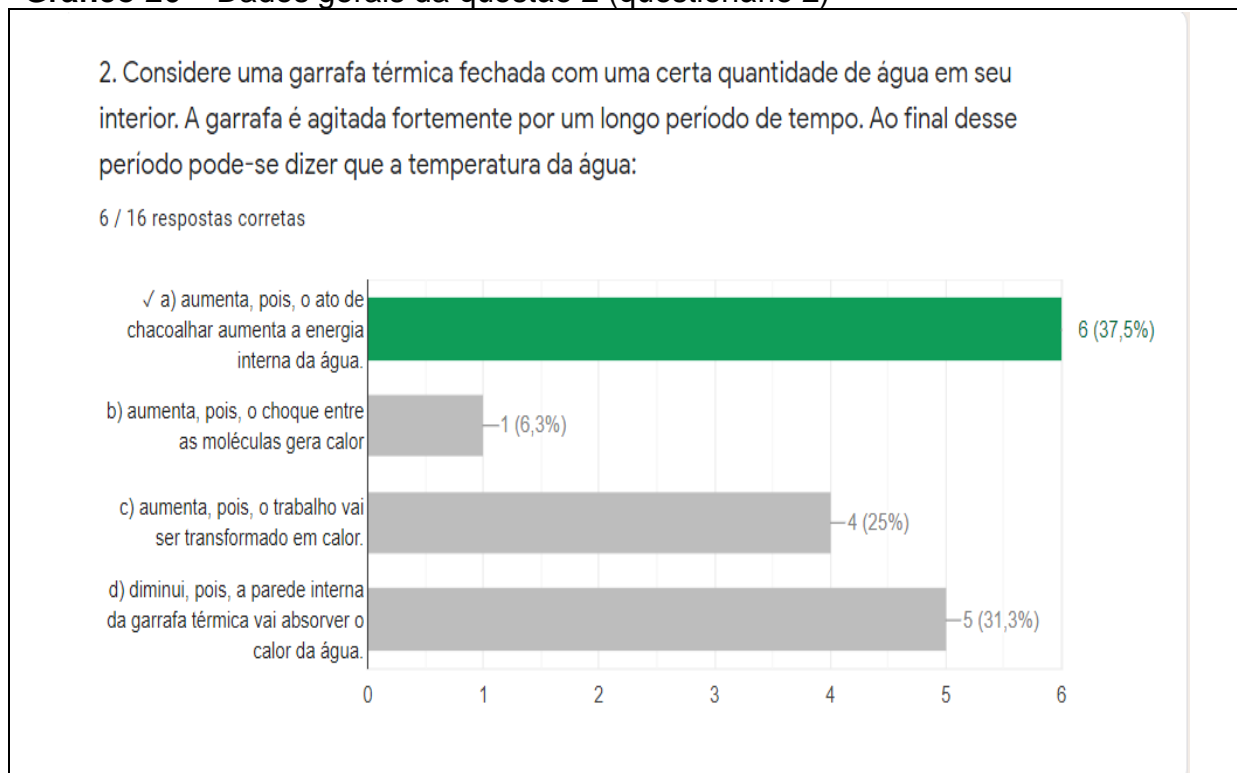
Curiosamente, um estudante respondeu a alternativa c. Contudo, em conversa particular com o educando para verificar o porquê de sua resposta, foi lembrado que ele possui uma falta de coordenação motora e um certo grau de déficit de atenção, assinalando por erro de percurso, segundo ele.

A alternativa c, assim como outras, pode servir também como um indicativo para testar se o grupo está lendo os questionários com um pouco mais de atenção.

Em geral, entre os 16 participantes no questionário, 11 acertaram (68,8%) e cinco erraram a questão (31,3%).

Analisando a questão 2 a seguir:

**Gráfico 26 – Dados gerais da questão 2 (questionário 2)**



Fonte: Autor.

A segunda questão exigiu mais interpretação e formação conceitual.

O que ficou evidente até aqui é que alguns estudantes ainda não conseguiram formar o conceito base sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Porém, a maioria ao menos conseguiu iniciar essa formação.

Esse argumento decorre do fato de que se pode comparar os resultados dessa questão com as questões ligadas aos problemas aplicados para os cálculos da variação de energia interna no pré-questionário 2.

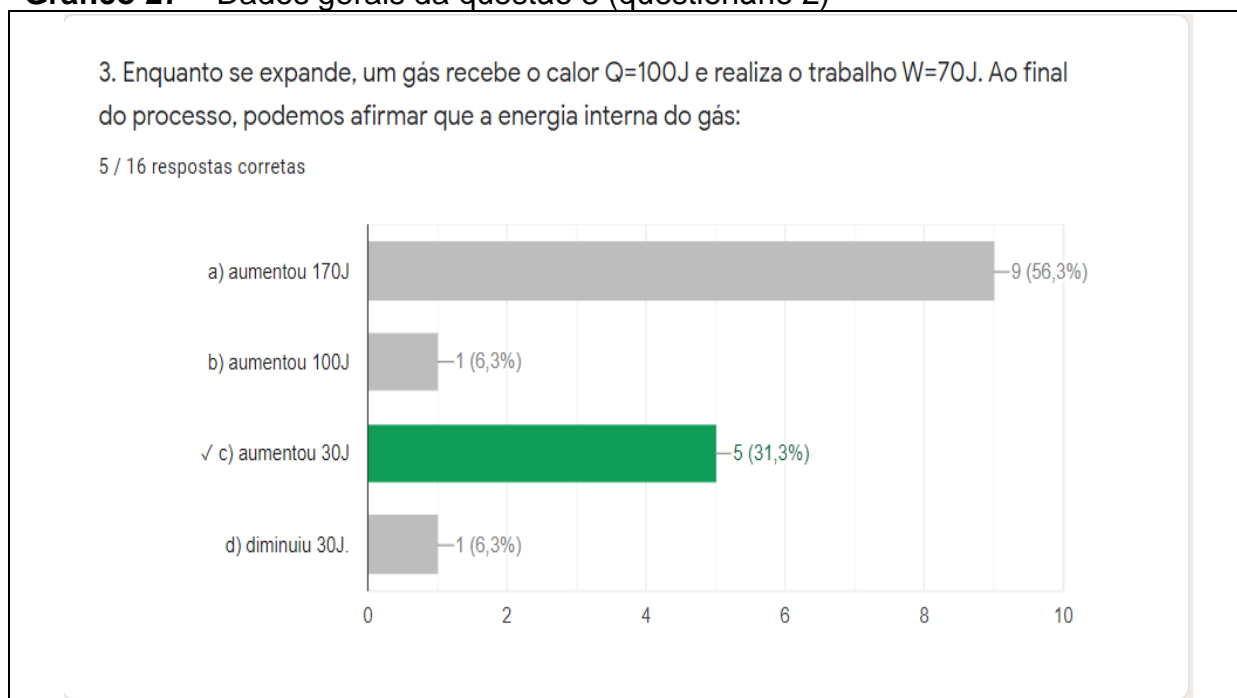
Essa pergunta é excelente para verificar se o grupo conseguiu absorver a ideia de que o movimento de translação das partículas de um corpo está relacionado à variação de temperatura (variação da energia interna), seja por recebimento ou

perda de calor, ou ainda por movimentos mecânicos realizados (trabalho) sobre o sistema ou pelo sistema.

Apenas seis (37,5%) dos 16 participantes acertaram essa pergunta; ou seja, 10 estudantes (62,6%) erraram.

Analisando a questão 3 a seguir:

**Gráfico 27 – Dados gerais da questão 3 (questionário 2)**



Fonte: Autor.

Com os resultados obtidos na questão 3, somados aos da questão 2 e do pré-questionário 2, ficou mais evidente ainda a falta de compreensão da maioria dos participantes, ao menos em um primeiro momento, sobre o fenômeno da conservação da energia, que é o pilar da Primeira Lei da Termodinâmica.

Alguns participantes demonstraram novamente uma dificuldade em efetuar o cálculo da Primeira Lei, exigindo uma nova revisão após a entrega do questionário.

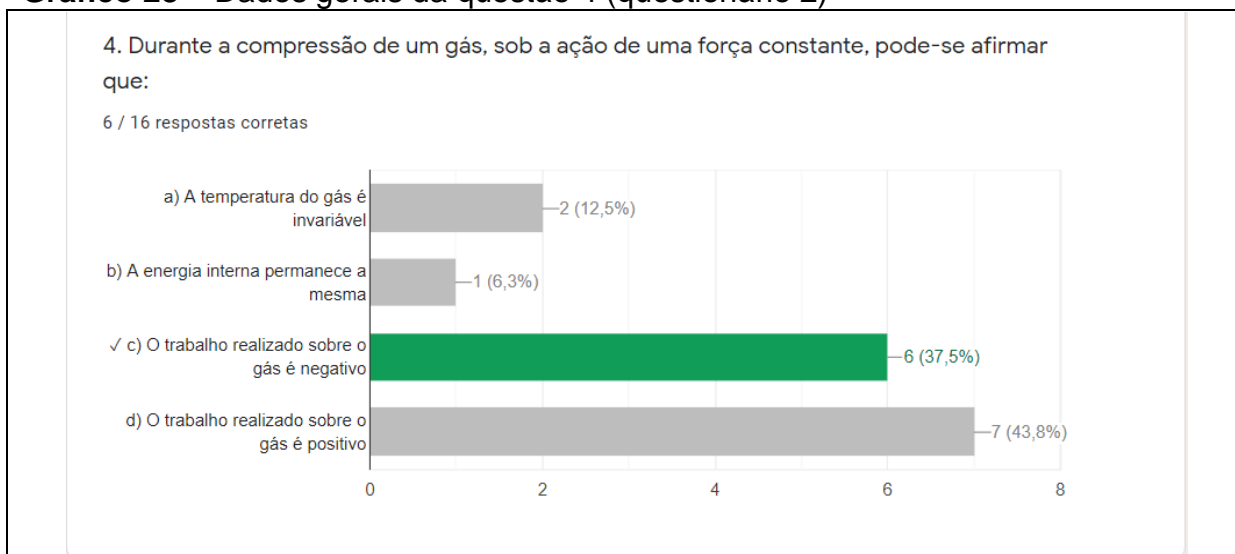
Com isso, notou-se que ensinar a realizar contas por meio de aulas virtuais não é tarefa tão simples quanto pode parecer nessa faixa de idade.

Mesmo assim, não se pode deixar de enfatizar que cinco deles entenderam a resolução; portanto, acertaram.

Comparando as porcentagens de acertos e erros, obteve-se a seguinte parcela: apenas cinco entre os 16 participantes (31,3%) acertaram, contra 11 assinaladas erradas (68,9%).

Analisando a questão 4 a seguir:

**Gráfico 28 – Dados gerais da questão 4 (questionário 2)**

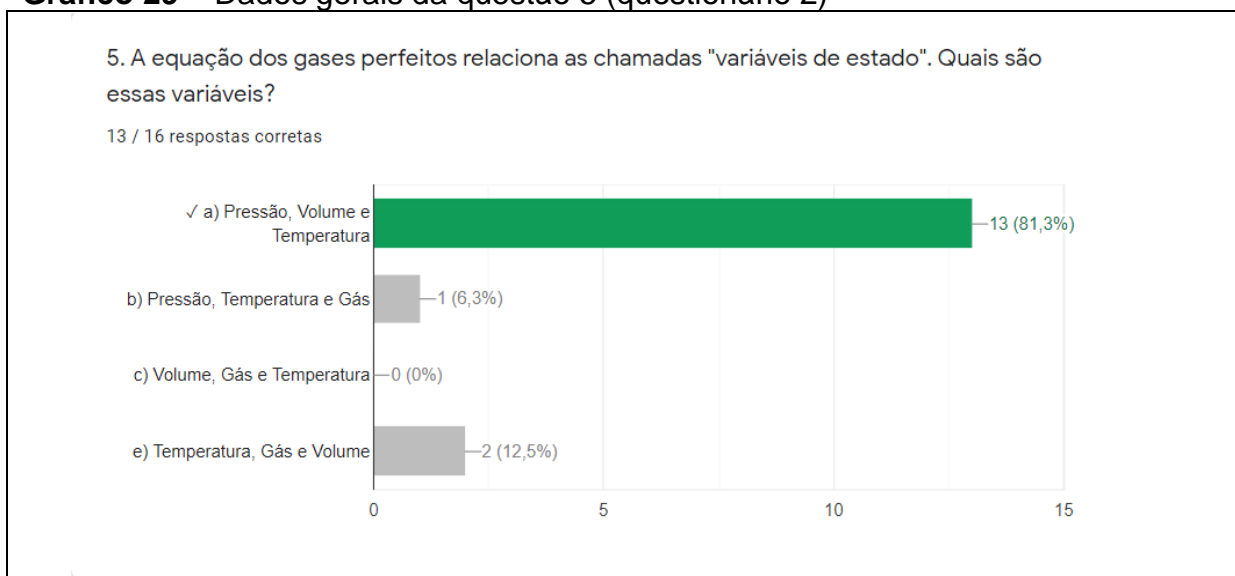


Fonte: Autor.

Analisando as respostas da pergunta acima, pode-se concluir que os resultados ainda continuaram insatisfatórios. Em média, as porcentagens de acertos e erros foram mantidas até aqui, com parcelas parecidas com as anteriores, como descreve o gráfico anterior, em que novamente seis dos 16 educandos acertaram o exercício, o que representa 37,5% de acertos e 62,6% de erros.

Analisando a questão 5 a seguir:

**Gráfico 29 – Dados gerais da questão 5 (questionário 2)**



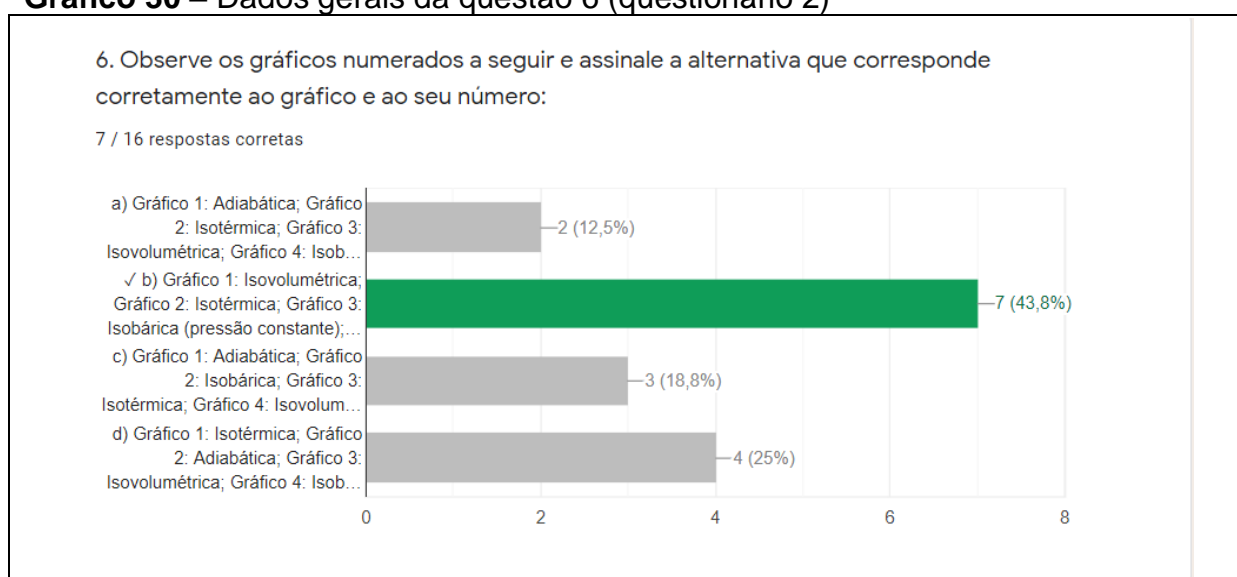
Fonte: Autor.

A pergunta 5 foi importante para esse questionário porque, além de a maioria dos estudantes acertar essa questão, ela é fundamental por se tratar das variáveis de estado de um gás, que é ponto-chave para que os educandos consigam compreender de maneira mais fácil a dinâmica dos fluidos (gases) quando analisados alguns sistemas termodinâmicos durante as aulas posteriores.

Observando os dados coletados, temos que, dos 16 participantes, 13 acertaram o que foi proposto (81,3%) e apenas três não acertaram (18,8%).

Analisando a questão 6 a seguir:

### Gráfico 30 – Dados gerais da questão 6 (questionário 2)

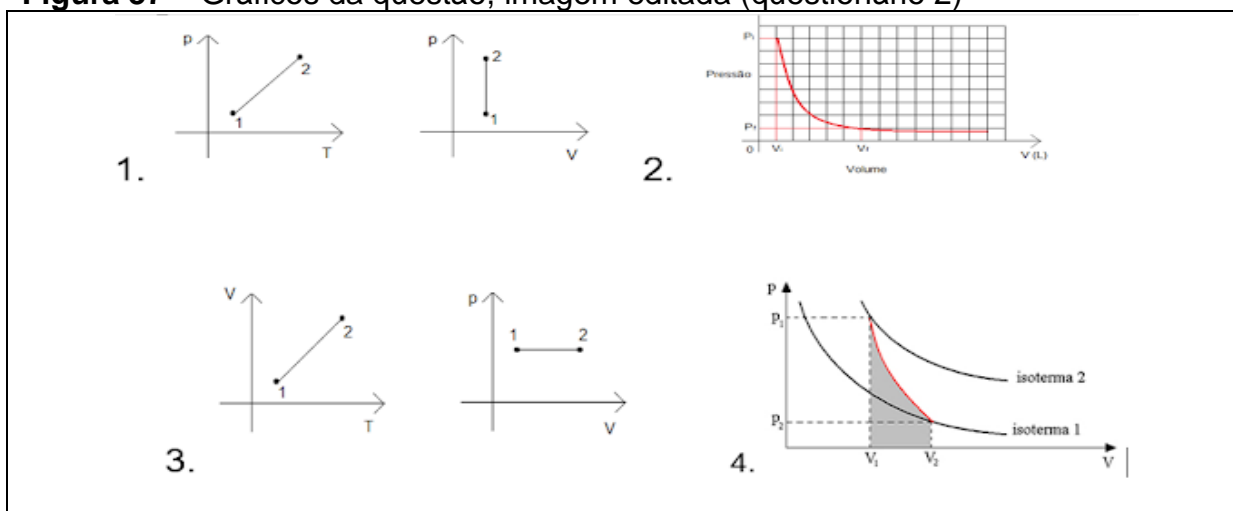


Fonte: Autor.

Apesar de não ser o resultado esperado para essa questão, ela não é um exercício de baixo nível de complexidade, pois exige um grau de interpretação maior e uma evolução da representação icônica e simbólica mais desenvolvida na estrutura cognitiva de cada um deles.

Entretanto, aprender a interpretar gráficos quando se trata das Leis da Termodinâmica é fundamental para descrever como qualquer sistema termodinâmico está se comportando sob a influência de suas variáveis de estado pressão, volume e temperatura. Essas grandezas foram trabalhadas durante todo o percurso da sequência didática criada para este trabalho.

A imagem da questão a seguir por si só descreve esse grau de complexidade exigido, porque nela é abordado o conceito de transformações gasosas.

**Figura 37 – Gráficos da questão, imagem editada (questionário 2)**

Fonte: Autor.

De modo geral, considerou-se um bom resultado o fato de sete (43,8%), dos 16 participantes terem acertado o exercício.

#### 5.2.12 Questões erradas com frequência no questionário 2:

**Figura 38 – Questões mais erradas (questionário 2)**

Perguntas erradas com frequência ?	
Pergunta	Respostas corretas
2. Considere uma garrafa térmica fechada com uma certa quantidade de água em seu interior. A garrafa é agitada fortemente por um longo período de tempo. Ao final desse período pode-se dizer que a temperatura da água:	6 / 16
3. Enquanto se expande, um gás recebe o calor $Q=100\text{J}$ e realiza o trabalho $W=70\text{J}$ . Ao final do processo, podemos afirmar que a energia interna do gás:	5 / 16
4. Durante a compressão de um gás, sob a ação de uma força constante, pode-se afirmar que:	6 / 16
6. Observe os gráficos numerados a seguir e assinale a alternativa que corresponde corretamente ao gráfico e ao seu número:	7 / 16

Fonte: Autor.

O desempenho pouco satisfatório obtido no questionário 2 refletiu em quatro perguntas erradas com frequência.

Entretanto, será notado que, ao passo que foi aplicado o método do reforço descrito por Bruner (1973c, p. 57) durante as correções feitas antes de iniciar cada aula subsequente, promoveu uma evolução teórica/conceitual sobre o tema abordado nesse trabalho.

### 5.2.13 Apresentação de resultados individuais obtidos: questionário 2

**Quadro 8 – Dados individuais de resultados do questionário 2**

Estudante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▲	▲	▼	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▼	▲	-	▲
Questão 2	▼	▼	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▼	▼	-	▲
Questão 3	▼	▼	▼	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▲	▼	▲	▼	▼	▼	-	▲
Questão 4	▼	▼	▼	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▼	▼	▲	▲	▼	▼	-	▼
Questão 5	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	▲
Questão 6	▲	▼	▼	▲	▼	▲	▼	▼	▲	▲	▼	▼	▼	▲	▼	-	▲

Fonte: Autor.

As legendas de cor vermelha no quadro 7, indicando alternativas erradas pelos participantes, ainda ocupam um volume considerável.

No entanto, no decorrer das resoluções dos outros questionários, a evolução de aprendizado ficará bem evidente pelo maior volume de preenchimento das legendas de cor azul, representando um número expressivo de acertos.

### 5.2.14 Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: questionário 3

O terceiro questionário faz uma abordagem da relação entre a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica. Além disso, trabalha o conceito de transformações gasosas por meio da interpretação gráfica.

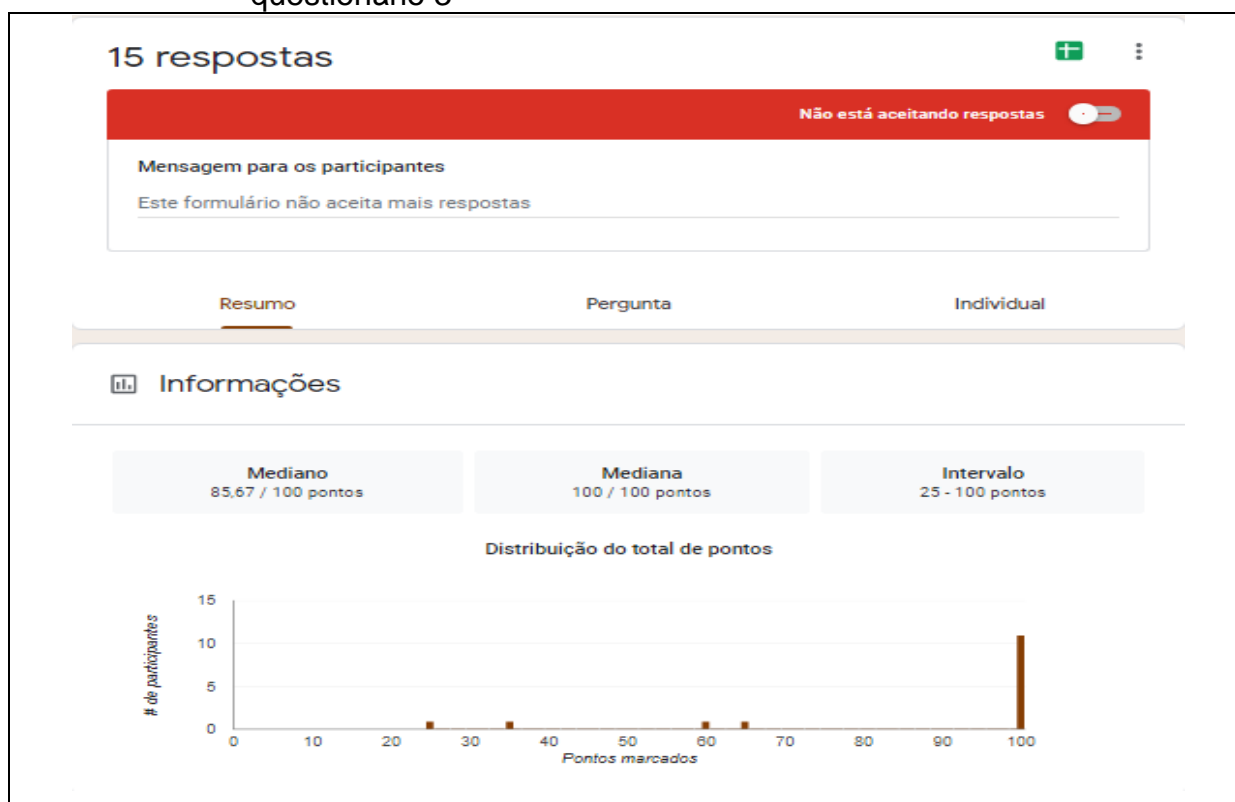
Uma vez mais, são explorados os modos de representação icônico e simbólico a respeito do assunto, pois exige a exploração de imagem e interpretação lógica e matemática como requisito para resolver os exercícios propostos.

Para não causar a impressão de que somente esses dois modos de representação são os que se exploram neste trabalho, o modo de representação ativo

é considerado quando os estudantes manuseiam os simuladores, e ainda pode ser levado em consideração quando são desenvolvidos experimentos com o grupo.

Esse modo de representação ativo, segundo Bruner (1973c, p. 52), caracteriza-se como um modo cognitivo no qual o indivíduo se desenvolve por meio da ação, manipulação do mundo por meio da ação e experiências com o ambiente externo.

**Gráfico 31** – Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 3



Fonte: Autor.

O gráfico acima demonstra que houve uma grande evolução de aprendizado, refletida nos resultados obtidos no terceiro questionário quando comparado com os anteriores.

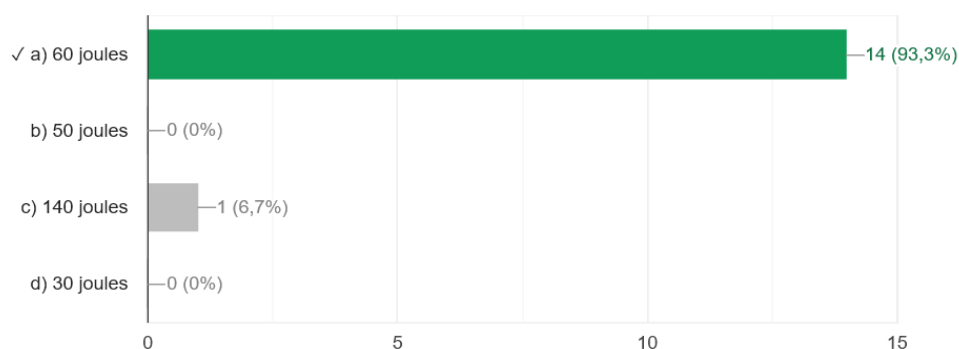
#### 5.2.15 Análise dos Resultados das Questões do Questionário 3: dados gerais

Essa primeira questão, como observado no gráfico logo abaixo, é a que descreve uma relação entre a Lei da Conservação da Energia e a Segunda Lei da Termodinâmica.

### Gráfico 32 – Dados gerais da questão 1 (questionário 3)

1. Observe a figura esquemática a seguir que representa uma máquina térmica. Imagine que nela, está contido um recipiente com água que ao ser aquecida produz grande quantidade de gás capaz de empurrar um pistão, por exemplo. Considerando que receba 100 joules de energia na forma de calor e realize 40 joules na forma de trabalho, quanto dessa energia é destinada para a fonte fria?

14 / 15 respostas corretas



Fonte: Autor.

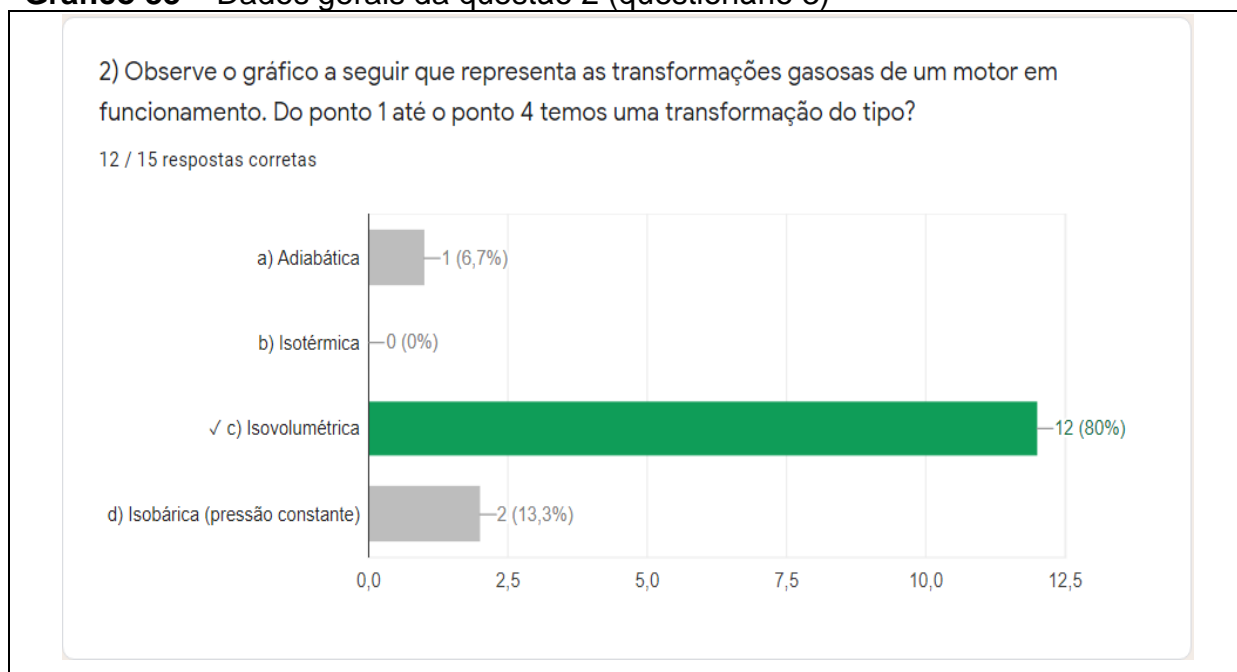
A situação dessa primeira questão é semelhante àquela na qual a maioria dos participantes havia errado no pré-questionário 2. Mesmo usando um esquema de uma suposta máquina a vapor como exemplo, a ideia principal foi trabalhar o conceito da conservação da energia (balanço energético) da Primeira Lei da Termodinâmica, novamente por meio da aplicação da equação “intuitiva” ( $\Delta U = E_R - E_L$ ).

Todavia, o resultado agora descrito foi o oposto do anteriormente analisado, visto que houve uma evolução extremamente significativa. Apenas um estudante errou essa questão; em outras palavras, pode-se dizer que 93,3% acertaram e apenas 6,7% não acertaram.

A intenção com essa questão não foi testar a capacidade matemática dos participantes, mas apenas verificar se o grupo conseguiu compreender como funciona esse fluxo da energia e uma de suas principais influências nesse sistema, que é demonstrar a impossibilidade de aproveitamento integral da energia nesse processo.

Para isso, foram realizadas discussões acerca da questão após a entrega do questionário, com intuito de iniciar uma formação conceitual a respeito da Segunda Lei da Termodinâmica.

Analisando a questão 2 a seguir:

**Gráfico 33 – Dados gerais da questão 2 (questionário 3)**

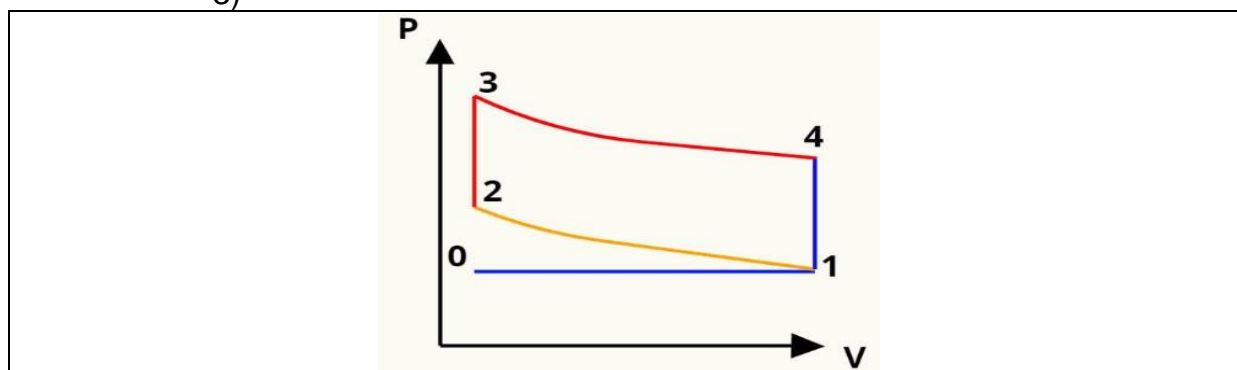
Fonte: Autor.

Essa questão foi muito importante para trabalhar novamente a definição de transformações gasosas, em especial, a isovolumétrica.

Ao comparar o resultado da segunda e da terceira questão com aquela que abordou vários gráficos em um só exercício, neste, apesar de trabalhar com apenas um gráfico, o resultado foi bem melhor do que naquele referente à sexta questão do questionário 2.

Dos 15 participantes, 12 (80%) acertaram essa questão e somente três (20%) erraram.

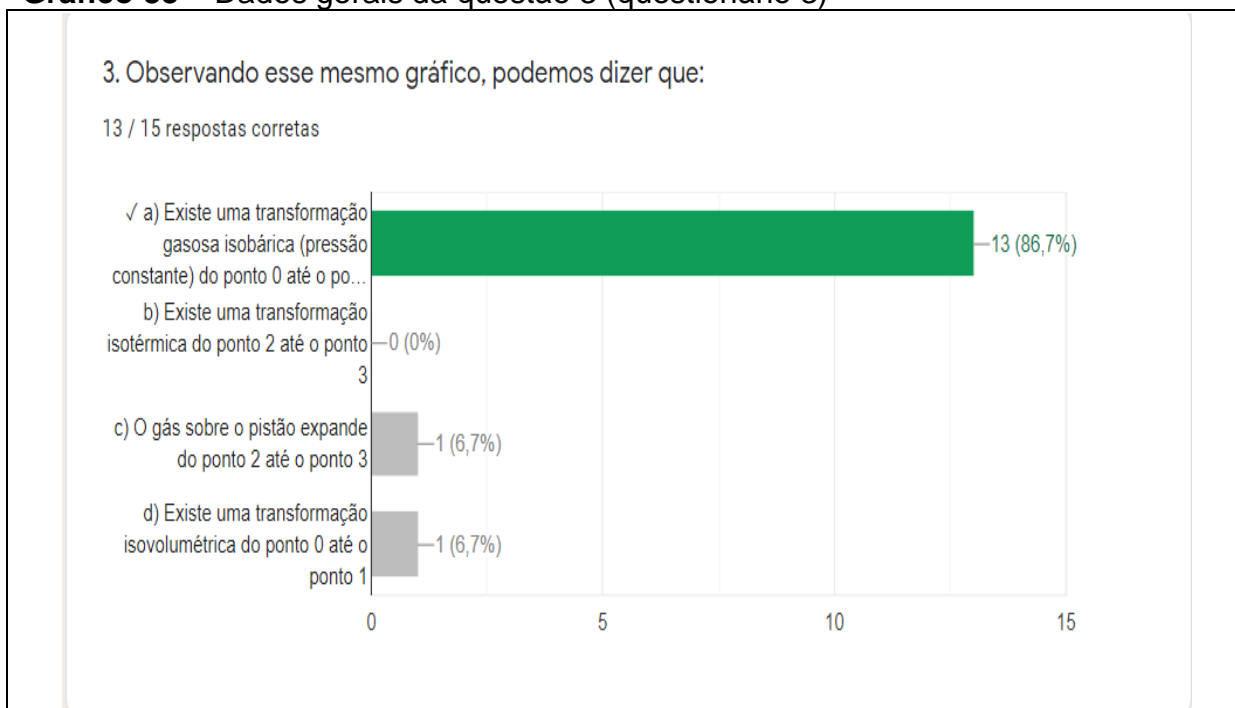
A imagem a seguir é a que foi usada para ilustrar a pergunta:

**Gráfico 34 – Imagem gráfica das mudanças entre as variáveis de estado (questionário 3)**

Fonte: Prepara Enem ([2021]).

Analisando a questão 3 a seguir:

**Gráfico 35 – Dados gerais da questão 3 (questionário 3)**



Fonte: Autor.

O resultado obtido nessa terceira questão foi ainda melhor. Usando o mesmo gráfico para ilustrá-la, 13 participantes (86,7%) dentre os 15 acertaram-na e apenas dois (13,4%) erraram-na.

A partir deste terceiro questionário até a avaliação final, ficará mais evidente a evolução de aprendizado deste grupo de estudo.

Isso começa a ser notado também por este ser o primeiro entre os questionários anteriores no qual não há descrição de questões erradas com frequência.

#### 5.2.16 Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: questionário 3

**Quadro 9 – Dados individuais de resultados do questionário 3**

Estudante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	-	-
Questão 2	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	-	-
Questão 3	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-

Fonte: Autor.

O quadro de número 8, de resultados individuais dos participantes, comprova com mais clareza, por meio das legendas de cor azul, que a evolução foi significativa em comparação com os quadros descritos inicialmente.

Esse modo de descrever os resultados individuais por legendas coloridas e invertidas facilita a análise por uma simples percepção visual.

#### 5.2.17 Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: questionário 4, parte 1

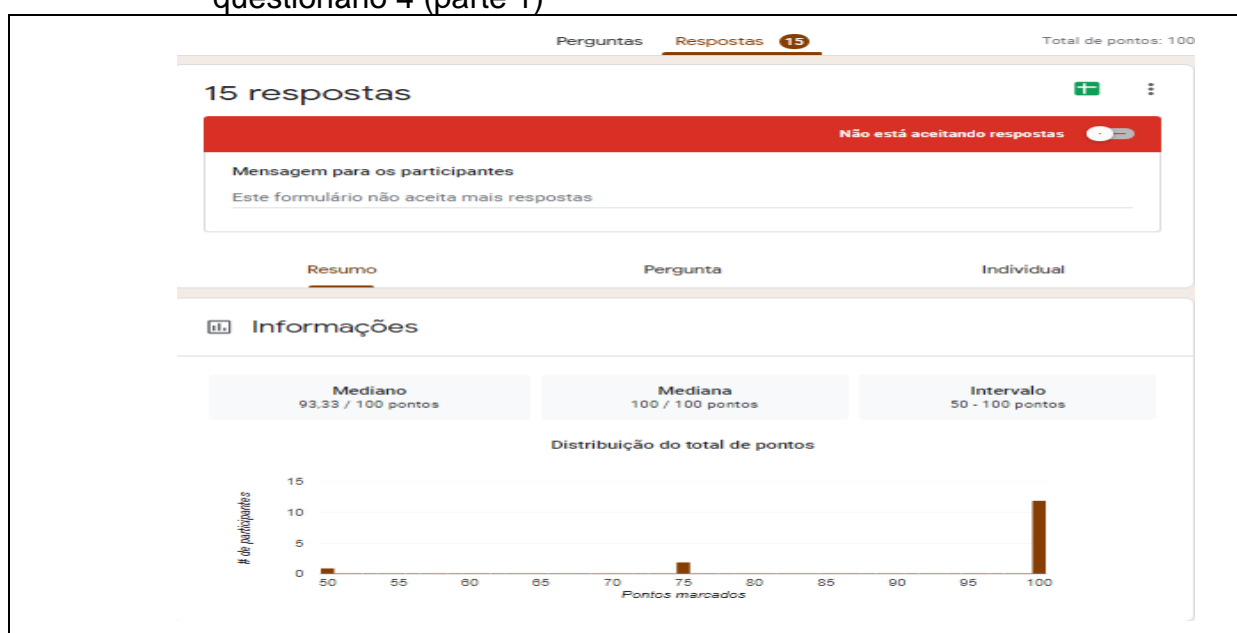
O quarto questionário encontra-se dividido em duas partes. A primeira é teórica e inclui exercícios de vestibular e de concurso (adaptados) sobre a Segunda Lei da Termodinâmica, funcionamento das máquinas térmicas a vapor (motores à combustão interna e externa).

Já a segunda parte aborda questões do tipo experimental, relacionadas às transformações gasosas, influência das variações de temperatura, volume e pressão, submetidas à adição e/ou retirada do calor nesses sistemas.

Essas partes, portanto, serão analisadas separadamente para melhor compreensão dos resultados logo na sequência.

Analisando os dados gerais do questionário 4, parte 1, a seguir:

**Gráfico 36** – Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 4 (parte 1)

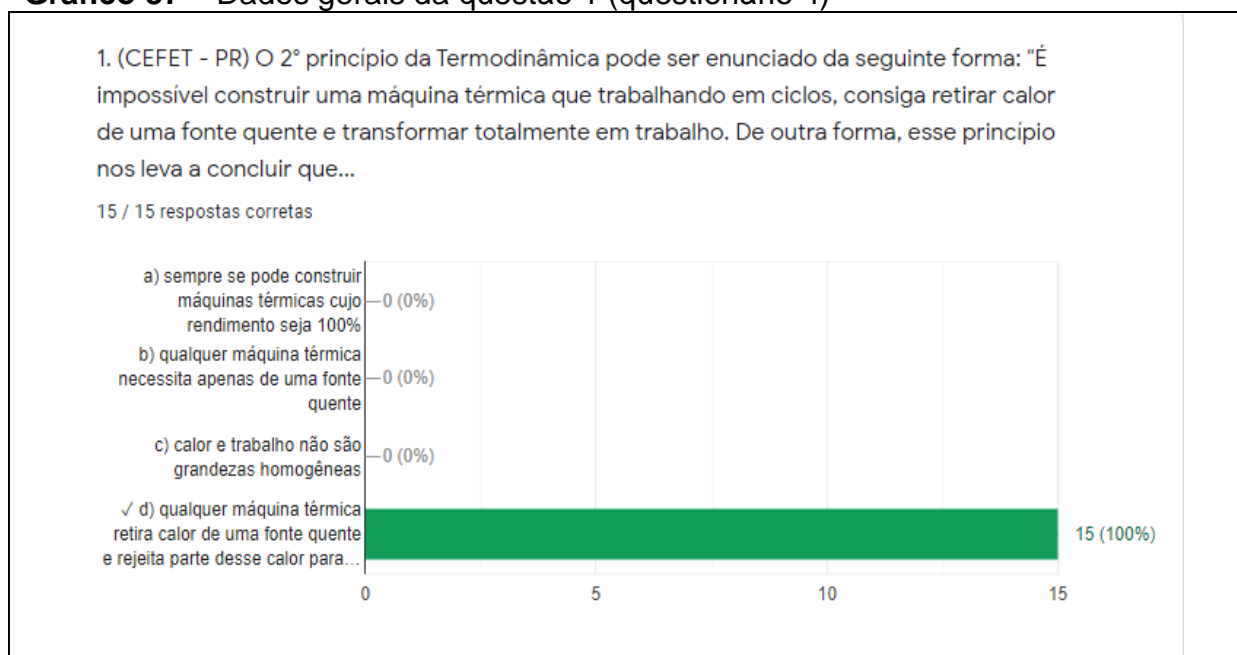


Fonte: Autor.

Os dados da descrição do gráfico acima demonstram uma prévia do bom desempenho dos participantes. Esses resultados serão mais bem compreendidos conforme as análises de cada questão a seguir.

#### 5.2.18 Análise das questões do questionário 4: dados gerais, parte 1

**Gráfico 37 – Dados gerais da questão 1 (questionário 4)**



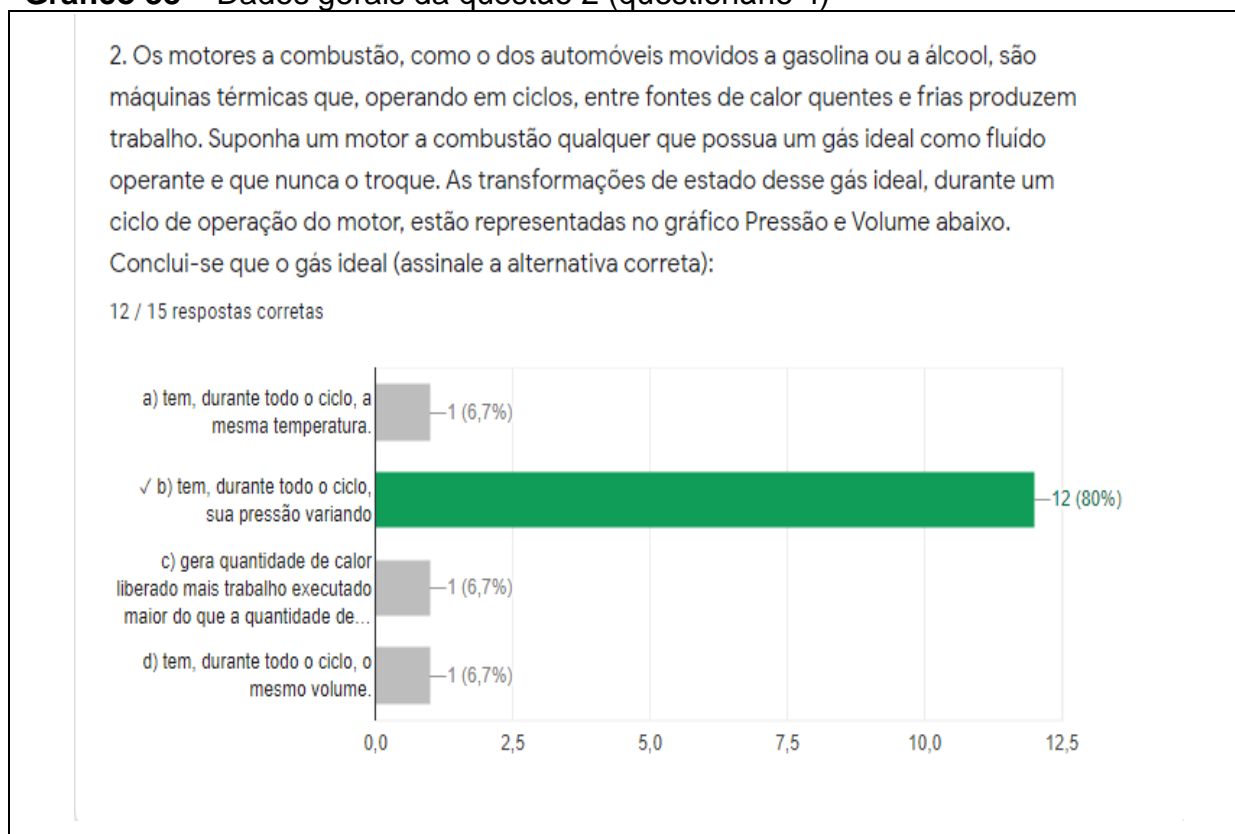
**Fonte:** Autor.

A primeira questão descreve um saldo muito positivo, visto que os estudantes atingiram uma parcela de 100% de acertos. Além disso, a questão trata da Segunda Lei da Termodinâmica e, para respondê-la corretamente, é necessário que o estudante tenha formado uma boa base conceitual acerca do fluxo de energia térmica (calor), indispensável ao funcionamento das máquinas térmicas.

Em outras palavras, a alternativa assinalada demonstra a compreensão dos estudantes sobre o fato de que uma máquina térmica, operando em ciclo termodinâmico, retira energia na forma de calor de uma fonte quente, e parte desta energia é transformada em trabalho, com uma parcela restante dissipada em outra fonte térmica, a fria.

Para não cair no esquecimento, é necessário lembrar que as alternativas das questões podem ser encontradas na íntegra na parte do produto educacional referente.

Analisando a questão 2, a seguir:

**Gráfico 38 – Dados gerais da questão 2 (questionário 4)**

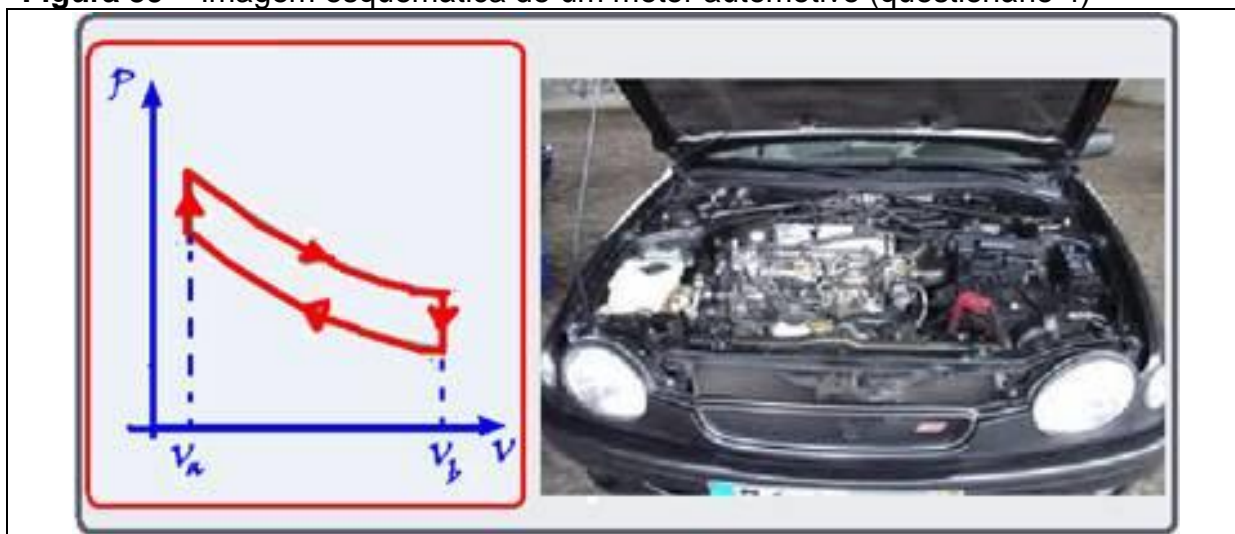
Fonte: Autor.

Embora na segunda questão o resultado não tenha atingido 100% de acertos, os dados fornecem uma resposta ótima para a pergunta proposta, porque para respondê-la, foi necessária uma interpretação gráfica mais exigente, considerando que o grupo é composto por estudantes de 11 e 12 anos (sexta e sétima séries).

Ressalta-se ainda que essa é outra questão de vestibular retirada da página “Física e Vestibular”, cujo “link” encontra-se logo abaixo da figura.

Para não ficar somente em relatos, basta observar e analisar o gráfico a seguir, do qual se exigiu essa interpretação (exploração da representação icônica):

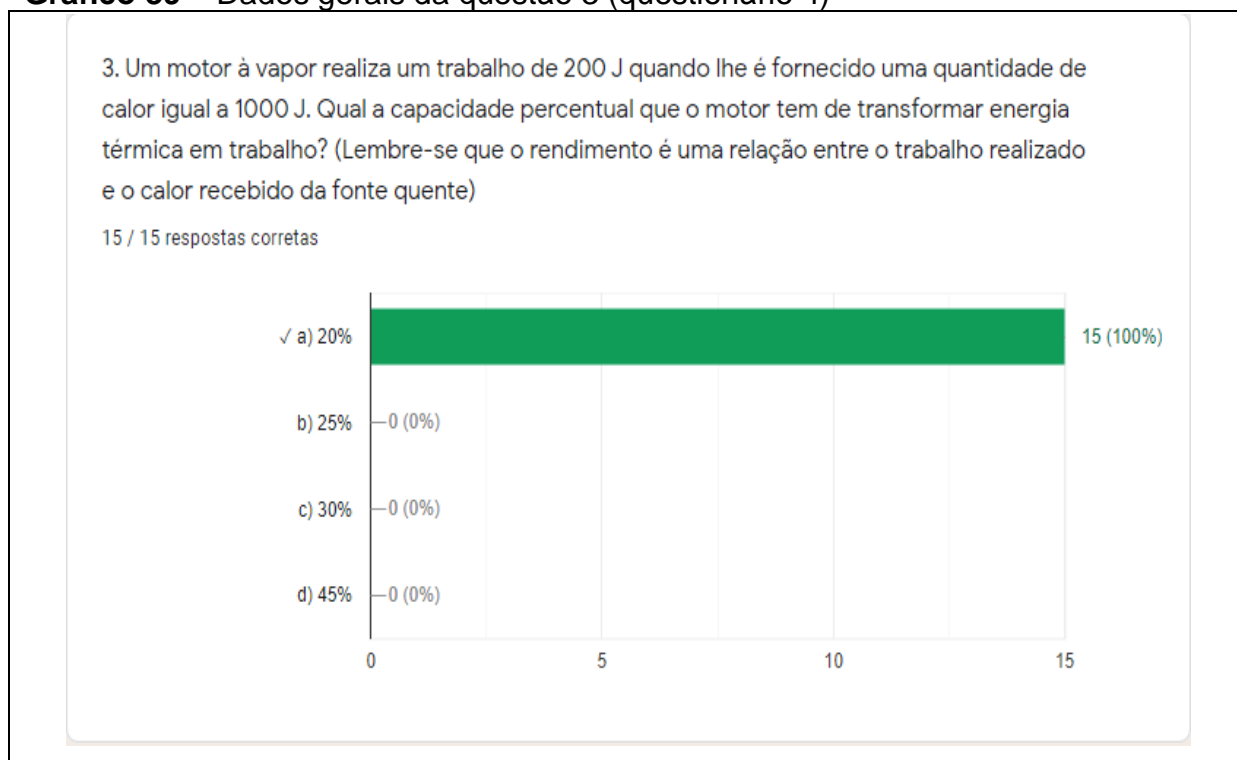
**Figura 39** – Imagem esquemática de um motor automotivo (questionário 4)



Fonte: (FISICA..., c2011).

Em síntese, essa questão foi ideal para comprovar que a maioria conseguiu analisar as transformações gasosas relacionadas ao funcionamento de um motor à combustão interna, graficamente.

Analisando a questão 3 a seguir:

**Gráfico 39 – Dados gerais da questão 3 (questionário 4)**

Fonte: Autor.

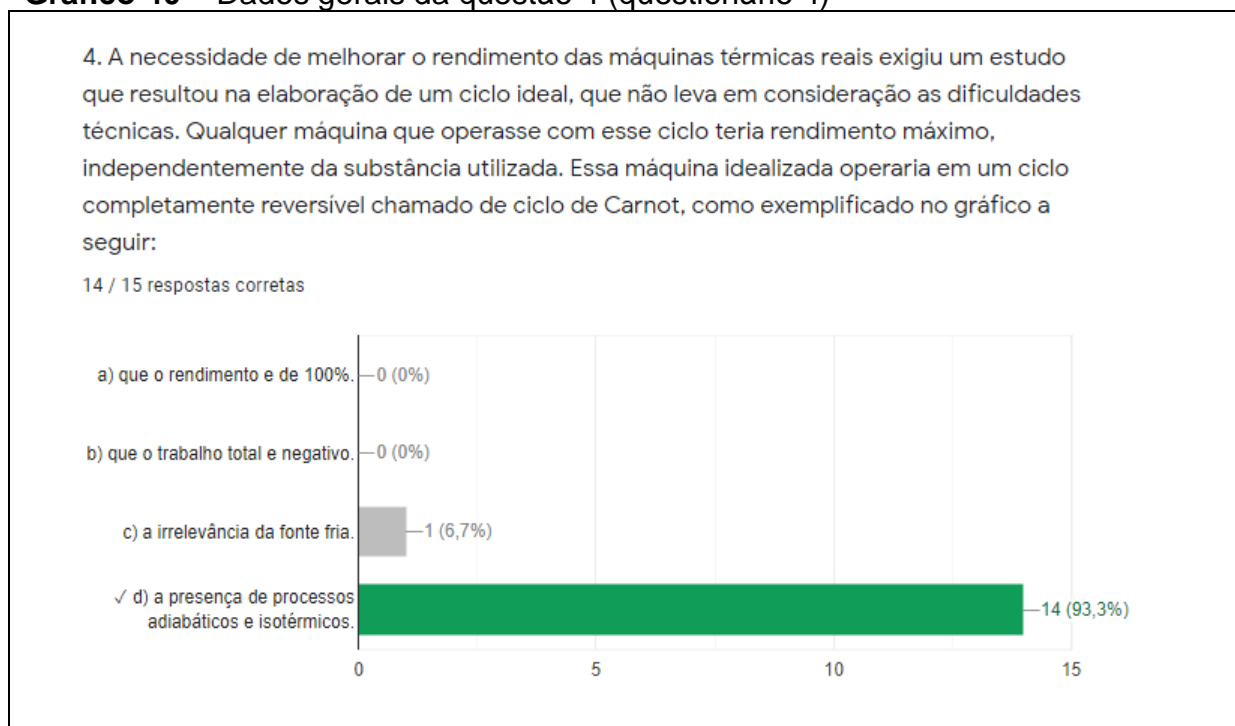
A pergunta acima serviu para verificar matematicamente o aprendizado sobre o rendimento de uma máquina térmica.

Esse argumento pode ainda ser reforçado ao lembrar que, na primeira questão do referido questionário, os participantes haviam demonstrado compreender que nenhuma máquina operando em ciclo termodinâmico conseguiria transformar integralmente o calor recebido da fonte quente em trabalho mecânico.

Ademais, essa compreensão será outra vez comprovada quando analisarmos os dados da próxima questão, que trabalha o conceito base sobre o Ciclo de Carnot.

Analisando a questão 4 a seguir:

### Gráfico 40 – Dados gerais da questão 4 (questionário 4)



Fonte: Autor.

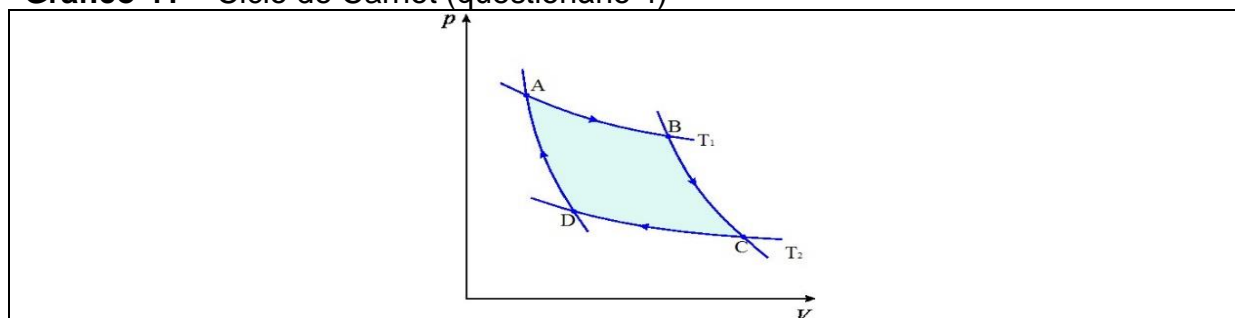
O que se pode concluir desses resultados é que, mais uma vez, eles foram satisfatórios.

Apenas um membro do grupo analisado provavelmente se equivocou ao marcar a alternativa c (6,7%) contra os 14 acertos (93,3%). Isso porque todos demonstraram um entendimento significativo até então.

De modo geral, pode-se dizer que eles compreenderam que o rendimento de um dispositivo térmico não chega a 100% de trabalho. Isso foi observado em praticamente todas as questões desse questionário.

O gráfico da quarta questão, que exigiu mais uma vez a exploração da representação icônica, encontra-se ilustrado a seguir:

### Gráfico 41 – Ciclo de Carnot (questionário 4)



Fonte: Teixeira ([2021]).

### 5.2.19 Questões Erradas com Frequência no Questionário 4: parte 1

Como mencionado, novamente não houve perguntas erradas com frequência, e essa é a maior comprovação de uma evolução de aprendizado até o momento. Não somente isso, mas os resultados da segunda parte desse questionário e da avaliação final foram extremamente significativos.

Aproveita-se aqui o momento para lembrar que, de uma maneira bem simplificada, isso é o que Bruner denomina de potência efetiva, o progresso do educando no processo de ensino-aprendizagem. Como ele mesmo explica, “refere-se ao valor criativo de seu conjunto de proposições aprendidas” (BRUNER, 1973c, p. 54).

### 5.2.20 Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: questionário 4, parte 1

**Quadro 10** – Dados individuais de resultados do questionário 4, parte 1

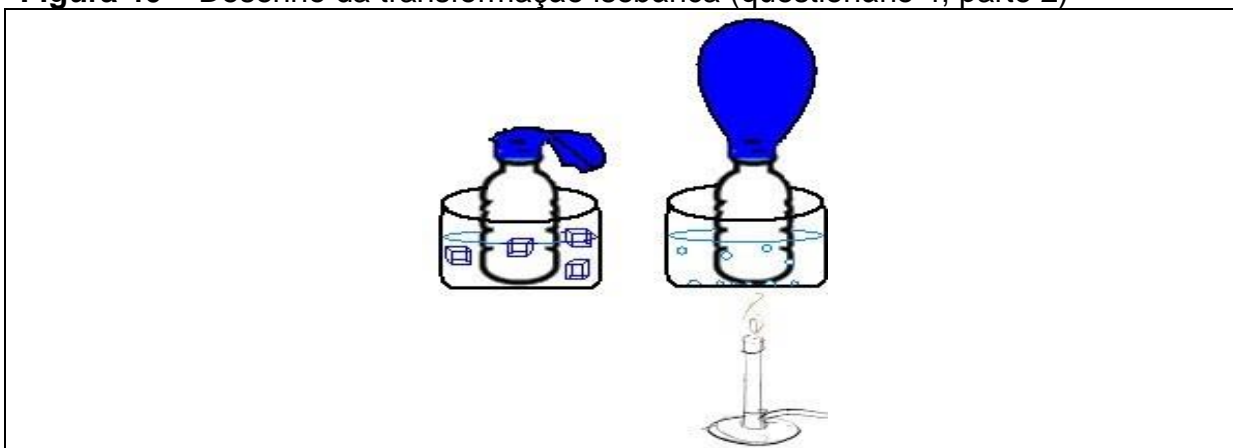
Estudante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 2	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	-	-
Questão 3	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 4	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-

Fonte: Autor.

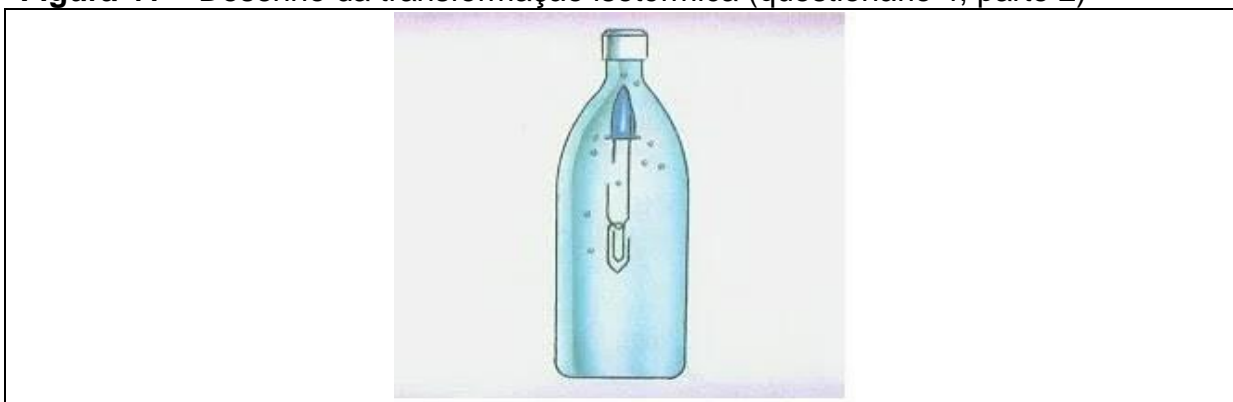
É notável um quadro cada vez mais colorido de azul, conforme os questionários foram aplicados no decorrer de cada aula ministrada. Isso é um bom indicativo de que o objetivo principal desse trabalho, a evolução de conhecimentos dos participantes, vem sendo alcançado desde então.

Analisando a parte 2 do questionário 4, a seguir:

Como mencionado, a segunda parte desse questionário aborda questões da termodinâmica por meio da experimentação, e as figuras a seguir ilustram-nas e representam cada experiência realizada nesse instante da aula da referente sequência didática:

**Figura 40** – Desenho da transformação isobárica (questionário 4, parte 2)

Fonte: Fogaça ([2021]).

**Figura 41** – Desenho da transformação isotérmica (questionário 4, parte 2)

Fonte: (SUBMARINAO..., 2016).

**Figura 42** – Desenho de uma mini máquina térmica a vapor

Fonte: Farias (2009).

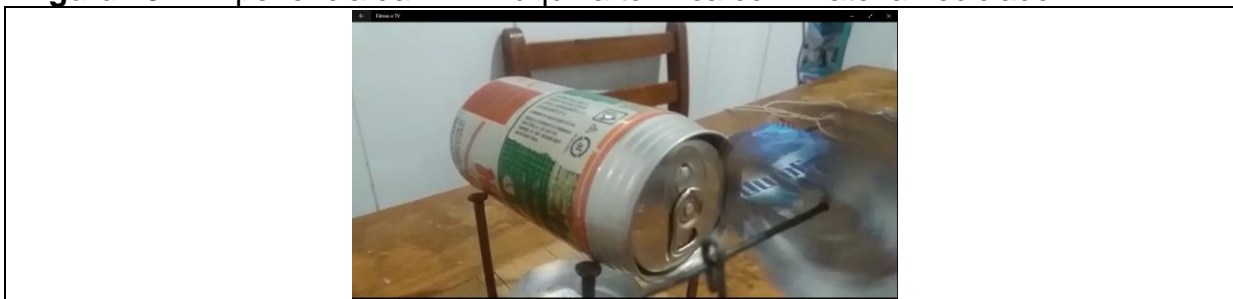
As fotografias abaixo, por outro lado, foram tiradas durante o momento em que as experiências sobre o conteúdo foram realizadas, como demonstram as figuras 43, 44 e 45, respectivamente:

**Figura 43** – Experiência da transformação gasosa isovolumétrica

Fonte: Autor.

**Figura 44** – Experiência da transformação gasosa isobárica

Fonte: Autor.

**Figura 45** – Experiência da mini máquina térmica com material reciclado

Fonte: Autor.

Logo em seguida, analisar-se-á os resultados obtidos em relação a mais este questionário aplicado.

#### 5. 2. 21 Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: questionário 4, parte 2

Acredita-se que essa maneira de sequenciar as análises facilita a visualização e a compreensão por parte do leitor. Por isso, os números podem ser novamente observados por meio do gráfico de resultados de dados gerais, que se segue:

**Gráfico 42** – Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 4 (parte 2)

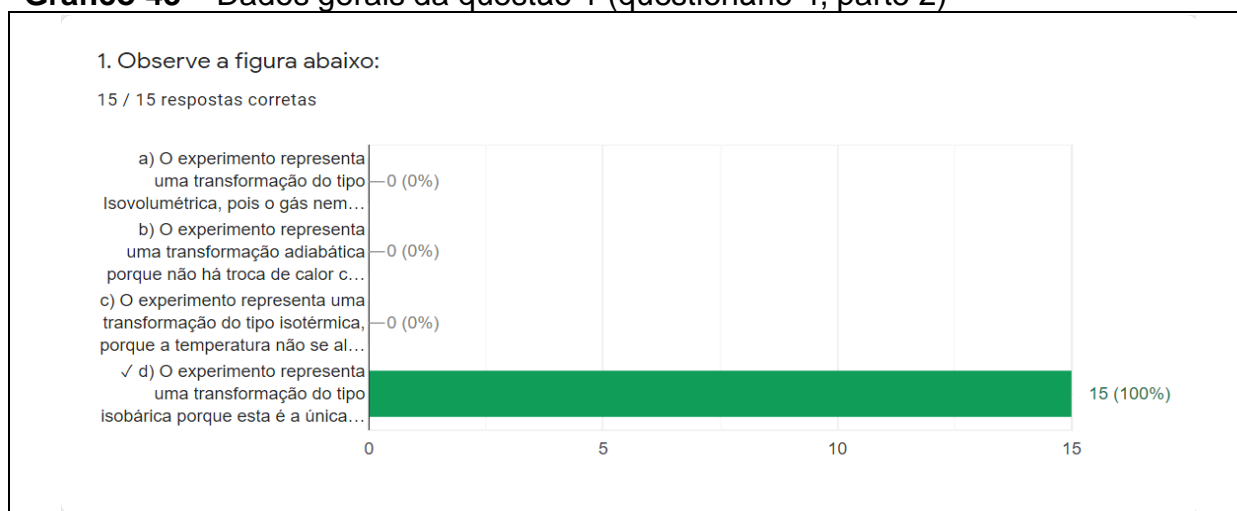


Fonte: Autor.

Apesar de ser repetitivo o argumento, cada vez mais é notável a evolução dos participantes, que fica claro ao avaliar os resultados do gráfico geral, mediano (96,67/100 pontos), mediana (100/100 pontos) para um intervalo de (50-100 pontos) nesse formulário.

#### 5.2.22 Análise das questões do questionário 4: dados gerais, parte 2

**Gráfico 43** – Dados gerais da questão 1 (questionário 4, parte 2)



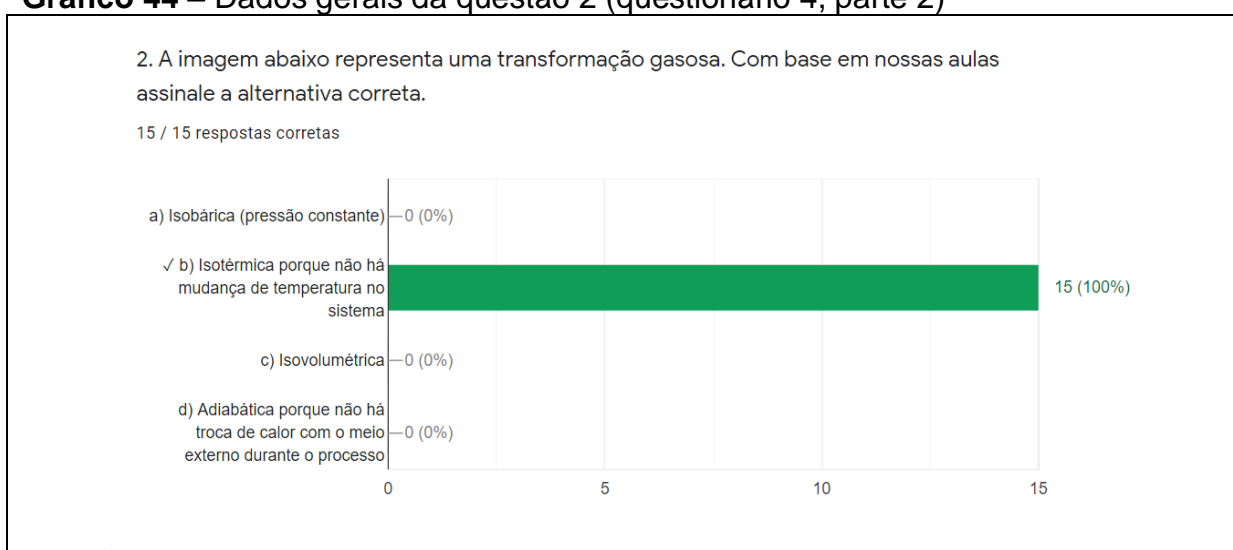
Fonte: Autor.

O gráfico por si só demonstra o bom resultado atingido, 100%. Isso indica que não apenas sobre questões teóricas, mas também experimentais, os estudantes conseguiram compreender o processo por trás da dinâmica de um gás. Esse entendimento é fundamental para saber como é o procedimento básico de funcionamento de qualquer dispositivo térmico.

A imagem que ilustrou essa questão foi a da figura 40, encontrada na descrição de abertura desse formulário, logo acima.

Analisando a questão 2, a seguir:

#### Gráfico 44 – Dados gerais da questão 2 (questionário 4, parte 2)



Fonte: Autor.

A imagem utilizada na ilustração dessa questão foi a da figura 41. Como observado graficamente, todos acertaram o que foi proposto.

Analisando a questão 3, a seguir:

**Gráfico 45 – Dados gerais da questão 3 (questionário 4, parte 2)**

Fonte: Autor.

Apesar de a terceira questão ter sido alterada por uma falha no sistema (Google Forms) – o termo usado pelos estudantes é “bug”, palavra de origem americana que se refere a falha, erro – a tarja verde no gráfico foi editada no programa Paint, com os mesmos resultados do gráfico original.

Ainda assim, o gráfico 42, dos dados gerais no tópico inicial dessa segunda parte desse questionário, pode comprovar essas respostas, para que haja transparência no resultado que precisou ser editado, devido a essa falha no sistema do Forms.

No entanto, os resultados por si só explicam uma importante parcela de acertos sobre esse exercício que explorou a relação entre a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica.

#### 5.2.23 Questões Erradas com Frequência no Questionário 4:

Uma vez mais, não houve perguntas erradas com frequência. Essa é mais uma comprovação do bom desempenho dos estudantes acerca das resoluções de alternativas teóricas e práticas proposta aos participantes da pesquisa.

Em geral, Bruner atribui essa questão ao que denomina potência efetiva, que, como descrita no terceiro capítulo, é o fator que promove uma análise detalhada dos resultados desenvolvidos pelo estudante, sua progressão no processo de ensino

aprendizagem. Bruner o descreve como “valor criativo de um conjunto de proposições aprendidas.” (BRUNER, 1973c, p. 54).

É óbvio que, para conquistar esse desempenho positivo até aqui e a partir de então, é preciso pontuar também a questão dos fatores de predisposição (ativação, manutenção e direção), haja vista que, segundo Bruner (1973c, p. 55), a forma como uma sequência de ensino é criada pode influenciar o aprendizado do educando.

#### 5.2.24 Apresentação de Resultados Individuais Obtidos: questionário 4, parte 2

**Quadro 11** – dados individuais de resultados obtidos no questionário 4, parte 2

Estudante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 2	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	-	-
Questão 3	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		

**Fonte:** Autor.

O quadro de número 10, por exemplo, ilustra o excelente resultado com clareza, pois praticamente todos os quadriculados foram preenchidos pelo triângulo azul (representando o número de acertos).

Seguindo com a pesquisa, após os bons resultados coletados até o momento, o professor conseguiu aprofundar um pouco mais sobre o conteúdo (currículo em espiral). Isso foi feito pela sequência didática que se encontra no produto educacional deste trabalho, antes da aplicação do último questionário, que será descrito na sequência.

## 5.2.25 Apresentação de Resultado de Dados Gerais Obtidos: questionário 5

**Gráfico 46** – Número de participantes e descrições gerais de pontuação do questionário 5

Fonte: Autor.

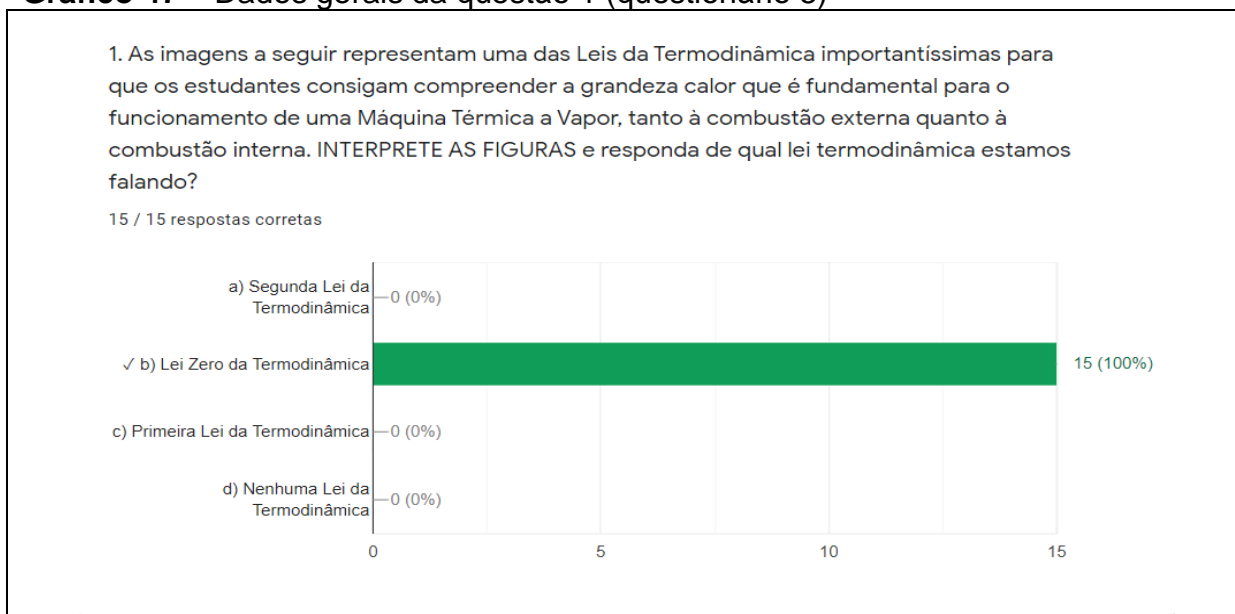
O gráfico supracitado descreve a evolução de resultados significativamente positiva atingida.

Os dados descritos demonstram uma pontuação excelente, que pode ser observada por análise dos valores entre o intervalo 90-100. Ou seja, do total de respostas, apenas um participante atingiu 90% de pontuação; os demais atingiram 100% após a avaliação final.

É importante salientar que nesta avaliação foram trabalhados desde os conceitos iniciais da Termologia abordados na pesquisa até os conceitos necessários para a compreensão das definições, das propriedades e dos fenômenos físicos por trás do funcionamento das máquinas térmicas.

Além disso, é importante ressaltar que algumas questões abordadas nesse último questionário avaliativo são de grandes vestibulares do Brasil. Inclusive, duas delas são da Universidade Estadual de Londrina (UEL), do qual essa pesquisa de mestrado faz parte.

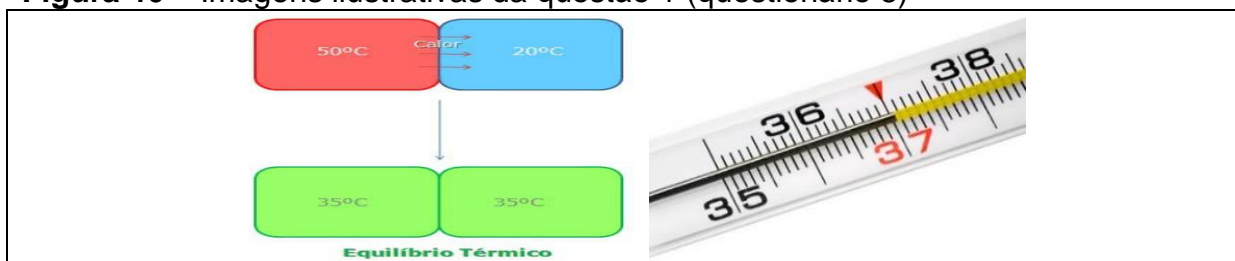
## 5.2.26 Análise das Questões do Questionário 5: dados gerais

**Gráfico 47 – Dados gerais da questão 1 (questionário 5)**

Fonte: Autor.

A questão de número 1 descreve um excelente resultado, com 100% de acertos.

Interessante é que essa questão e a próxima trabalharam o conceito das Leis Termodinâmicas e as propriedades de algumas grandezas físicas envolvidas, tais como o calor, a temperatura e a variação da energia interna (Lei Zero e Primeira Lei) de maneira interpretativa, como mostram as figuras logo a seguir:

**Figura 46 – Imagens ilustrativas da questão 1 (questionário 5)**

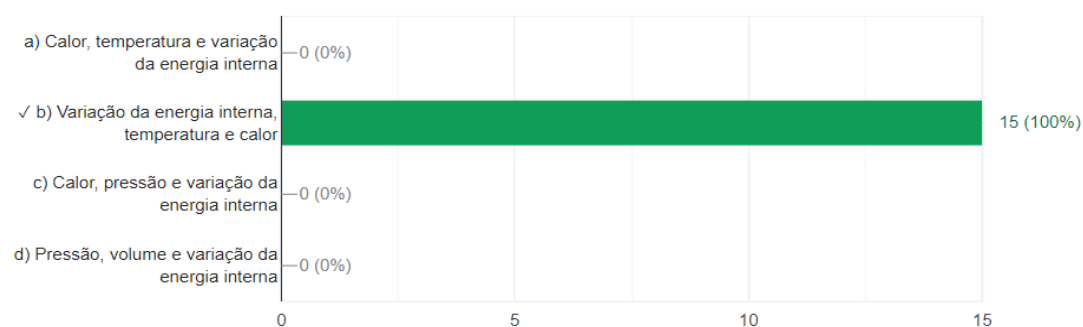
Fonte: Gouveia ([2021]); Aconteceu no Vale ([2021]).

Analisando a questão 2 do questionário final, a seguir:

### Gráfico 48 – Dados gerais da questão 2 (questionário 5)

2. Do ponto de vista microscópico, podemos definir três grandezas físicas que se encontram intimamente ligadas e presentes em todos os sistemas termodinâmicos e, mesmo quando nulas, elas contribuem de alguma forma no processo. Uma delas está associada diretamente ao grau de agitação das partículas (energia cinética média). De acordo com as figuras abaixo, quais são essas grandezas representadas nas imagens, respectivamente (na ordem em que aparecem)? Assinale a opção correta.

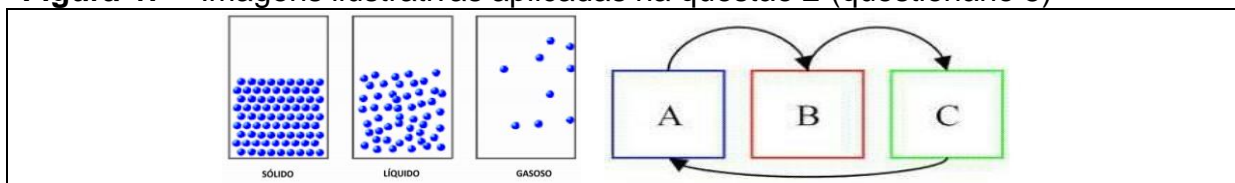
15 / 15 respostas corretas



Fonte: Autor.

As imagens a seguir foram adicionadas na ilustração dessa questão, que também atingiu a pontuação máxima de acertos:

### Figura 47 – Imagens ilustrativas aplicadas na questão 2 (questionário 5)

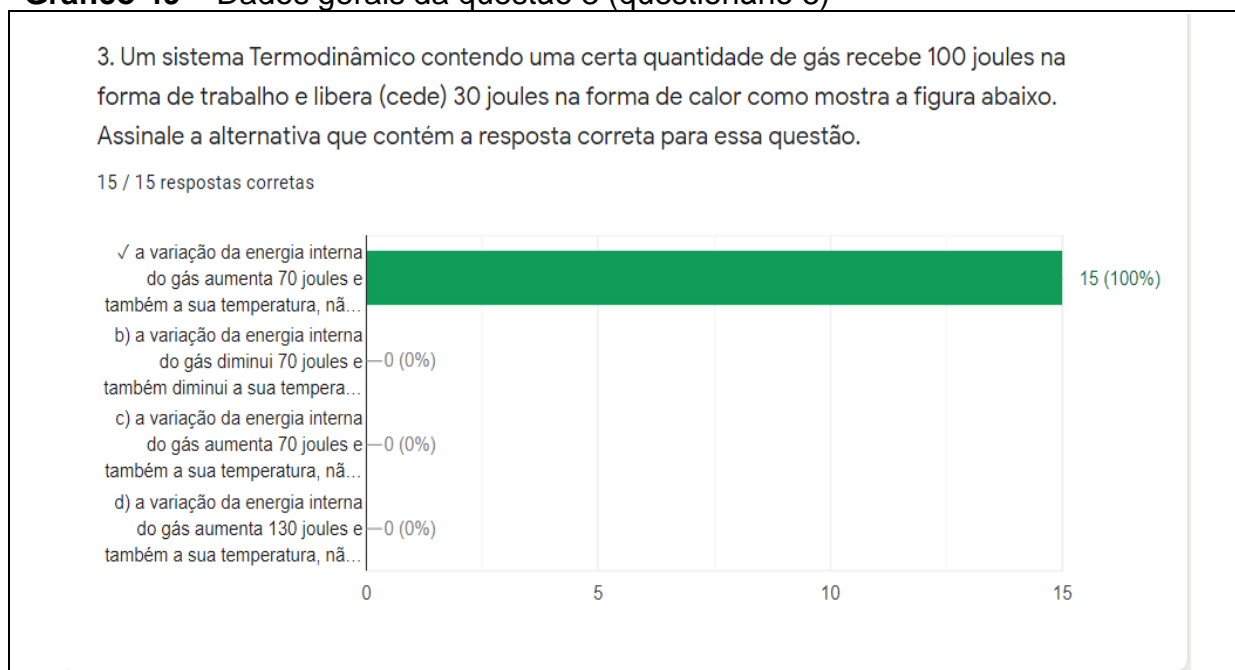


Fonte: (ENUNCIE..., [2021]).

É possível verificar que foi necessário mais uma vez um certo grau de interpretação das imagens pelos estudantes para responder à questão 2 (exploração da representação icônica).

Analisando a questão 3 do questionário final, a seguir:

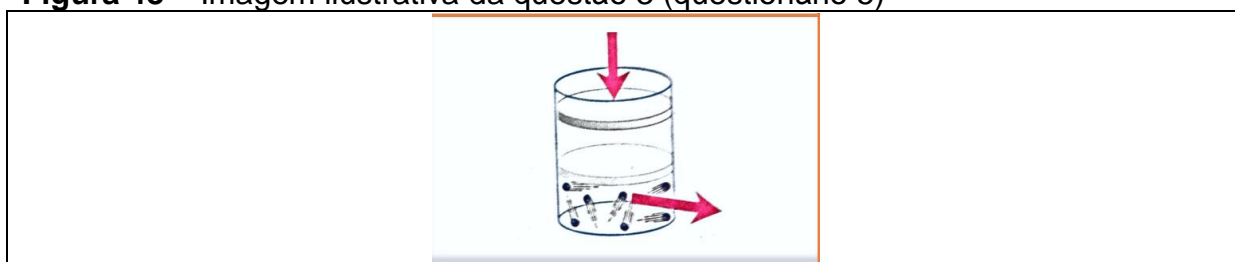
### Gráfico 49 – Dados gerais da questão 3 (questionário 5)



Fonte: Autor.

Essa foi outra questão de suma importância, não apenas pelos resultados, mas porque trabalhou o conceito de Conservação de Energia (Primeira Lei da Termodinâmica) e o conceito entre a relação de grandezas físicas envolvidas nos processos termodinâmicos, como o calor, o trabalho realizado pelo gás ou sofrido pelo gás e as demais grandezas, como a temperatura (de maneira explícita) e a variação da energia interna (de maneira implícita), como demonstra a figura a seguir:

### Figura 48 – Imagem ilustrativa da questão 3 (questionário 5)



Fonte: Fernandes (2020).

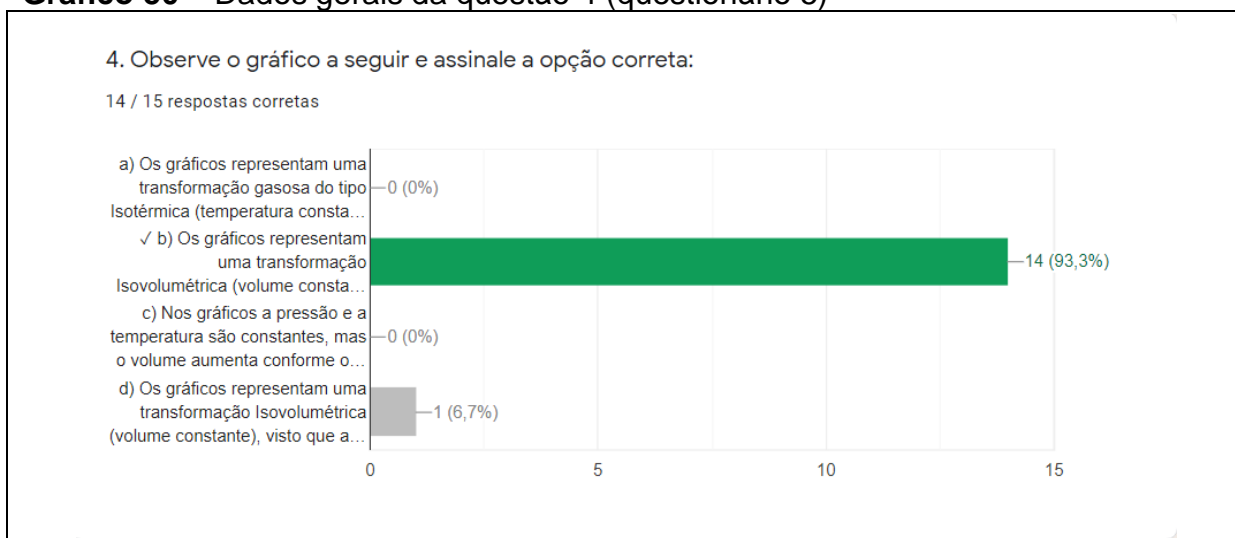
Podemos dizer que o método “intuitivo” proposto na aplicação do produto educacional desse trabalho foi necessário e eficaz para resolver essa questão e explorou o estágio de desenvolvimento simbólico (lógico-matemático), descrito na Teoria de Ensino de Jerome Bruner (BRUNER, 1973c, p. 52).

Questão semelhante a essa foi trabalhada no pré-questionário 2, usando como facilitador nesse processo a aplicação do método “intuitivo”, que é lembrado logo a seguir:

$$\Delta U = ER - EL$$

Analisando a questão 4 do questionário final, a seguir:

**Gráfico 50 – Dados gerais da questão 4 (questionário 5)**

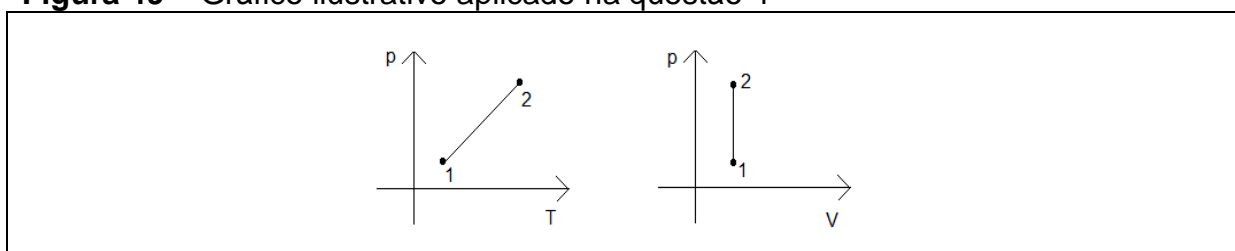


Fonte: Autor.

Respeitando outra vez a Teoria de Ensino Prescritiva de Jerome Bruner, exploramos novamente a representação icônica do grupo para essa questão. Para ele, nesse estágio de desenvolvimento (icônico), o educando compreende a interação de diagramas, gráficos e ícones, mas sem defini-los totalmente (BRUNER, 1973c, p. 52).

Para isso, os seguintes gráficos foram ilustrados nessa questão:

**Figura 49 – Gráfico ilustrativo aplicado na questão 4**



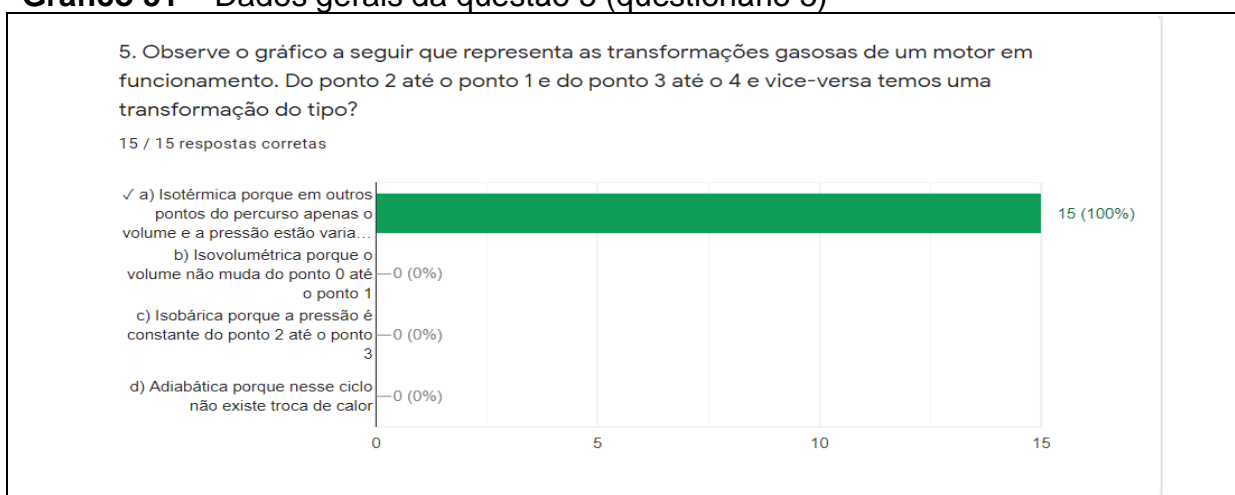
Fonte: Evangelista ([2021]).

Embora um participante não tenha acertado a questão, o objetivo foi atingido, já que era de se esperar que a maioria tivesse absorvido o principal conceito a respeito da transformação isovolumétrica e ainda fosse capaz de enxergar isso por meio da interpretação gráfica, novamente.

Com isso, 14 estudantes acertaram (93,3%) e mais um resultado positivo pode ser contemplado.

Analisando a questão 5 do questionário final, a seguir:

**Gráfico 51 – Dados gerais da questão 5 (questionário 5)**

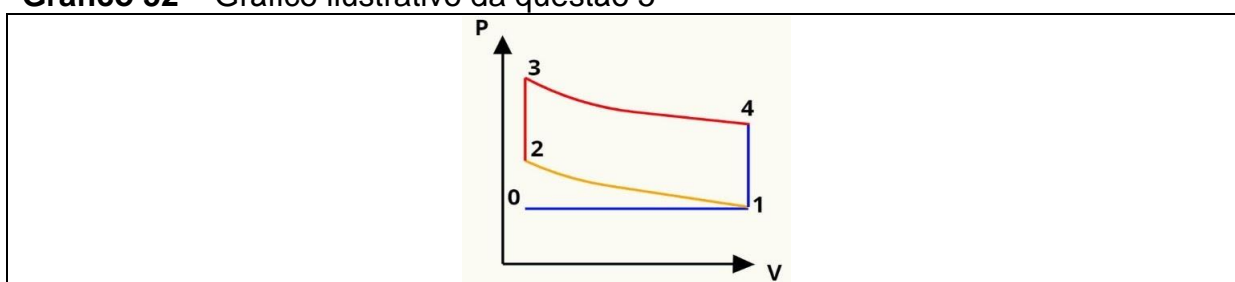


Fonte: Autor.

O resultado da questão 5, assim como veremos na subsequente, são comprovações do aprendizado dos estudantes acerca das transformações gasosas por meio da interpretação gráfica.

A seguir, como exemplo, encontra-se o gráfico usado para ilustrar a questão 5 dessa avaliação final:

**Gráfico 52 – Gráfico ilustrativo da questão 5**

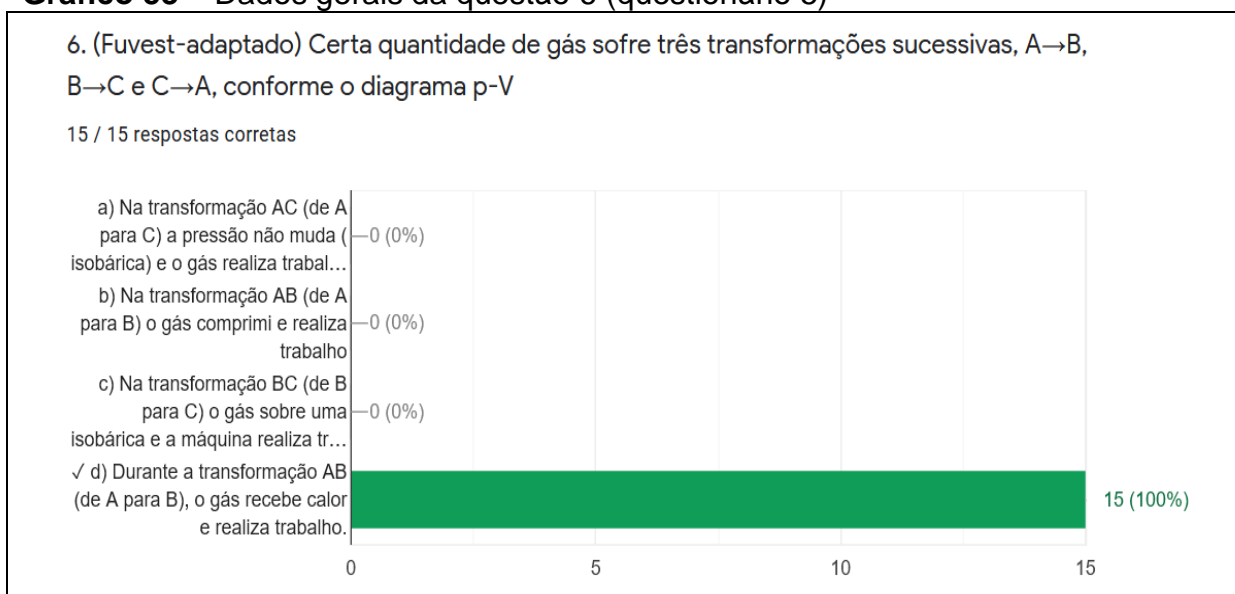


Fonte: Prepara Enem ([2021]).

Observando-o, ao menos por ora pode-se realmente dizer que o nosso grupo de estudo compreendeu o assunto abordado e demonstrou competência na inferência dos gráficos descritos nessas perguntas.

Analisando a questão 6 do questionário final, a seguir:

### Gráfico 53 – Dados gerais da questão 6 (questionário 5)



Fonte: Autor.

A percepção da evolução dos participantes foi tão notável no decorrer das aulas, que ficou decidido explorar algumas questões de grandes vestibulares para se obter mais uma comprovação desse desempenho.

Esse é o método de aprofundamento de Bruner, descrito por Moreira (1999, p. 82) em seu trabalho sobre a teoria de ensino desse autor, denominado currículo em espiral.

A ideia desse currículo foi bastante explorada neste trabalho, à medida que os estudantes compreendiam as propriedades físicas dos processos termodinâmicos ensinados.

Esse tipo de currículo, portanto, é uma forma gradual de aprendizagem, no qual o estudante revê o mesmo assunto em diferentes níveis de profundidade (MOREIRA, 1999, p. 82).

Acredita-se, com isso, que a aplicação de questões de vestibulares exige do estudante esse nível de conhecimento mais profundo para obter um resultado positivo. Isso ocorreu em formulários anteriores também.

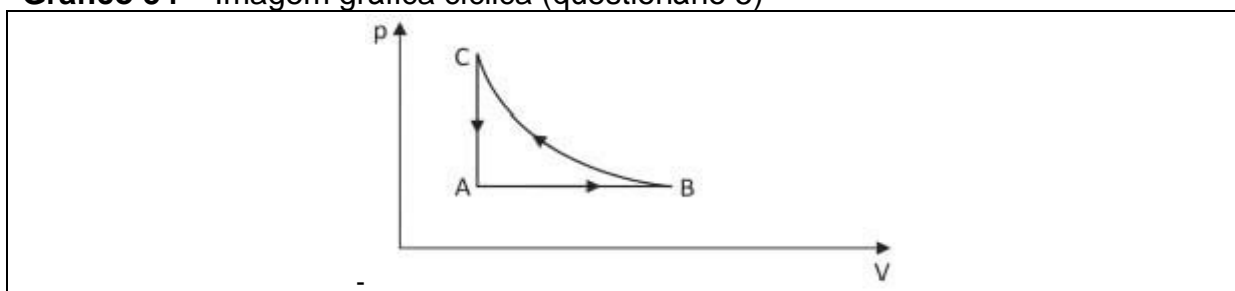
Essa possibilidade de aplicação decorreu de um aprofundamento das definições e conceituações a respeito do conteúdo ensinado pelo professor.

Portanto, a pergunta acima trabalhou mais uma vez o conceito de transformação gasosa pela análise cíclica do gráfico e, conseqüentemente, as Leis da Termodinâmica, devido às suas propriedades, tais como pressão, volume e trabalho do gás.

O resultado por si só demonstra o bom desempenho obtido na coleta de dados, com 100% de acertos.

O gráfico a seguir é exatamente o que foi utilizado na questão para analisar a compreensão e a interpretação do grupo durante a leitura das alternativas. Da mesma forma do problema de número 5 (anterior), foi explorada a fase de representação icônica (BRUNER, 1973c, p. 52) dos participantes.

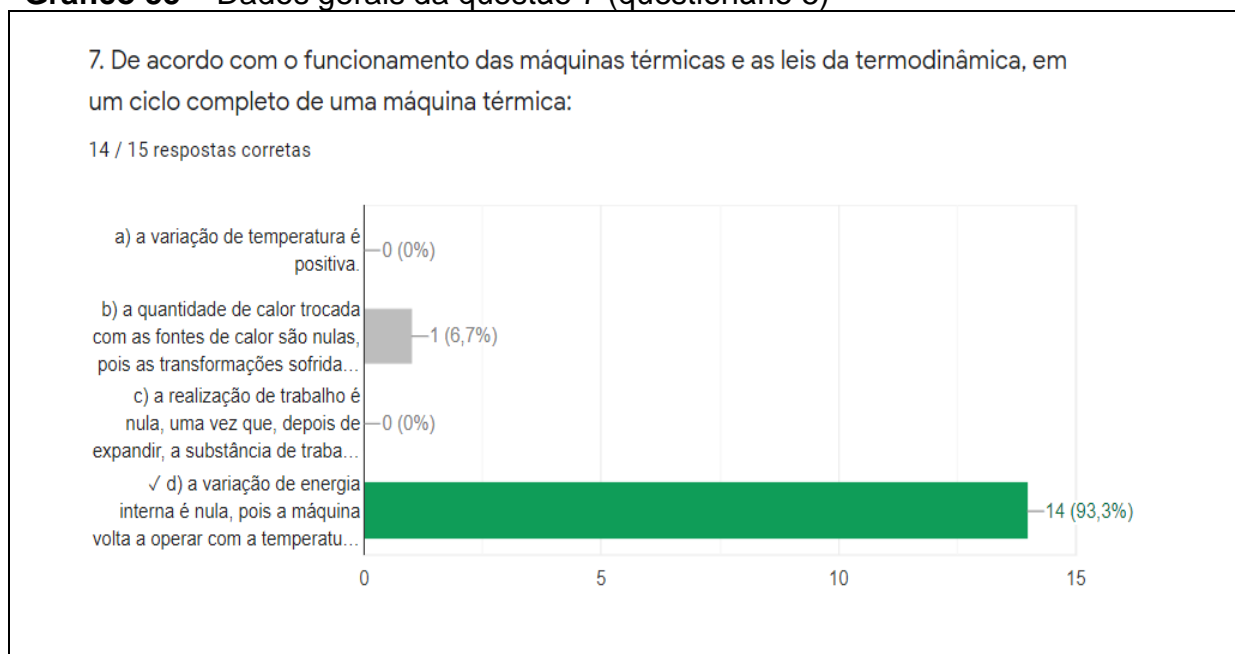
**Gráfico 54 – Imagem gráfica cíclica (questionário 5)**



Fonte: Helerbrock ([2021]).

A próxima questão, assim como algumas anteriores, serviu para comprovar a compreensão e interpretação dos participantes acerca do funcionamento de uma máquina térmica por conhecimento das propriedades gráficas de um ciclo termodinâmico.

Analisando a questão 7 do questionário final, a seguir:

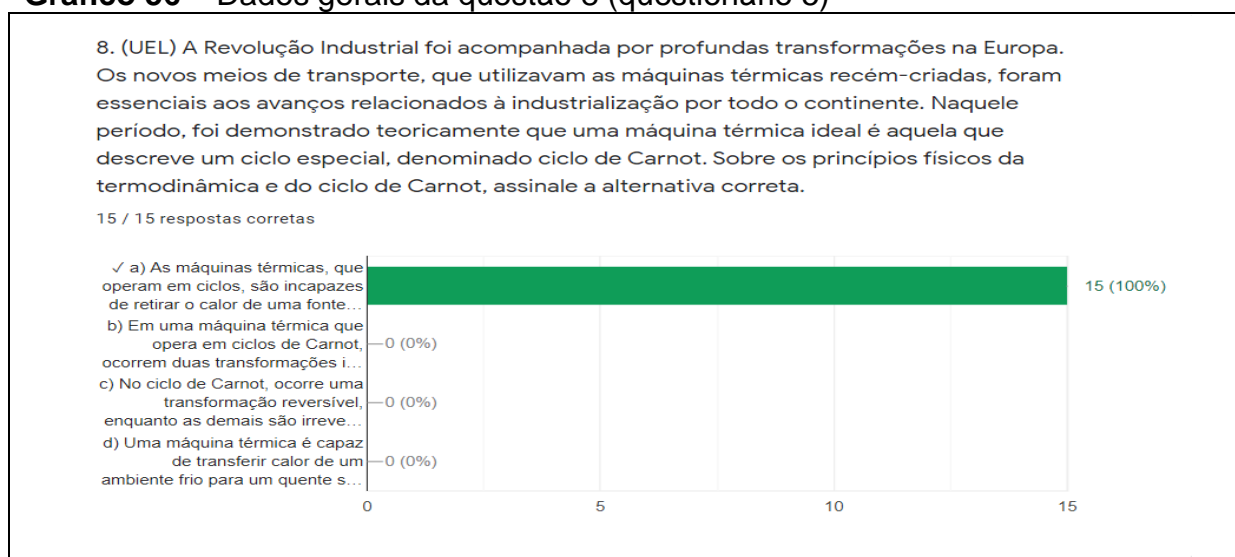
**Gráfico 55 – Dados gerais da questão 7 (questionário 5)**

Fonte: Autor.

Assim como na questão de número 4, a de número 7 não atingiu o percentual máximo. Todavia, o desempenho, de modo geral, foi satisfatório, porque apenas um dos participantes assinalou a alternativa incorreta. Com isso, foi alcançado um total de 93,3% de acertos contra 6,7% de erro para as 15 resoluções.

As questões 7, 8 e 9 da sequência não foram ilustradas com imagens.

Analisando a questão 8 do questionário final a seguir:

**Gráfico 56 – Dados gerais da questão 8 (questionário 5)**

Fonte: Autor.

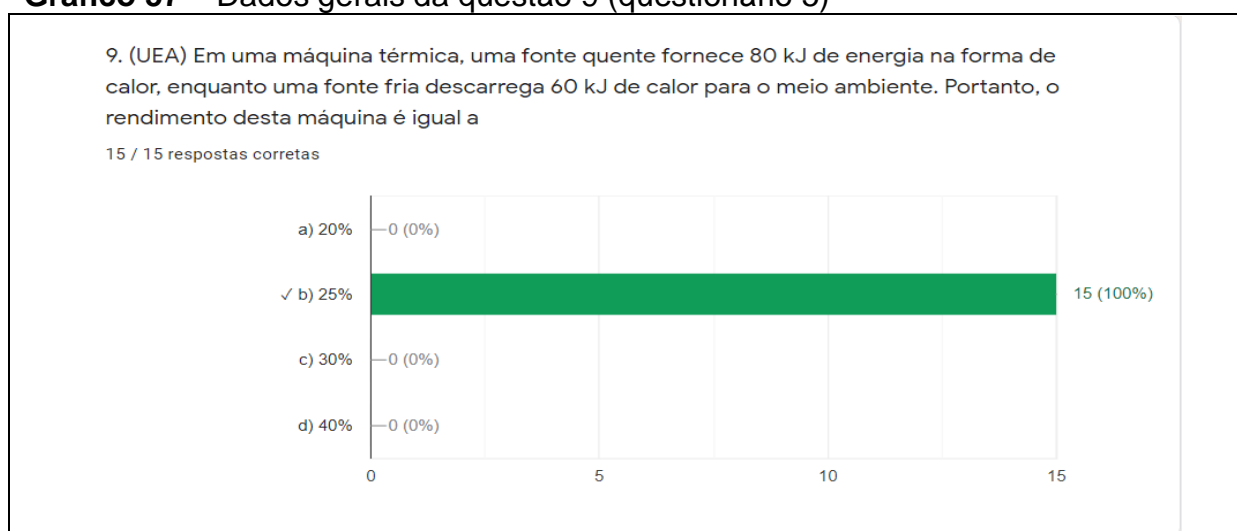
Essa questão trabalhou mais uma vez o conceito de um dispositivo térmico operando em ciclo termodinâmico, do qual os estudantes entenderam que é impossível uma máquina térmica obter 100% de rendimento.

Esse conceito foi bastante enfatizado desde o instante em que se ensinou uma das definições da Segunda Lei da Termodinâmica. No momento da avaliação final, o grupo lembrou o que foi ministrado a respeito do assunto.

O gráfico mostra novamente o bom desempenho pela análise da imagem, com todos os estudantes pontuando na questão.

Analisando a questão 9 do questionário final, a seguir:

**Gráfico 57 – Dados gerais da questão 9 (questionário 5)**



Fonte: Autor.

As questões de número 9 e 3 são as que exploraram o estágio de representação simbólico.

Como descreve Bruner (1973c, p. 52), a criança desenvolve a capacidade de ir além dos ícones e consegue lidar com símbolos (por associação), ideias abstratas, compreensão de leis para formar ou transformar proposições.

Com isso, sentiu-se a necessidade de investigar mais uma vez o desenvolvimento do estágio simbólico (representação simbólica) dos estudantes, exigindo do grupo a exploração dos seus conhecimentos lógicos-matemáticos para a resolução do problema, por meio da equação do rendimento de um dispositivo térmico.

Esse rendimento, por exemplo, pode ser representado pela equação a seguir e foi ela utilizada pelos participantes na resolução da questão:

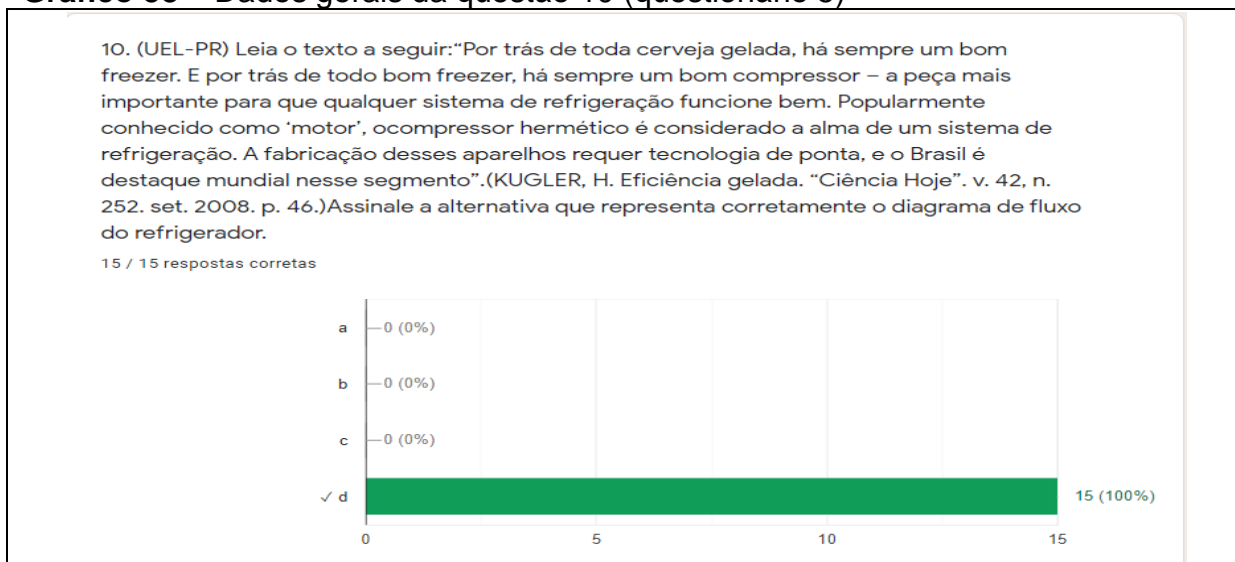
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Instantes antes da aplicação desse questionário, o professor precisou dar algumas explicações de revisão sobre essa equação, antes da resolução da questão, para que os estudantes pudessem operar corretamente com ela.

Assim, o problema proposto atingiu 100% de acertos, segundo os dados descritos no gráfico supracitado.

Analisando a questão 10 do questionário final, a seguir:

**Gráfico 58 – Dados gerais da questão 10 (questionário 5)**

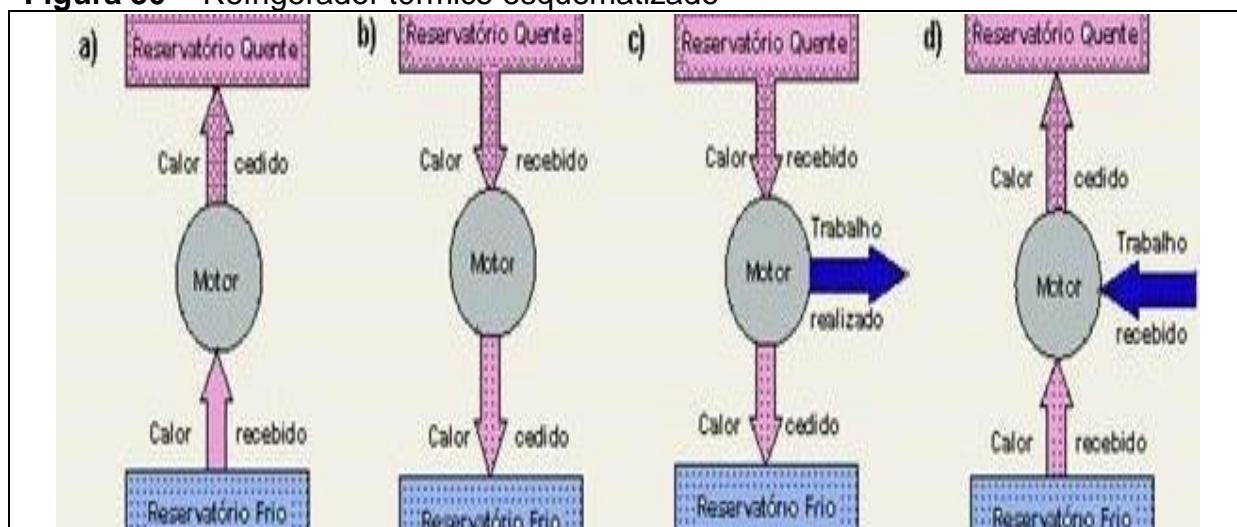


Fonte: Autor.

A questão de número 10 serviu para analisar e comprovar a compreensão do grupo em relação ao fluxo contrário do calor e o conceito de trabalho realizado sobre um gás, pois explorou o funcionamento de um refrigerador. Como ensinado, esse fluxo de energia térmica não ocorre de forma espontânea, mas requer gasto de energia, que comumente é a elétrica.

A imagem a seguir é a que contribuiu para essa interpretação e a obtenção do bom resultado descrito no gráfico por meio da exploração da representação icônica (100% de acerto):

**Figura 50 – Refrigerador térmico esquematizado**



Fonte: (MÁQUINAS..., [2019]).

### 5.2.27 Questões Erradas com Frequência no Questionário 5

Não houve questões erradas com frequência nesse questionário. O objetivo buscado com essa avaliação também foi alcançado com satisfação.

Na medida do possível, o método do currículo em espiral foi sendo aplicado conforme o grupo assimilava as propriedades da Termodinâmica ensinadas.

Para isso, o conteúdo durante as aulas e as questões preparadas em alguns questionários foram aprofundados até um certo limite. Isso é percebido pelo certo grau de complexidade de algumas delas, que, inclusive, foram selecionadas de alguns vestibulares conceituados.

## 5.2.28 Apresentação de resultados individuais obtidos: questionário 5

**Quadro 12 – Dados de resultados individuais obtidos na avaliação final (questionário 5)**

Estudantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Questão 1	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 2	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 3	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 4	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 5	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 6	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 7	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 8	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 9	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-
Questão 10	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	-	-

**Fonte:** Autor.

As discussões acerca dessa avaliação final e dos demais questionários são realizadas no último tópico, logo abaixo, com as considerações finais.

Em geral, não há como negar, pela observação do quadro de número 11, os resultados excelentes obtidos por meio dos participantes na presente pesquisa.

## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

De fato, houve uma evolução de aprendizado bastante significativa por parte dos estudantes, e pode-se concluir que o objetivo principal desse estudo foi alcançado, que era justamente verificar esse desenvolvimento conceitual, teórico/prático relacionado ao conteúdo abordado por meio das análises durante as aulas e durante a resolução das questões propostas.

Esse argumento é comprovado não somente pela comparação de resultados iniciais e finais obtidos de acordo com os dados descritos pelos questionários aplicados, mas conforme se foi avançando no grau de complexidade e exigências por formulário aplicado.

Além disso, observações que foram feitas de respostas dadas pelos estudantes durante as aulas também eram analisadas, conforme o professor estimulava o grupo com desafios no instante em que as simulações e experiências eram realizadas (método da descoberta).

Conforme Bruner (1973c, p. 56), esse modo de conduzir uma aula, o método da descoberta, é realizado em momentos em que o professor julgar adequado encorajar seu aprendiz a focar em uma hipótese ou dedicar-se a explorar alternativas propostas.

Isso era realizado sempre que o grupo era confrontado com situações problemas acerca do conteúdo abordado, com ajuda de ilustrações, simulações e exercícios ou ainda perguntas levantadas pelo professor. Essas podem ser lidas na sequência didática descrita no produto educacional dessa pesquisa.

Acredita-se que essa notável evolução de conhecimentos percebida ao analisar os resultados nos gráficos e nos quadros de análise individual, ocorreu pela junção de argumentos utilizados da Teoria de Ensino Prescritiva de Bruner, a saber: exploração cuidadosa dos modos de representação do conhecimento, tais como o ativo, icônico e simbólico, promoção da exploração de alternativas (método da descoberta), método do reforço e aplicação do currículo em espiral, conforme ocorria essa evolução de aprendizado por parte do grupo.

O currículo em espiral (MOREIRA, 1999, p. 82), assim como o método do reforço (BRUNER, 1973c, p. 57), foram bastante aceitos durante as oportunidades criadas pelo professor e pelos estudantes. Eles foram fundamentais para contribuir

para o bom resultado obtido nas questões mais complexas, como as de vestibulares ou semelhantes.

Enfim, embora longe de ser uma teoria infalível, pois educar é um ato de grande complexidade, para o presente trabalho foram colhidos excelentes resultados por meio da metodologia escolhida e do modo como ela foi adaptada ao nosso trabalho.

No demais, estamos abertos para sugestões construtivas, e o contato profissional para essa possibilidade se encontra no documento do produto educacional desse presente estudo.

## REFERÊNCIAS

- ACONTECEU NO VALE. **Tag**: venda de termômetros e esfigmomanômetros com coluna de mercúrio. [2021]. Disponível em: <https://aconteceunovale.com.br/portal/?tag=venda-de-termometros-e-esfigmomanometros-com-coluna-de-mercurio>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- ALBERNAZ, Ângela *et al.* QUALIDADE E EQÜIDADE NO ENSINO FUNDAMENTAL BRASILEIRO. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 32, n. 3, p. 453-476, dez. 2002. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4340>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- ALGUNS exemplos de máquinas térmicas. [2021]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Melissa/semnome6.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- AMARAL, Edenia Maria Ribeiro do; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 1 n. 3, p. 1-14, nov. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4154>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Tradução: Lígia Teopisto. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2003.
- AXT, Rolando; BRÜCKMANN, Magale Elisa. O conceito de calor nos livros de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 128-142, ago. 1989. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi5sPP5stfzAhVrl7kGHcANDr4QFnoECAIQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.lume.ufrgs.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F10183%2F84904%2F000014820.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AOvVaw2UEzFjMrG4hFLcDFfZOxkf>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- BARGALLÓ, Conxita Márquez. Aprender ciencias a través del lenguaje. **Revista Educar**, Guadalajara, n. 33, p. 27–38, abr./jun. 2005. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/author/Conxita-M%C3%A1rquez-Bargall%C3%B3/69975670>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- BONJORNNO, Regina Azenha; BONJORNNO, José Roberto; BONJ, Valeter. Segundo princípio da Termodinâmica. *In*: BONJORNNO, Regina Azenha; BONJORNNO, José Roberto; BONJ, Valeter. (org.). **Física fundamental**. São Paulo: FTD, 1993. p. 263–264.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_sit e.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf). Acesso em: 3 jan. 2021.
- BRUNER, Jerome S. **A cultura da educação**. Porto Alegre: Artes Médicas, 2001.
- BRUNER, Jerome S. Educação como invenção social. *In*: BRUNER, Jerome S.

(org.). **Uma nova teoria de aprendizagem**. Rio de Janeiro: Bloch, 1973a. p. 31- 46.

BRUNER, Jerome S. Notas sobre uma teoria da aprendizagem. *In*: BRUNER, Jerome S. (org.). **Uma nova teoria de aprendizagem**. Rio de Janeiro: Bloch, 1973c. p. 47-75.

BRUNER, Jerome. S. Formas de Desenvolvimento. *In*: BRUNER, Jerome S. (org.). **Uma nova teoria de aprendizagem**. Rio de Janeiro: Bloch, 1973b. p. 13-30.

BULGRAEN, Vanessa Cristina. O papel do professor e sua mediação nos processos de elaboração do conhecimento. **Revista Conteúdo**, Capivari, v. 1, n. 4, p. 30–38, ago./dez. 2010. Disponível em:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKÉwiV9L2u0ODzAhUNH7kGHRPVBcoQFnoECAIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.moodle.cpscetec.com.br%2Fcapacitacaopos%2Fmstech%2Fpdf%2Fd3%2Faula04%2FFOP\\_d03\\_a04\\_t07b.pdf&usg=AOvVaw22naDp2V7Z0mc--hsYiuW4](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKÉwiV9L2u0ODzAhUNH7kGHRPVBcoQFnoECAIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.moodle.cpscetec.com.br%2Fcapacitacaopos%2Fmstech%2Fpdf%2Fd3%2Faula04%2FFOP_d03_a04_t07b.pdf&usg=AOvVaw22naDp2V7Z0mc--hsYiuW4). Acesso em: 7 jan. 2021.

CAETANO, Paulo Mantey Domingues. Em busca do Graal do indicador ambiental sintético único: contribuições da termodinâmica e da teoria da informação. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 30, p. 11-20, dez. 2013.

Disponível em:

[http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes\\_RBCIAMB/article/view/265/220](http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/265/220). Acesso em: 3 jan. 2021.

CAMARGO, Felipe Maeda. Alunos têm dificuldades com conceitos de termodinâmica. **Agência USP de notícias**, São Paulo, 3 de jan. 2021. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=14999>. Acesso em: 3 jan. 2021.

CARNEVALLE, Maíra Rosa. Calor e temperatura. *In*: CARNEVALLE, Maíra Rosa. (org.). **Araribá mais ciências**. São Paulo: Moderna, 2018a. p. 202 – 224.

CARNEVALLE, Maíra Rosa. Máquinas térmicas. *In*: CARNEVALLE, Maíra Rosa. (org.). **Araribá mais ciências**. São Paulo: Moderna, 2018b. p. 243 – 254.

DENIS. Primeira lei da Termodinâmica: fórmulas e exercícios. **Aprova Total**, [S. l.], 4 ago. 2020. Disponível em: <https://blog.aprovatotal.com.br/primeira-lei-da-termodinamica/>. Acesso em: 5 mar. 2021.

EL PRINCIPIO de la conservación de la energía. [2021]. Disponível em:

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/05/htm/sec\\_6.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/05/htm/sec_6.html). Acesso em: 10 jan. 2021.

ENUNCIE a lei Zero da termodinâmica. [2021]. Disponível em:

<https://brainly.com.br/tarefa/19997314>. Acesso em: 13 jan. 2021.

EOLÍPIA. 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Eol%C3%ADpila>. Acesso em: 5 jan. 2021.

ESTADOS físicos da matéria. 2020. Disponível em:

<https://www.oladobomdaquimica.com.br/2021/06/-estados-fisicos-da-materia-solido-liquido-gasoso.html>. Acesso em: 10 jan. 2021.

EVANGELISTA, Carla Reis. Transformação isovolumétrica (isocórica). *In: Infoescola navegando e aprendendo*. [s. l.], [2021]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/termodinamica/transformacao-isovolumetrica-isocorica/>. Acesso em: 13 jan. 2021.

FARIAS, Cintia *et al.* Usina térmica convencional. *In: Mini usina térmica*. Salvador, 4 jul. 2009. Disponível em: [http://miniusina.blogspot.com/2009/07/equipe\\_04.html](http://miniusina.blogspot.com/2009/07/equipe_04.html). Acesso em: 13 jan. 2021.

FERNANDES, Bruno. **Espcex**: resumo de física: transformações na termodinâmica. 2020. Disponível em: <https://blog.professorbrunofernandes.com.br/espce-resumo-de-fisica-transformacoes-na-termodinamica/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

FILIPPI, Adriana; BORTOLINI, Camila Comin; DIAS, Rosângela Hanel. *In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA REGIÃO SUL*, 9., 2012, Rio Grande do Sul. **Anais** [...]. Caxias do Sul: UCS, 2012. p. 1-14. Disponível em: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiljO619ODzAhXrK7kGHZMQANAQFnoECAUQAaw&url=http%3A%2F%2Fwww.ucs.br%2Fetc%2Fconferencias%2Findex.php%2Fanpedsul%2F9anpedsul%2Fpaper%2Fview%2F2186%2F92&usg=AOvVaw1bmFI\\_lh-zbMUwwa8n0gkP](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiljO619ODzAhXrK7kGHZMQANAQFnoECAUQAaw&url=http%3A%2F%2Fwww.ucs.br%2Fetc%2Fconferencias%2Findex.php%2Fanpedsul%2F9anpedsul%2Fpaper%2Fview%2F2186%2F92&usg=AOvVaw1bmFI_lh-zbMUwwa8n0gkP). Acesso em: 12 jan. 2021.

FÍSICA e vestibular universidades. Caxias do Sul: UCS, c2011. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/Universidades2013/UCS13.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

FIZIKO. Ensino e tecnologia. [2021]. **O Ciclo de Carnot**. Disponível em: [http://fiziko.net/?page\\_id=155](http://fiziko.net/?page_id=155). Acesso em: 5 jan. 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Transformação isobárica**. [2021]. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/transformacao-isobarica.htm>. Acesso em: 15 jan. 2021.

GALVÃO FILHO, João Baptista. **Poluição do ar**. São Paulo: ECP – Consultoria ambiental, 1989. Disponível em: <https://www.consultoriaambiental.com.br/artigos>. Acesso em: 3 jan. 2021.

GERAÇÃO de vapor - a função vital e arriscada da caldeira e seus dispositivos. 5 dez. 2014. Disponível em: <https://motoresdecombustao.blogspot.com/2014/12/geracao-de-vapor-funcao-vital-e.html>. Acesso em: 5 jan. 2021.

GOUVEIA, Rosimar. Equilíbrio Térmico. *In: Toda matéria*. [s. l.], [2021]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/equilibrio-termico/>. Acesso em: 13 jan. 2021.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Energia cinética e trabalho. *In: HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física: mecânica*. Rio de Janeiro: LTC, 2012a. p. 145-171.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Temperatura, calor e a primeira lei da termodinâmica. *In: HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física: mecânica*. Rio de Janeiro: LTC, 2012b. p. 184- 216.

HELERBROCK, Rafael. Exercícios sobre a primeira lei da termodinâmica. *In: Brasil Escola*. [s. l.], [2021]. Disponível em: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-a-primeira-lei-da-termodinamica.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

HELERBROCK, Rafael. O que é entropia? *In: Brasil Escola*. [s. l.], [2021]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-entropia.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

HEWITT, Paul. G. Termodinâmica. *In: HEWITT, Paul. G. Física conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2015. p. 336-354.

JUNCKES, Rosani Casanova. A prática docente em sala de aula: mediação pedagógica. *In: SIMPÓSIO SOBRE FORMAÇÃO DE PROFESSORES: EDUCAÇÃO BÁSICA: DESAFIOS FRENTE ÀS DESIGUALDADES EDUCACIONAIS*, 5., 2013, Tubarão. **Anais eletrônicos** [...]. Tubarão: [Unisul], 2013. p. 1-9. Disponível em: <https://silo.tips/download/a-pratica-docente-em-sala-de-aula-mediaao-pedagogica>. Acesso em: 7 jan. 2021.

LEVANTAMENTO de peso: força bruta em busca da medalha olímpica. *Gazeta do Povo*, Curitiba, 30 maio 2016. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/esportes/olimpiadas/2016/levantamento-de-peso-forca-bruta-em-busca-da-medalha-olimpica-7fy583k2l4rkusf8mf6thf4nw/>. Acesso em: 5 jan. 2021.

MÁQUINAS térmicas - refrigerador. [2019]. Disponível em: [http://fisicasp.com.br/wp-content/uploads/2019/02/Lista\\_de\\_refrigeradores.pdf](http://fisicasp.com.br/wp-content/uploads/2019/02/Lista_de_refrigeradores.pdf). Acesso em: 13 jan. 2021.

MATEUS, Ana Rita. **A máquina a vapor**. 2019. Disponível em: <https://notapositiva.com/a-maquina-a-vapor/#>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MELO, Marcos Gervânio de Azevedo *et al.* Dificuldades enfrentadas por Professores de Ciências para ensinar Física no Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 241–251, set./dez. 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/2780>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MENEZES, Luiz Carlos de *et al.* O estudo do calor: a termodinâmica. *In: MENEZES, Luiz Carlos de et al. Física (ensino médio)*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. p. 154-177.

MOREIRA, Marco Antonio. A teoria de ensino de Bruner. *In: MOREIRA, Marco Antonio (org.). Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999. p. 81-94.

MOTOR ciclo otto: entenda o funcionamento. 2020. Disponível em: <https://blog.simplusbr.com/motor-ciclo-otto>. Acesso em: 10 jan. 2021.

NASCIMENTO, Wallas. **Sobre algumas características da entropia de Shannon para sistemas atômicos confinados**. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-A1-Ciclo-de-Carnot-O-Trabalho-total-W-Q-1-Q-2-realizado-pelo-sistema-no\\_fig4\\_322666081](https://www.researchgate.net/figure/Figura-A1-Ciclo-de-Carnot-O-Trabalho-total-W-Q-1-Q-2-realizado-pelo-sistema-no_fig4_322666081). Acesso em: 5 jan. 2021.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Temperatura. *In*: NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Fluidos, oscilações e ondas calor**. São Paulo: BLUCHER, 2002. p. 156-166.

PARANÁ. Decreto-lei nº 6294, de 3 de dezembro de 2020. Dispõe sobre novas medidas de distanciamento social para o enfrentamento da pandemia da COVID-19. **Diário Oficial da União**, Curitiba, n. 10824, p. 1-3, 3 dez. 2020b. Disponível em: <https://www.tijucasdosul.pr.gov.br/index.php/documents/decreto-estadual-n-6294-de-03-de-dezembro-de-2020-dispoe-sobre-novas-medidas-de-distanciamento-social-para-o-enfrentamento-da-pandemia-da-covid-19/>. Acesso em: 3 jan. 2021.

PARANÁ. Escola Digital Professor. **Currículo da rede estadual paranaense (CREP)**. Curitiba: Secretaria da Educação e do Esporte, 2020a. Disponível em: <https://professor.escoladigital.pr.gov.br/crep>. Acesso em: 3 jan. 2021.

PINHO, Suani Tavares Rubin de; ANDRADE, Roberto Fernandes Silva. Evolução das ideias da termodinâmica e da mecânica estatística. *In*: ROCHA, José Fernando (org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002. p. 139-181.

PREPARA ENEM. **Ciclo de Otto**. [2021]. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/ciclo-otto.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

RABATINI, Vanessa Gertrudes. **A concepção de cultura em Bruner e Vigotski: implicações para a educação escolar**. 2010. Dissertação (Mestrado em Educação Escolar) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/92407>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ROCHA, José Fernando *et al.* Evolução das idéias da termodinâmica e da mecânica estatística. *In*: ROCHA, José Fernando (org.). **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002. p. 139-181.

ROLDÃO, Maria do Céu. **O pensamento concreto da criança: uma perspectiva a questionar no currículo**. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional, 1994.

SANTOS, Paulo Roberto da Fonseca (coord.). **Sistema internacional de unidades**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjZj8nk5uDzAhUKGrkGHQYuADQQFnoECAYQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.inmetro.gov.br%2Finovacao%2Fpublicacoes%2Fsi\\_versao\\_final.pdf&usq=AOvVaw1kQ8zISgrHGtdk4N0TL\\_cY](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjZj8nk5uDzAhUKGrkGHQYuADQQFnoECAYQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.inmetro.gov.br%2Finovacao%2Fpublicacoes%2Fsi_versao_final.pdf&usq=AOvVaw1kQ8zISgrHGtdk4N0TL_cY). Acesso em: 7 jan. 2021.

SILVEIRA, Fernando Lang da. **Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel**. [2021]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis183/textos/maquinas/maquinas.html>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SILVEIRA, Fernando Lang da. **Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel**. 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/266347397\\_Maquinas\\_termicas\\_a\\_combustao\\_interna\\_de\\_Otto\\_e\\_de\\_Diesel](https://www.researchgate.net/publication/266347397_Maquinas_termicas_a_combustao_interna_de_Otto_e_de_Diesel). Acesso em: 3 jan. 2021.

SÓ FÍSICA. **1ª Lei da Termodinâmica**. Porto Alegre: Virtuou Tecnologia da

Informação, 2008. Disponível em: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termodinamica/1leidatermodinamica.php>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SUBMARINO com garrafa pet e tampa de caneta. 2016. Disponível em: <https://aulazen.com/atividades-praticas/submarino-com-garrafa-pet-e-tampa-de-caneta/>. Acesso em: 15 jan. 2021.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. Ciclo de Carnot. 2021. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>. Acesso em: 5 fev. 2021.

TEMPERATURA e escalas termométricas. [2021]. Disponível em: <https://sites.google.com/site/montedefisica/disciplinas/termologia/temperatura-e-escalas-termometricas?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>. Acesso em: 10 jan. 2021.

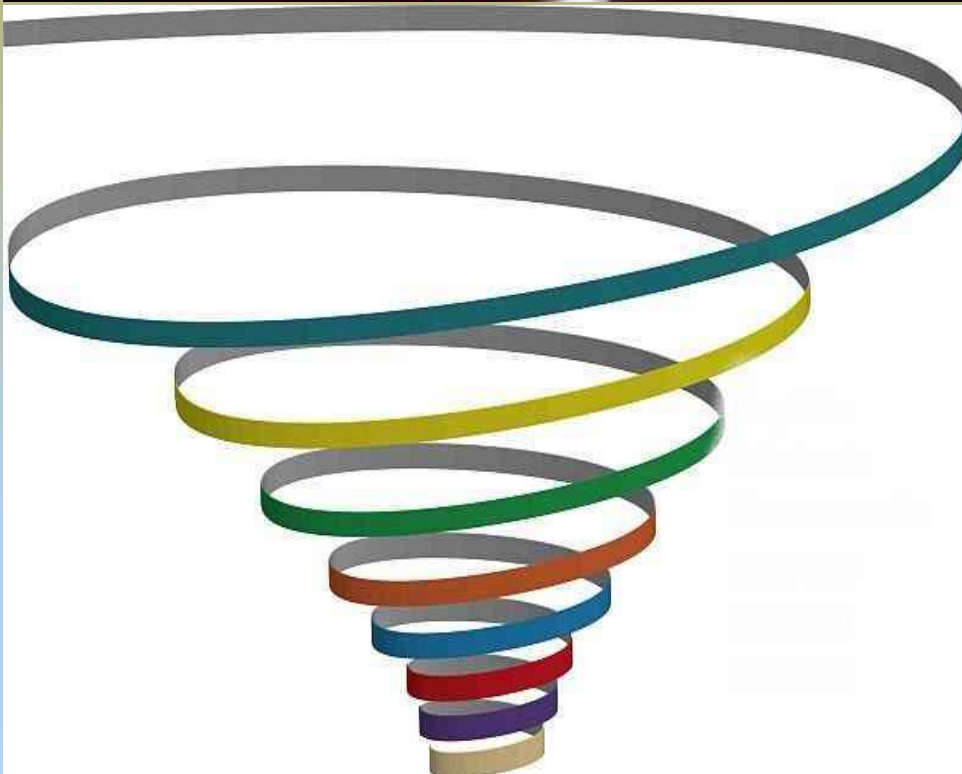
VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Constituição dos motores**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2015. Disponível em: [http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/Aulas/constituicao\\_dos\\_motores.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/constituicao_dos_motores.pdf). Acesso em: 3 jan. 2021.

VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. Termologia. *In*: VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José (org.). **Física 2**: termologia, ondulatória, óptica. São Paulo: Saraiva, 2016. p. 10-19.

VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. Termodinâmica. *In*: VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José (org.). **Física 2**: termologia, ondulatória, óptica. São Paulo: Saraiva, 2016. p. 80-102.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A



## APÊNDICE A – PRODUTO ED SBF

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



ANDERSON FORCATO

**ABORDAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA VOLTADAS  
AO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS POR  
MEIO DA TEORIA DE ENSINO PRESCRITIVA DE BRUNER**

---

Londrina  
2022

ANDERSON FORCATO

**ABORDAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA VOLTADAS  
AO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS POR  
MEIO DA TEORIA DE ENSINO PRESCRITIVA DE BRUNER**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Londrina no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Orientação: Prof. Dr. Américo Tsuneo Fujii.

Londrina  
2022

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	– Exemplos de importantes Máquinas a vapor que trouxeram grandes benefícios para a humanidade na antiguidade e com bases nelas na vida contemporânea.....	14
<b>Figura 2</b>	– Desenho esquemático mostrando dois recipientes com gases à diferentes temperaturas. As bolinhas representam as moléculas do gás e a flecha a ela associada representa seu vetor velocidade .....	15
<b>Figura 3</b>	– Respectivamente ilustrando a relação entre as três escalas de temperatura mais usadas em livros didáticos para a termologia.....	16
<b>Figura 4</b>	– Demonstração do fluxo de calor e da variação da temperatura .....	16
<b>Figura 5</b>	– Demonstração sequencial das figuras usadas para definir o conceito de equilíbrio térmico .....	16
<b>Figura 6</b>	– Demonstração sequencial das figuras usadas para explicar o conceito da Lei Zero da Termodinâmica .....	19
<b>Figura 7</b>	– Conceituando volume.....	19
<b>Figura 8</b>	– Conceituando o trabalho mecânico .....	20
<b>Figura 9</b>	– Conceituando pressão e o trabalho relacionado ao gás .....	20
<b>Figura 10</b>	– Figura ilustrativa usada para conceituar energia (modo generalizado) .....	21
<b>Figura 11</b>	– Descrição de um sistema termodinâmico cujo mesmo realiza trabalho mecânico .....	27
<b>Figura 12</b>	– Respectivamente - descrevem recipientes com gás e sua realização de trabalho devido a agitação térmica de suas partículas e ao lado, destacando o êmbolo como referencial de movimento .....	29
<b>Figura 13</b>	– Transformações gasosas Isovolumétrica .....	32
<b>Figura 14</b>	– Transformação gasosa Isobárica .....	33
<b>Figura 15</b>	– Ilustração sobre transformação Isotérmica (Submarino na garrafa).....	36
<b>Figura 16</b>	– Ilustração da transformação Isovolumétrica de um sistema termodinâmico.....	39
<b>Figura 17</b>	– Ilustração da transformação Isobárica de um sistema termodinâmico .....	39
<b>Figura 18</b>	– Ilustração da transformação Isotérmica de um sistema termodinâmico.....	39

<b>Figura 19</b>	Ilustração da transformação adiabática de um sistema termodinâmico.....	39
<b>Figura 20</b>	Imagem da simulação trabalhada sobre algumas das propriedades apresentadas por um gás ideal e suas variáveis de estado .....	41
<b>Figura 21</b>	Fotos internas e externa de uma locomotiva a vapor .....	45
<b>Figura 22</b>	Transformação da energia térmica em mecânica .....	45
<b>Figura 23</b>	Ilustração esquemática de uma Máquina Térmica .....	45
<b>Figura 24</b>	Comparação entre uma Máquina Térmica e um refrigerador.....	46
<b>Figura 25</b>	Ilustração comparativa por esquema de um sistema de refrigeração ...	46
<b>Figura 26</b>	Demonstração de pistões movidos por força de pressão de um gás ....	46
<b>Figura 27</b>	Ilustração de tipos de motores e seus respectivos veículos.....	46
<b>Figura 28</b>	Etapas de funcionamento de um motor de combustão interna .....	46
<b>Figura 29</b>	Ilustração dos processos de expansão e compressão de um gás no motor .....	47
<b>Figura 30</b>	Ilustração sobre o rendimento de um motor térmico .....	50
<b>Figura 31</b>	Repetição da ilustração esquemática de uma Máquina Térmica .....	50
<b>Figura 32</b>	Ilustração intuitiva de um esquema de refrigeração .....	51
<b>Figura 33</b>	Ciclo de Carnot por meio de um sistema de êmbolos .....	52
<b>Figura 34</b>	Expansão da massa de ar (papel espiral) .....	52
<b>Figura 35</b>	Mini Máquina Térmica com material reciclado .....	53
<b>Figura 36</b>	Resumo da origem das Máquinas Térmicas a Vapor.....	63
<b>Figura 37</b>	Apresentação da comparação entre motores à combustão .....	63
<b>Figura 38</b>	Problemas relacionados a emissão de gases poluentes.....	63
<b>Figura 39</b>	Trecho de matéria sobre poluição atmosférica e tipos de gases emitidos por motores à combustão .....	64
<b>Figura 40</b>	Trecho de matéria sobre consequência da poluição do ar por gases tóxicos produzidos na queima de combustíveis diversos.....	64

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Representação de dados de utilização de meios de empregar energia ao longo do tempo.....	14
<b>Gráfico 2</b> – Representação gráfica da Transformação isovolumétrica .....	40
<b>Gráfico 3</b> - Representação gráfica da transformação Isotérmica .....	40
<b>Gráfico 4</b> - Representação gráfica da transformação Isobárica .....	40
<b>Gráfico 5</b> - Representação gráfica da transformação Adiabática .....	40
<b>Gráfico 6</b> - Representação gráfica de uma transformação cíclica .....	45
<b>Gráfico 7</b> - Ciclo de Sadi Carnot.....	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CREP – Currículo da Rede Estadual Paranaense

PCN – Parâmetros Curriculares Nacional

SEED/PR – Secretaria Estadual de Educação do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>PLANEJAMENTO DAS AULAS E INSTRUÇÃO (CARTA) AO PROFESSOR.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>AULAS.....</b>	<b>12</b>
3.1	AULA 1.....	12
3.2	AULA 2.....	26
3.3	AULA 3.....	43
3.4	AULA 4.....	49
3.5	AULA 5.....	60
3.6	AULA 6.....	64
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>

## 1 PLANEJAMENTO DAS AULAS E INSTRUÇÃO (CARTA) AO PROFESSOR

Olá, querido professor, tudo bem? Este manual destina-se a sugerir uma nova forma de explorar não só as potencialidades dos educandos em relação ao conteúdo, termodinâmica e Máquinas Térmicas a Vapor, mas também o seu desenvolvimento no processo de ensino. Haja vista que esse estudo tem um certo diferencial, pois é intitulado de bifuncional e a sequência didática é de livre escolha por parte do educador (BRUNER, 1973, p. 56).

Em outras palavras, sobre a questão de ser bifuncional, significa dizer que ele pode ser aplicado tanto com estudantes da sétima série do ensino fundamental II, na disciplina de ciências, mas também do segundo ano do ensino médio em física, visto que o conteúdo faz parte da grade curricular dessas duas séries, de acordo com o Currículo da Rede Estadual Paranaense para a área de Ciências e dos Parâmetros Curriculares Nacionais a respeito da disciplina de Ciências e Física (BRASIL, 1997, p. 31; PARANÁ, 2020, p. 29).

Obviamente, quando aplicado com estudantes do ensino médio, será adequado e respeitado cada faixa etária dos participantes (ensino fundamental II ou ensino médio), quanto às definições e conceitos a serem abordados sobre o tema proposto durante as aulas, e conforme ambas as séries para as quais serão ministradas.

Por isso, o leitor notará, neste produto educacional, quando for aplicado ao segundo ano do ensino médio na disciplina de física, ou mesmo aprofundado o assunto com os estudantes do ensino fundamental II, será acrescido o tópico descrito como espiral, que nada mais é que o aprofundamento sobre o conteúdo trabalhado, ou seja, o método (currículo em espiral) nada mais é do que iniciar um assunto pelo seu conceito central e aprofundar pelos conceitos secundários, respeitando os limites e as capacidades de cada sujeito nesse processo educacional (MOREIRA, 1999, p. 82).

Em geral, ao aplicar o produto com as turmas de sétima série do ensino fundamental II, não é necessário sempre utilizar o currículo em espiral, podendo usá-lo em momentos oportunos e conforme o desempenho de cada turma ao qual o conteúdo for ministrado.

Em suma, a elaboração deste material, bem como sua aplicação, levou em consideração, aspectos centrais da Teoria de Ensino de Jerome S. Bruner, que são discutidos com mais detalhes na dissertação associada a este documento.

Desse modo, de acordo com a sequência dos conteúdos abordados e a forma como é abordado nesse trabalho, pode ser facilmente seguido por qualquer docente que se interesse em aplicá-lo em sala de aula ou mesmo em aulas remotas como este foi executado, via Google Meet e seu aplicativo Google Forms, para obtenção dos resultados (dados) do aprendizado dos estudantes.

Dentro dessa sequência estabelecida foi feita a utilização de simulações computacionais por meio do simulador Phet Colorado e do simulador Vascak.cz, acrescido do método experimental que promove a oportunidade de fazer uso do processo da descoberta que também faz parte de um dos aspectos dessa teoria de ensino.

Enfatiza-se aqui que o “carro chefe” desse material não é a sequência didática adotada (BRUNER, 1973, p. 56), visto que ela não é exatamente um diferencial, mas sim a Teoria de Ensino de Bruner (prescritiva) que entre tantos aspectos, dá ênfase no processo de economia na representação do conhecimento, que prescreve possíveis e melhores formas para que o estudante aprenda com eficácia o assunto tratado pelo professor (sugestão de leitura do capítulo dos fundamentos dessa teoria de ensino na dissertação para obter uma compreensão adequada sobre o conceito de economia pontuada por Bruner).

Por esse mesmo motivo, este produto foi desenvolvido em cima de um desafio, o de ensinar de forma simplificada, porém, intelectualmente honesta (BRUNER, 1973, p. 51), as três leis da termodinâmica com foco no funcionamento das Máquinas Térmicas a Vapor.

Isso foi realizado com estudantes de sexto ano e de sétimo ano cuja abordagem é justamente sobre o conceito de calor, temperatura (variação da energia interna de um gás), volume, pressão e o funcionamento das Máquinas Térmicas.

Para que isso fosse possível, o material foi desenvolvido com base em uma sequência de seis aulas, totalizando 400 minutos.

Diante disso, quando o docente optar em ministrar o conteúdo por aulas remotas ou mesmo híbridas, poderá criar sua própria sala virtual na plataforma Classroom, como foi montado para esse trabalho, o que facilita significativamente na

hora de coletar os resultados de desempenho dos participantes, pela produção automática dos gráficos após as resoluções dos questionários.

É preciso também pontuar, para não causar estranheza, que em algumas situações as mesmas simulações (“links” repetidos) serão aplicadas para explicar propriedades distintas, porém, relacionados às leis físicas que regem o funcionamento dos dispositivos térmicos.

A partir de então encontra-se nesse material a sequência de aulas e o modo como o professor pode conduzir esse conteúdo com os estudantes da sétima série do ensino fundamental II para a disciplina de Ciências e no momento oportuno com estudantes de Física do segundo ano do ensino médio por meio do acréscimo do método em espiral (aprofundamento do conteúdo).

Desejo a você caro amigo, professor, que esse produto educacional seja satisfatório em suas aulas e que com ele possamos juntos minimizar a má formação conceitual com que muitos estudantes chegam ao ensino médio ou ainda saem dele tirando conclusões equivocadas acerca de algumas grandezas e de alguns processos pertinentes a física sobre o conteúdo em questão.

Por isso, estou à disposição para possíveis dúvidas e/ou sugestões e para isso, disponibilizo as opções eletrônicas no rodapé deste documento<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Contato do autor: forcatofisica@gmail.com; afujii@uel.br

## 2 JUSTIFICATIVA

Existe muitas vezes, uma má formação conceitual desenvolvida no pensamento de alguns estudantes acerca de algumas grandezas, leis e fenômenos da física, e, esses equívocos podem estar muitas vezes relacionados a falta de preparo do profissional da educação na matéria de ciências em ministrar os conteúdos pertinentes a disciplina de física e que faz parte da sua ementa no ensino fundamental II.

Diante disso, foi investigado sobre o exposto no parágrafo anterior por meio de pesquisas com estudantes (alguns conhecimentos prévios analisados) e com alguns professores da rede pública de ensino da região, pertencentes a Secretaria Estadual de Educação do Paraná (SEED), que ministram aulas nessa etapa da educação básica, por exemplo.

Nessa investigação ficou claro que a maioria dos professores pesquisados por um questionário via Google Forms, encaminhado em um grupo de docentes de ciências criado no WhatsApp, descreveu que durante sua formação acadêmica teve a disciplina de física na grade curricular, mas não foi suficiente para sua preparação em ministrar aulas sobre essa disciplina no ensino fundamental II em relação à ementa de ciências.

Para agravar a situação relacionada a falta de preparo docente, sobre uma formação conceitual básica a respeito dos conceitos associados aos conteúdos de física, outra pesquisa com apenas duas perguntas foi feita com educandos do ensino médio da qual uma dessas questões se referia a diferença entre calor e temperatura, sendo que uma considerável parcela dos investigados disse que calor e temperatura são a mesma grandeza. Notem que os argumentos aqui descritos não são meramente ao acaso ou por simples capricho, mas são dados de pesquisa que foi levantado durante esse trabalho e que são discutidos com mais detalhes no quinto capítulo da presente dissertação.

Diante desse contexto, esse estudo tem como principal objetivo minimizar essa má formação conceitual com que muitos estudantes chegam ao ensino médio e muitas vezes ainda saem dele com conhecimentos equivocados sobre alguns conteúdos da disciplina de física, e, em especial, sobre o conteúdo de Termodinâmica e suas grandezas envolvidas no processo de funcionamento das Máquinas Térmicas e suas consequências para a sociedade.

Para que isso fosse possível, enxergamos na Teoria de Ensino prescritiva de Bruner um caminho para buscar da maneira mais simples, como ensinar um assunto tão complexo quanto esse aparenta ser para os estudantes e, em muitos casos, para alguns professores da disciplina de ciências.

### 3 AULAS

#### 3.1 AULA 1

Tema da aula: Uma Breve abordagem histórica sobre a evolução das Máquinas, em geral, distinção entre calor e temperatura e conceituação sobre a Lei Zero da Termodinâmica

Duração: 100 minutos (tempo de duração de duas aulas).

Objetivos específicos:

- ✓ Iniciar o estudo por meio da aplicação de um questionário, sobre as principais grandezas físicas relacionadas aos sistemas termodinâmicos.
- ✓ Demonstrar a importância de uma breve abordagem histórica sobre o desenvolvimento das Máquinas, em geral, e as praticidades que elas trouxeram na vida da humanidade até os dias atuais.
- ✓ Diferenciar as grandezas físicas calor, temperatura e apresentar as principais escalas termométricas e suas relações (Celsius, Fahrenheit e Kelvin).
- ✓ Explicar os conceitos das principais grandezas físicas, questionadas na lista de possíveis conhecimentos prévios testado com os estudantes, relacionadas ao funcionamento das Máquinas térmicas (energia, volume, trabalho mecânico, pressão, além dos mencionados calor e temperatura).
- ✓ Definir a Lei Zero da Termodinâmica (conceito de equilíbrio térmico).

Passo 1: aplicação de um pequeno questionário que se encontra na descrição do “link” a seguir, para obtenção de conhecimentos prévios dos participantes, antes de iniciar a primeira aula (o professor pode coletar esses dados um dia antes de começar a ministrar suas aulas e refletir sobre as respostas da turma em questão):

<https://forms.gle/eTTLUEgwDNLFAroQ9>

Para ter acesso aos questionários, o professor e suas turmas precisam ter vínculo com o “e-mail” @escola da rede pública de ensino, criados pela Secretaria de Educação do Paraná (SEED/PR). Entretanto, são descritos os questionários abaixo de cada “link” para que qualquer aplicador possa usá-los ou se basear neles para criar seus próprios questionários.

### Teste diagnóstico

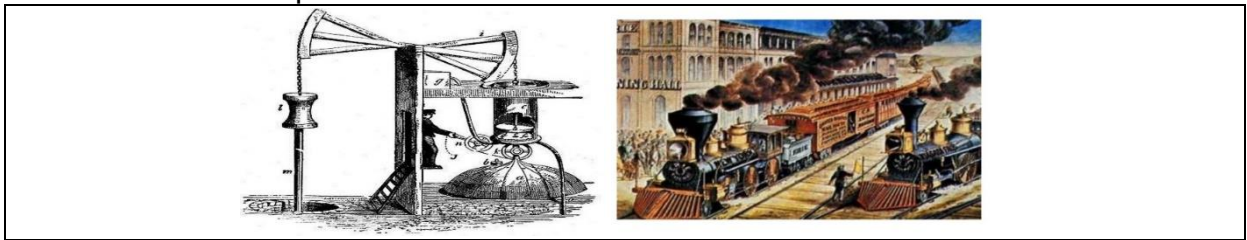
#### Questões prévias aplicadas

- 1) O que é Energia? Quais os tipos de energia que você conhece?
- 2) Temperatura e calor são a mesma coisa?
- 3) O que é temperatura?
- 4) O que é calor?
- 5) O que é volume?
- 6) O que é pressão?
- 7) Imagine um recipiente cheio de gás, por exemplo. Na sua opinião, o que acontece quando fornecemos calor a ele? Ele sempre irá esquentar?

Para verificar os conhecimentos prévios dos estudantes, o questionário supracitado (“link” acima) é aplicado inicialmente antes das ministrações sugeridas, em seguida o grupo será informado da importância de se conhecer sobre os caminhos que levaram a evolução das Máquinas Térmicas, em geral, mas em especial das Máquinas a Vapor, que até atualmente facilitam a vida em nosso cotidiano, principalmente para o âmbito do trabalho industrial e comercial (figura 1).

A questão sete em especial é uma provocação ao estudante, visto que, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica é possível que aconteça de um gás receber energia na forma de calor e ainda esfriar caso ceda mais no trabalho realizado, por exemplo, mas isso será objeto de discussão no capítulo de resultados da dissertação, vinculada a este produto educacional.

**Figura 1** – Exemplos de importantes Máquinas a vapor que trouxeram grandes benefícios para a humanidade na antiguidade e com bases nelas na vida contemporânea

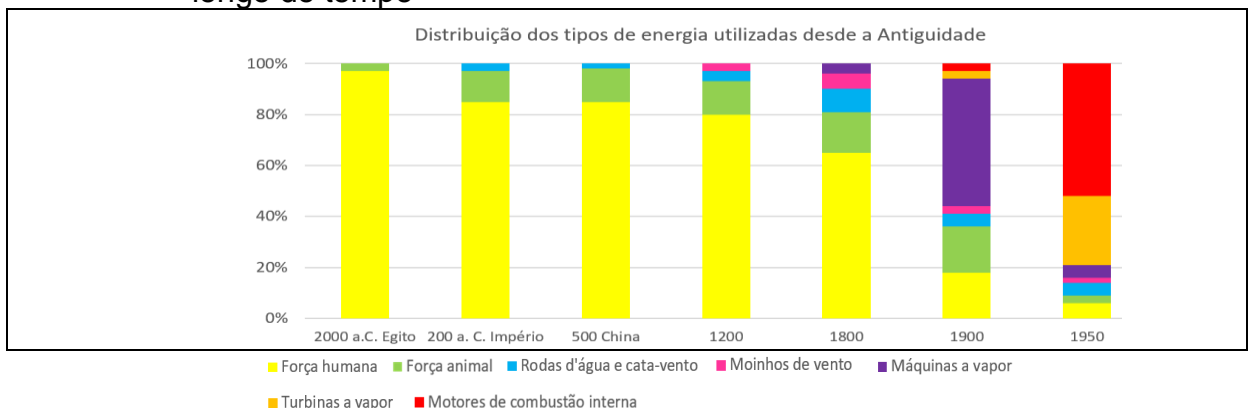


Fonte: Newcomen (2020), Glogster (2021).

Para trabalhar essa breve abordagem histórica, o professor é livre para escolher um texto que ele acredite ser ideal para tratar das Máquinas a Vapor, desde a sua descoberta, até a sua evolução conforme o desenvolvimento da revolução industrial, a partir dos séculos XVII e XVIII, além dos principais cientistas envolvidos nesse processo ao longo do caminho. Para isso, é sugerido aqui um “link”, que destinará o professor para uma página da “internet” e que serve de base de estudo ao docente, apenas para essa etapa inicial da aplicação desse material (MATEUS, 2019).

O gráfico abaixo (gráfico 1), serve de parâmetro para que o estudante consiga visualizar a evolução das ações humanas pelo emprego de trabalho, usando desde a força braçal, tração animal, rodas de água, moinhos de vento, máquinas a vapor, turbinas a vapor até os motores a combustão interna, muito usados na atualidade com diversas finalidades.

**Gráfico 1** – Representação de dados de utilização de meios de empregar energia ao longo do tempo

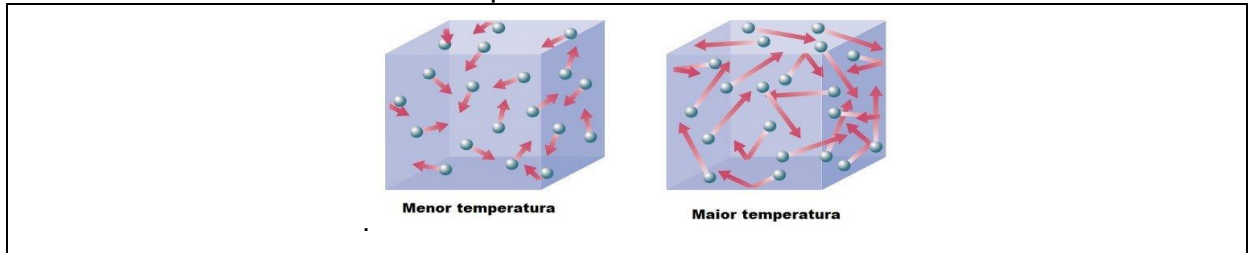


Fonte: Smil (2017).

Passo 2: A partir de então, começamos a definir o conceito de temperatura e calor, diferenciando essas duas grandezas e explicando também o fenômeno da dilatação térmica de forma superficial, usando de mídias de simulação e animação por

meio do simulador Phet Colorado e do simulador Vascak physicsanimation, como ilustra a figura de base para esse momento da aula (figura 2) a seguir:

**Figura 2** – Desenho esquemático mostrando dois recipientes com gases à diferentes temperaturas. As bolinhas representam as moléculas do gás e a flecha a ela associada representa seu vetor velocidade



Fonte: (ENERGIA..., 2021; ESTADOS..., 2021a).

Ao trabalhar com os simuladores, o professor a princípio, sempre disponibilizará o “link” para o estudante interagir com o material, mas antes explicará como usá-lo e após isso o deixará livre para mexer na ferramenta. Ao passo que o educando começa a dominá-lo o professor desenvolve algumas perguntas referentes ao que o grupo pôde observar e o porquê aquilo aconteceu ao manusear a ferramenta. Esse processo promove o método da descoberta de Bruner (1973, p. 56), descrito em detalhes na dissertação desse trabalho.

Dentre as perguntas mencionadas, podemos citar as seguintes propostas para desafiar o estudante e inseri-lo neste processo, pois o professor pode usar de sua experiência para propor também questões de seu conhecimento, de acordo com a dinâmica de suas turmas sobre o conteúdo aqui trabalhado.

1. O que vocês observaram ao manusear essa ferramenta?
2. O que aconteceu quando vocês forneceram energia na forma de calor ou trabalho ao material do sistema? Você saberia explicar o porquê?
3. Existe alguma ou algumas similaridades (igualdade) entre a simulação 1 e a simulação 2? Expliquem.

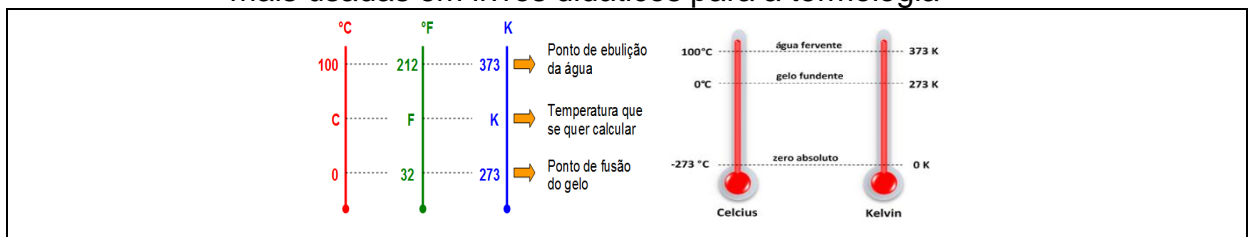
Ainda que não trabalhado o conceito da Primeira Lei da Termodinâmica na aula 1, espera-se a princípio que o estudante perceba intuitivamente a relação entre a grandeza calor e temperatura e que uma substância, gás, por exemplo, pode aumentar o seu grau de agitação das partículas que o compõe ao receber calor ou

trabalho e a diminuir essa agitação molecular quando é resfriado, ainda que o professor nesse momento não tenha explicado sobre essas grandezas.

É a partir disso que o método em espiral de Bruner pode começar a ser aplicado (MOREIRA, 1999, p. 82). Após as observações feitas pelo professor e de acordo com as respostas dadas pelo grupo, as definições e propriedades podem ser aprofundadas durante as explicações relacionadas ao assunto.

Posteriormente a demonstração computacional (simulação) e a definição do conceito de temperatura e sua relação com a variação da energia interna de um gás (explicação superficial, apenas teórica para esse momento da aula), é apresentado ao grupo as diferentes escalas termométricas, graus Celsius, graus Fahrenheit e Kelvin como ilustram as figuras a seguir (figura 3):

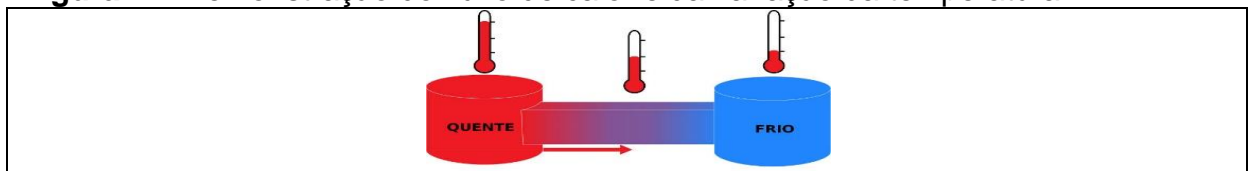
**Figura 3** – Respectivamente ilustrando a relação entre as três escalas de temperatura mais usadas em livros didáticos para a termologia



Fonte: (A ESCALA..., 2021; TEMPERATURA..., 2021).

Sequencialmente a essas definições, o conceito de calor será explicado também por interações computacionais com os estudantes por meio do uso do simulador Phet e do site Vascak.cz, como ilustra a imagem abaixo (figura 4).

**Figura 4** – Demonstração do fluxo de calor e da variação da temperatura



Fonte: Helerbrock (2021a), (TRANSFERÊNCIA..., 2021).

A intenção é tornar bastante compreensível o conceito de calor e evitar futuras confusões com o conceito de temperatura.

Para isso, durante as observações e interações com o simulador da figura 4, as seguintes questões podem ser levantadas:

1. O que vocês notaram quando a vela aquece a barra de metal?
2. Você saberia dizer por que isso aconteceu?

A resposta que se espera é óbvia. Quando a vela aquece a barra de metal, as parafinas de outras velas grudadas na parte inferior do material se desprendem. Essa resposta decorre pura e simplesmente da observação da simulação realizada.

A dúvida que provavelmente surgirá é o porquê das velas do lado do metal dourado desprendem antes das do lado do metal prateado. Essa é uma questão relacionada a condutividade térmica e ao calor específico do material, no qual o professor pode aprofundar um pouco sobre o assunto caso haja necessidade (aplicação do método/currículo em espiral), mas a intenção é de aprofundar sobre o conceito de calor por condução, fazendo com que a turma entenda que o calor é o fluxo de energia térmica de forma espontânea de um ponto ou corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura.

Lembrando que o professor pode aplicar o método em espiral em momentos oportunos tais como, quando considerar sua turma de nível fundamental mais preparada para receber informações mais aprofundadas sobre o conteúdo e sempre que for aplicar esse produto com estudantes do ensino médio.

Espiral:

3. Por que as parafinas grudadas na parte inferior do metal dourado se desgrudaram antes das parafinas do lado inferior do lado do metal prateado?

É com base nessa questão que o professor pode aplicar o conceito de condutividade térmica e também de calor específico, além disso, pode ensinar a turma a realizar o cálculo de fluxo de calor no momento oportuno ao retomar esse exemplo do simulador (com estudantes do ensino médio).

Portanto, no caso da figura 6, por meio da utilização da simulação, o calor é conceituado como fluxo de energia térmica de forma espontânea de um ponto de maior temperatura para outro de menor temperatura, devido ao desequilíbrio térmico entre os corpos ou pontos de um corpo, tomando como exemplo apenas o fluxo por condução térmica, ao invés de demonstrar as demais maneiras desse fluxo acontecer, tais como por convecção e irradiação (apenas citados), para promover a economia da representação do conhecimento, como explica Bruner (1973, p. 52).

Obviamente que ao passo que o educando armazena uma dada quantidade de informações em suas estruturas cognitivas (economia na representação do conhecimento) e a medida em que novas dúvidas surgem, o papel do professor quanto mediador/instigador é de aprofundar-se nos conceitos pertinentes ao momento da aprendizagem (método/currículo em espiral).

Por isso, nesse instante é sugerido o método em espiral com estudantes do ensino médio, para a definição e demonstração das equações possíveis que estabelecem a quantização do calor de um sistema termodinâmico para situações específicas, como se segue:

Espiral:

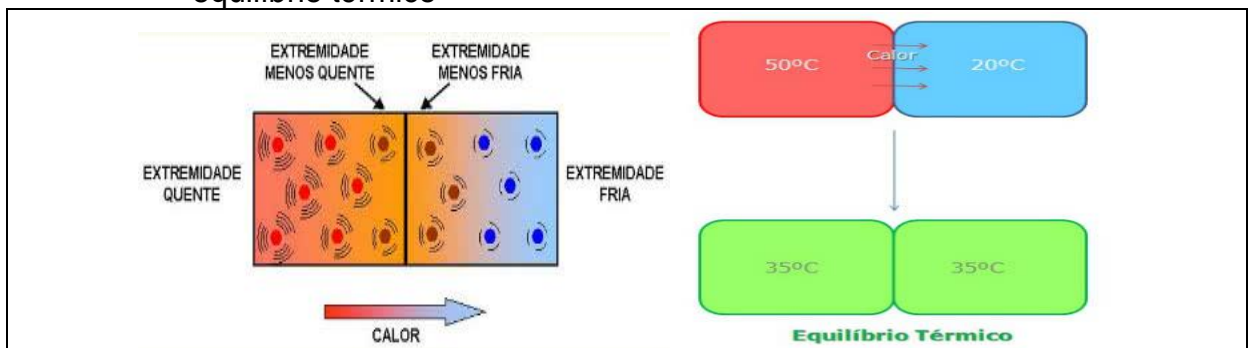
$$Q = m c \Delta T$$

$$Q = m L$$

$$Q = C \Delta T$$

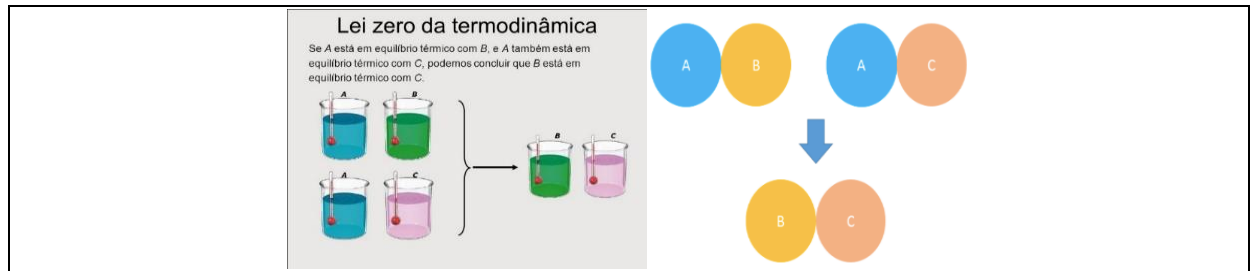
A partir da definição do conceito de calor é que a Lei Zero da Termodinâmica é definida e as imagens ilustrativas a seguir descrevem esse processo que permite explicar, a princípio, o conceito de equilíbrio térmico e posteriormente essa lei da termodinâmica (figura 5, e 6 em sequência):

**Figura 5 – Demonstração sequencial das figuras usadas para definir o conceito de equilíbrio térmico**



Fonte: Gouveia (2021).

**Figuras 6 – Demonstração sequencial das figuras usadas para explicar o conceito da Lei Zero da Termodinâmica**



Fonte: Campelo (2016), Pires (2019).

Compreender o conceito de equilíbrio térmico é indispensável para saber os limites que o fluxo de energia térmica pode ter conforme a variação de temperatura entre dois meios for estabelecida. Isso é um princípio para as demais leis da termodinâmica e para o funcionamento dos dispositivos térmicos.

A intenção é ser objetivo e simples nas ministrações, por isso, veremos que na aula de número dois a Primeira Lei da Termodinâmica será explicada por um método denominado de “intuitivo” (aula 2).

Seguindo com algumas definições abaixo, passamos para o próximo passo da aula.

Passo 3: Outras grandezas físicas associadas ao funcionamento de uma Máquina a Vapor tais como volume, pressão e o trabalho exercido por um gás ou sobre um gás (trabalho mecânico) e o conceito geral de energia também são ensinados por meio do uso de multimídias como seguimos com as imagens e os “links simulação” (encontrados no final deste documento) e equações abaixo descritas (figuras 7, 8, 9 e 10 respectivamente):

**Figura 7 – Conceituando volume**

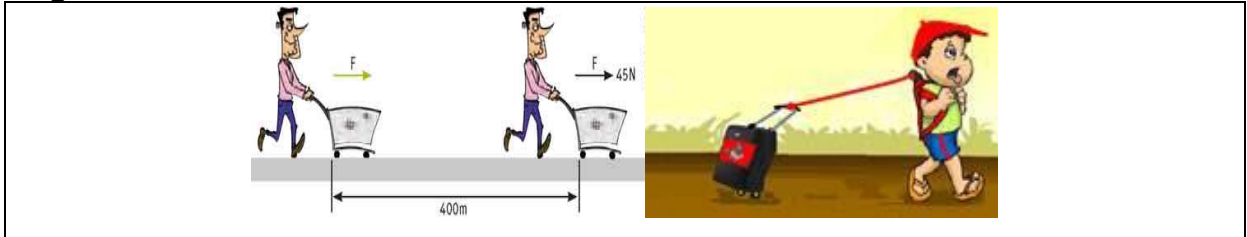


Fonte: Ribeiro (2021).

Iniciamos essa parte pela definição superficial de volume e em seguida o trabalho associado a dinâmica de um gás. É importante que o professor saliente que

uma das propriedades gasosas é obter o formato do recipiente (seu volume), quando este aumenta sua temperatura.

**Figura 8 – Conceituando o trabalho mecânico**



**Fonte:** Pereira (2019), Toaza (2020), (FORÇAS..., 2021; PROPRIEDADES..., 2021).

Na sequência dessa demonstração pelo simulador Phet (Força e Movimento), pode também ser exercido o método em espiral novamente, descrevendo as equações do trabalho mecânico e do trabalho de um gás quando o momento for oportuno, adequado a turma em questão.

A saber, o trabalho mecânico e o trabalho realizado por um gás se encontram, respectivamente, formalizados a seguir:

Espiral:

$$W = F d \cos \Theta$$

$$W = P \Delta V$$

Onde:

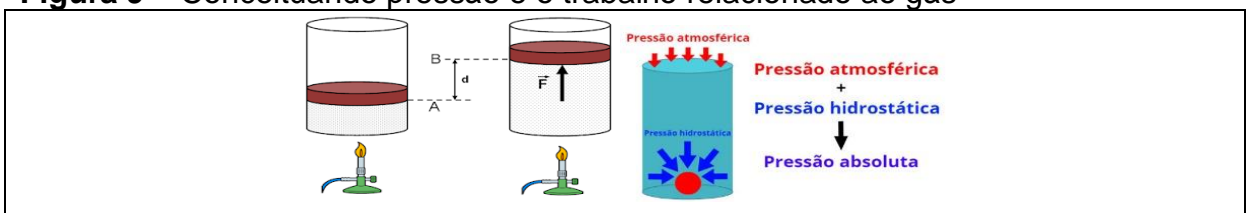
P é a pressão exercida pelo gás [Pa]

W é o trabalho realizado pelo gás [J]

$\Delta V$  é a variação de volume que o gás pode sofrer em um sistema termodinâmico [m<sup>3</sup>]

Dando sequência com as imagens, temos as seguintes ilustrações de exemplos e também os respectivos “links simulação”:

**Figura 9 – Conceituando pressão e o trabalho relacionado ao gás**



**Fonte:** Helerbrock (2021b), (ESTADOS..., 2021a; PROPRIEDADES..., 2021), Monte (2021).

A pressão, por exemplo, é justificada como a força por unidade de área que formalmente pode ser escrita com a seguinte equação:

$$P = F/A$$

Quando definimos a relação de pressão exercida por gases ideais, entretanto, essa equação considera algumas grandezas que jamais poderão ser esquecidas e são as seguintes: o volume desse gás, o número de mols de gás no sistema, e a constante universal dos gases, bem como a temperatura que varia conforme outras variáveis de estado (pressão e volume). Por esse motivo, pode ser trabalhada a seguinte equação denominada de Equação de Clapeyron:

Espiral:

$$PV = n R T ;$$

Onde:

P é a pressão [Pa]

V é o volume [m<sup>3</sup>]

n é o número de moles do sistema gasoso [mol]

R é uma constante dos gases [Pa.m<sup>3</sup>/mol.K]

T é a temperatura desse gás ideal [K]

Prosseguindo, a imagem abaixo é usada para ilustrar o conceito de energia.

**Figura 10** – Figura ilustrativa usada para conceituar energia (modo generalizado)



Fonte: (FORMAS..., 2021; LEVANTAMENTO..., 2016).

A respeito do conceito geral de energia que é uma grandeza física complexa, quando se tenta defini-la concretamente, sugere-se ao professor explorar todas as opções que o simulador possui sobre suas aplicações e métodos de conversão, pois

ao abrir o “link” Phet (Formas de Energia e Transformações), é perceptível a riqueza que essa ferramenta traz para ser explorada, e quanto maior a profundidade com que se consiga demonstrar o conceito de energia ao estudante, maior será a sua formação conceitual sobre essa grandeza escalar.

Passo 4: Esse é o momento para aplicação do primeiro questionário do pós-teste via Google Forms.

Disposição do link do questionário 1 (aula1) a seguir:

<https://forms.gle/HNz5MkXth3va8X3d6>

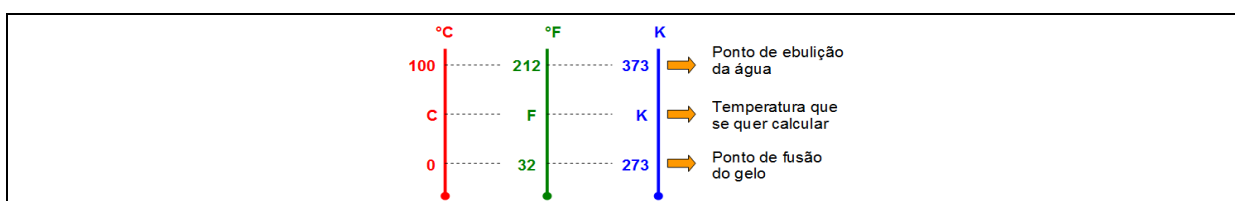
Teste diagnóstico

Questionário 1

- 1 Muitas pessoas confundem as grandezas calor e temperatura. Marque a opção correta a seguir que define a grandeza temperatura:
  - a) Grandeza relacionada ao fluxo espontâneo de energia térmica de um corpo de menor temperatura para outro de maior temperatura até atingir o equilíbrio térmico
  - b) Grandeza relacionada ao fluxo espontâneo de energia térmica de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura até atingir o equilíbrio térmico
  - c) Grandeza que mede o grau de agitação das partículas de um material e quanto maior for essa agitação, menor será a temperatura
  - d) Grandeza que mede o grau de agitação das partículas de um material e quanto maior for essa agitação, maior será a sua temperatura
  
- 2 Caso você tenha compreendido a diferença entre calor e temperatura, com certeza você irá responder corretamente e assinalar a questão correta a seguir sobre a definição de calor.

- a) Grandeza relacionada ao fluxo espontâneo de energia térmica de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura até atingir o equilíbrio térmico
- b) Grandeza que mede o grau de agitação das partículas de um material e quanto maior for essa agitação, maior será a sua temperatura
- c) Grandeza relacionada ao fluxo espontâneo de energia térmica de um corpo de menor temperatura para outro de maior temperatura até atingir o equilíbrio térmico
- d) Grandeza que mede o fluxo de calor de um material e quanto maior for essa agitação, maior será a temperatura

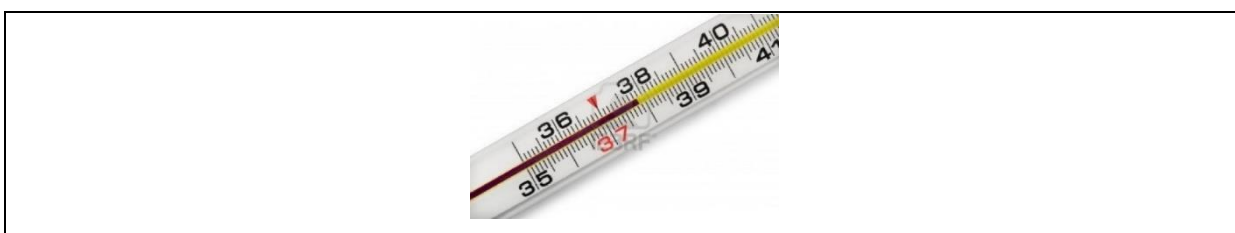
3 Existem inúmeras formas de medir a temperatura. No Brasil, usamos os graus Célsius, nos Estados Unidos é comum usar os graus Fahrenheit, ou seja, cada país tem a sua escala de medir a temperatura. Veja isso na figura a seguir: Assinale a opção que descreve a escala de temperatura absoluta, como vimos nas aulas.



Fonte: (TEMPERATURA..., 2021)

- a) Célsius
- b) Fahrenheit
- c) Centígrados
- d) Kelvin

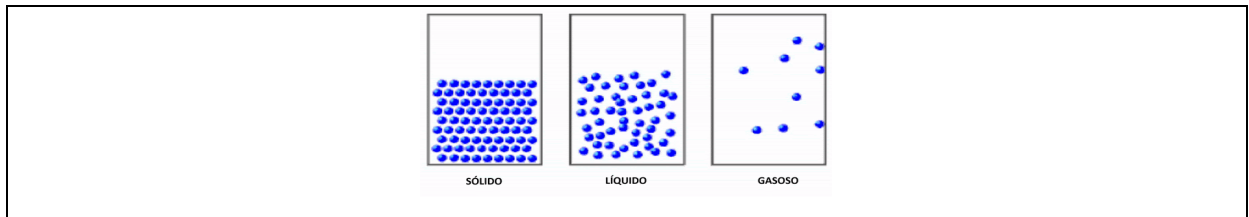
4 Sabemos que a temperatura pode ser medida por meio de um termômetro. Esse aparelho funciona quando o Mercúrio aumenta ou diminui dentro do tubinho e repousa (para) quando atinge alguma temperatura. Isso acontece por causa da:



Fonte: Aconteceu no Vale, ([2021]).

- a) Sensação e dilatação térmica
- b) Temperatura e dilatação térmica
- c) Dilatação térmica e equilíbrio térmico
- d) Sensação e equilíbrio térmico

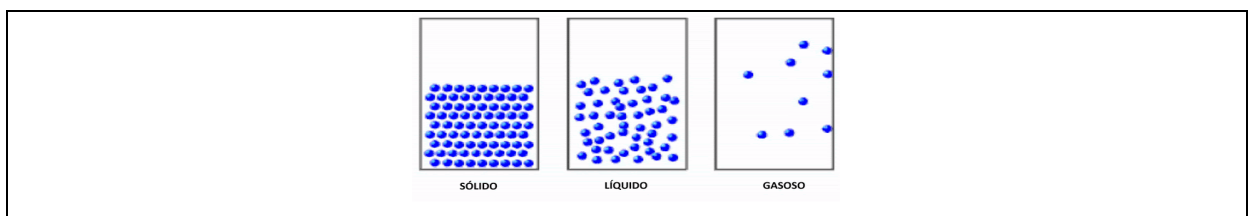
5 Observe a figura a seguir e responda: Se um objeto é aquecido, o que acontece com suas partículas?



Fonte: (ESTADOS..., 2021b)

- a) Ficam mais agitadas e mais próximas umas das outras e o gás expande (aumenta seu volume)
- b) Ficam menos agitadas e distantes umas das outras e o gás comprime (diminui o seu volume)
- c) Ficam mais agitadas e distantes (afastadas) umas das outras e o gás expande (aumenta seu volume)
- d) Ficam menos agitadas e distantes umas das outras e o gás expande (aumenta o seu volume)

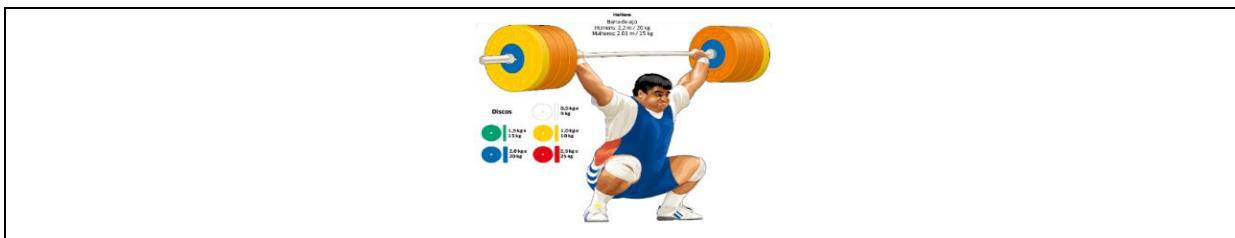
6 Sabemos que a temperatura é aquela que mede o grau de agitação das partículas de um material sólido ou gasoso (se estão muito ou pouco agitado). O que acontece então, com as moléculas de uma substância, quando esta é resfriada?



Fonte: (ESTADOS..., 2021b).

- a) Ficam mais agitadas
- b) Ficam mais lentas e unidas umas das outras
- c) Ficam mais lentas e afastadas umas das outras
- d) Ficam mais agitadas e afastadas umas das outras

- 7 A figura a seguir traz uma ilustração de um atleta realizando um grande esforço para levantar uma barra muito pesada. Para isso ele precisa empregar muita energia. Para descrever o que é energia, clique na opção abaixo que melhor define esse conceito:



Fonte: (LEVANTAMENTO..., 2016).

- a) É a capacidade de um corpo de ter força
- b) Não é possível de forma alguma tentar definir o que é energia, apesar de sentirmos ela de várias maneiras
- c) Pelo fato de precisar fazer força, a energia é a capacidade de ficar parado
- d) Capacidade de produção de ação e/ou movimento (trabalho) e manifestar-se de muitas formas diferentes, como movimento de corpos, calor, eletricidade etc.
- 8 A pressão é outra grandeza física presente em todos os lugares, pois até mesmo o ar realiza pressão sobre todos os objetos e seres vivos que existem no planeta por causa da grande massa de ar que nos cerca. De acordo com o conceito geral que define a pressão podemos dizer que:
- a) É um fluxo espontâneo de energia de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura
- b) É uma força aplicada sobre uma determinada área e quando se trata de um gás não existe pressão
- c) É uma força aplicada sobre uma determinada área e quando se trata de um gás, pode acontecer quando ele empurra as paredes de um recipiente ou quando ele é comprimido (apertado), por exemplo.
- d) Não é possível definir o que é pressão, apenas senti-la
- 9 Responda a seguinte questão: A energia térmica pode ser transformada em energia mecânica (de movimento)?

- a) Sim, com certeza
- b) Não, é impossível transformar um tipo de energia em outro tipo
- c) Não tenho certeza se pode ser transformada ou não
- d) É possível que aconteça o contrário, transformar energia mecânica em energia térmica, mas não térmica em mecânica

Seguindo a sequência de aplicação, dar-se-á continuidade no estudo sobre o assunto por meio da aula 2 descrita posteriormente e seus respectivos passos.

### 3.2 AULA 2

Tema da aula: Descrição do Princípio da conservação da energia (Primeira Lei da Termodinâmica), análise intuitiva do balanço energético e abordagem teórico/experimental sobre os tipos de transformações gasosas

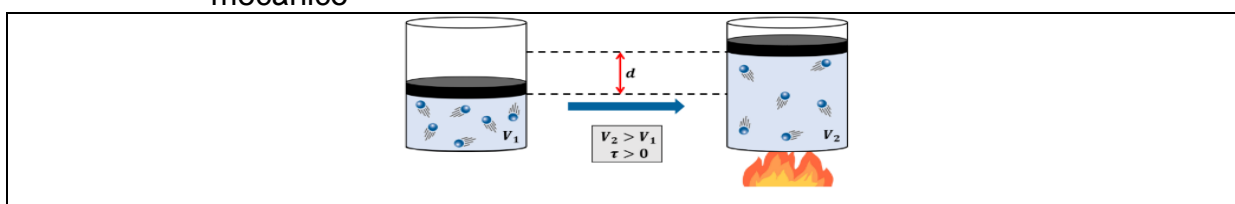
Duração: 100 minutos (tempo de duração de duas aulas)

Objetivos específicos:

- ✓ Compreender a relação entre os diferentes tipos de energia presentes em um sistema termodinâmico, a saber a variação de energia interna de um gás e sua relação com a variação da temperatura, o calor recebido ou liberado pelo gás, e o trabalho mecânico realizado pelo gás ou sofrido pelo gás.
- ✓ Entender que devido ao princípio da conservação da energia e de seu fluxo, é possível um gás esfriar mesmo recebendo calor e esquentar mesmo perdendo calor, ou ainda fazer com que sua energia interna seja nula mesmo recebendo, ou cedendo energia na forma de calor, devido ao processo de balanceamento energético, quando não operando em ciclo termodinâmico.
- ✓ Promover a experimentação para explicar os tipos de transformações gasosas que um sistema termodinâmico pode sofrer.

Passo 5: Nesse momento da aula os educandos aprendem sobre o Princípio da conservação da energia (Primeira Lei da Termodinâmica) pelo “método intuitivo” mencionado, aplicando a ideia da seguinte equação:  $\Delta U = E_{\text{Recebida}} - E_{\text{Liberada}}$ , buscando com isso um aprendizado simplificado sobre a relação entre essas grandezas em um sistema termodinâmico linear (Primeira Lei). Ainda que o estudante não compreenda brevemente, espera-se com isso que ele (a) seja capaz de associar a ligação entre as grandezas físicas envolvidas nesse processo. Evitamos aplicar a forma tradicional da equação,  $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ , inicialmente, ou não aplicar com as turmas de ensino fundamental, visando, ao menos a princípio, fugir um pouco do formalismo matemático da regra de sinais quando possível, para um sistema termodinâmico como ilustra a figura 11 a seguir:

**Figura 11** – Descrição de um sistema termodinâmico cujo mesmo realiza trabalho mecânico



Fonte: Denis (2020).

Esse tal “método intuitivo” busca simplificar a compreensão do grupo sobre a Primeira Lei da Termodinâmica e desenvolver a economia na representação do conhecimento (estrutura da matéria), descrita na teoria de ensino de Bruner. Esse método por nós aplicado, pode ser representado pela seguinte expressão para fins da compreensão do assunto:

$$\text{Variação da energia interna do gás} = \text{energia recebida pelo gás} - \text{energia liberada pelo gás}$$

A energia recebida ou liberada pode ser na forma de calor e/ou na forma de trabalho, conforme a dinâmica das variáveis de estado do gás são consideradas na questão.

Podendo ainda esta ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta U = E_R - E_L$$

É preciso destacar aqui que esse não é um modo infalível para obter resultados cem por cento satisfatório, durante e após ser aplicado, pois precisamos lembrar duas coisas.

A primeira, é que cada indivíduo tem uma capacidade mais rápida ou mais lenta de absorção do conhecimento, a segunda é que por se tratar de um assunto novo para o estudante, é necessário treiná-lo com alguns exemplos e exercícios, além disso, o educando que tiver falta de tenacidade poderá muito bem, fazer uma soma ao invés da subtração, ou algo semelhante quando errar uma regra de sinais e não chegar ao resultado esperado.

É por isso que Bruner (1973, p. 57) explica sobre o conceito de reforço e sua importância para o desenvolvimento cognitivo, realizar correções no momento e local adequado.

Por fim, após desenvolvida a intuição conceitual do educando sobre esse princípio, o professor poderá descrever a fórmula tradicional (espiral) que representa a Primeira Lei da Termodinâmica (caso seja usado esse produto com estudantes do ensino médio e opcionalmente com estudantes do ensino fundamental II, conforme o desempenho de cada turma).

Abaixo, encontra-se descrita a equação tradicional acerca da primeira Lei da Termodinâmica.

Espiral:

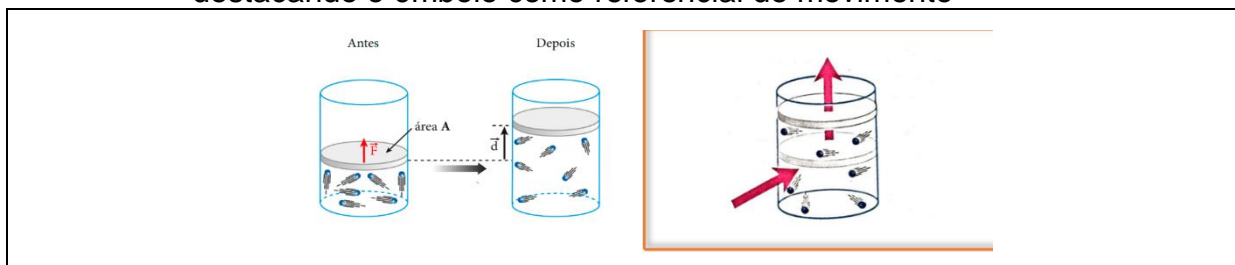
$$\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$$

Para facilitar a resolução dos exercícios do questionário sobre sistemas termodinâmicos e o balanço energético (Primeira Lei da Termodinâmica) posteriormente descrito pelo “link” abaixo, é feita uma breve revisão sobre o conceito de soma (dívidas) matemática por meio de quatro exemplos que podem ser montados pelo professor conforme haja necessidade, como, por exemplo, os seguintes:  $-10 - 10 = -20$ ;  $-10 + 30 = +20$ , apenas para que o grupo tenha maior chance de encontrar a resposta correta para assinalar e principalmente compreender o conceito em questão.

Essa regra de sinais só será motivo de preocupação do estudante quando, por exemplo, um gás ceder energia na forma de calor e também na forma de trabalho (soma de valores negativos) ou ainda em situações similares.

A figura 12, também foi usada com simulação multimídia (site Vascak.cz) na tentativa de obter melhores resultados sobre a compreensão por parte do grupo.

**Figura 12** – Respectivamente - descrevem recipientes com gás e sua realização de trabalho devido a agitação térmica de suas partículas e ao lado, destacando o êmbolo como referencial de movimento



**Fonte:** Fernandes (2020), (DEMOSNTRAÇÃO..., 2021; REPRESENTAÇÃO..., 2021a, 2021b).

Caso o professor consiga explicar a expressão matemática tradicional da Primeira Lei da Termodinâmica com sua turma de ensino fundamental, os integrantes de sua sala de aula poderão optar pela resolução por ambos os métodos apenas para melhor fixação do conceito de Princípio da Conservação da Energia, a saber, o balanço energético promovido por alguns sistemas termodinâmicos, por exemplo, como é o caso da primeira lei.

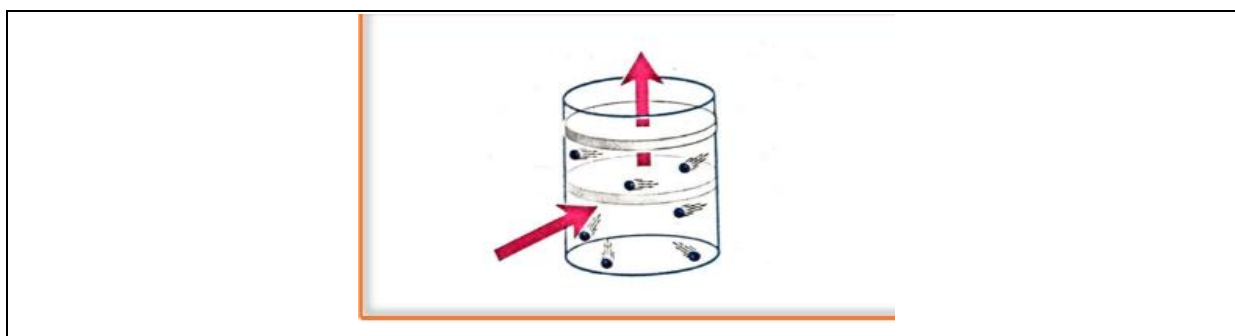
Abaixo está descrito o “link” do questionário com exercícios de fixação sobre a Primeira Lei da Termodinâmica, no qual o estudante pode aplicar a equação do “método intuitivo”:

<https://forms.gle/m8hUkcd7bEfLkdGP7>

Teste diagnóstico

Pré-questionário 2

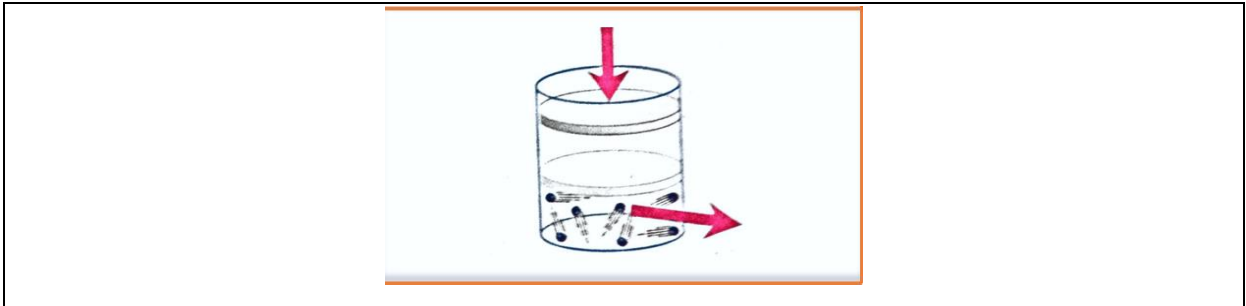
1 Um gás contido em um recipiente com tampa móvel recebe 10 joules na forma de calor e libera 30 joules na forma de trabalho. Sobre a situação assinale a alternativa correta. Fórmulas:  $\Delta U = ER - EL$  ou  $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ .



**Fonte:** Fernandes (2020).

- a) A variação da energia interna do gás é – 20 joules e o gás aquece
- b) A variação da energia interna do gás é – 20 joules e o gás esfria
- c) A variação da energia interna do gás é 20 joules e o gás esfria
- d) Não ocorre variação de energia interna desse gás

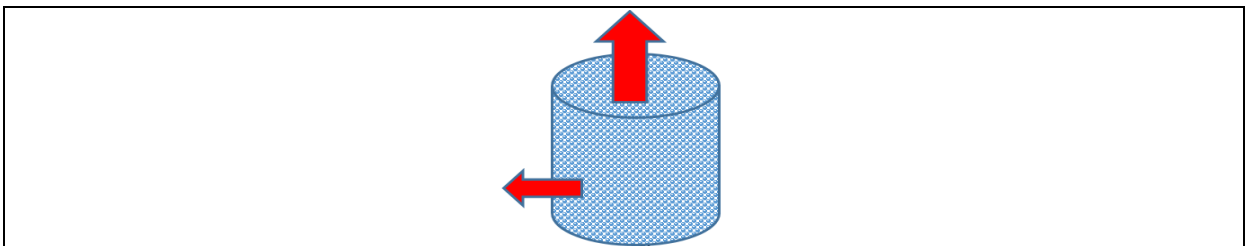
2 O mesmo gás agora contido nesse mesmo recipiente perde (libera) 20 joules na forma de calor e recebe (comprime) 30 joules na forma de trabalho. É correto dizer que: Fórmulas:  $\Delta U = ER - EL$  ou  $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ .



Fonte: Fernandes (2020).

- a) A variação da energia interna do gás diminui 10 joules e ele esfria
- b) A energia interna do gás aumenta 50 joules e ele aquece
- c) A energia interna do gás aumenta 10 joules e ele aquece
- d) A energia interna do gás aumenta 30 joules e ele aquece

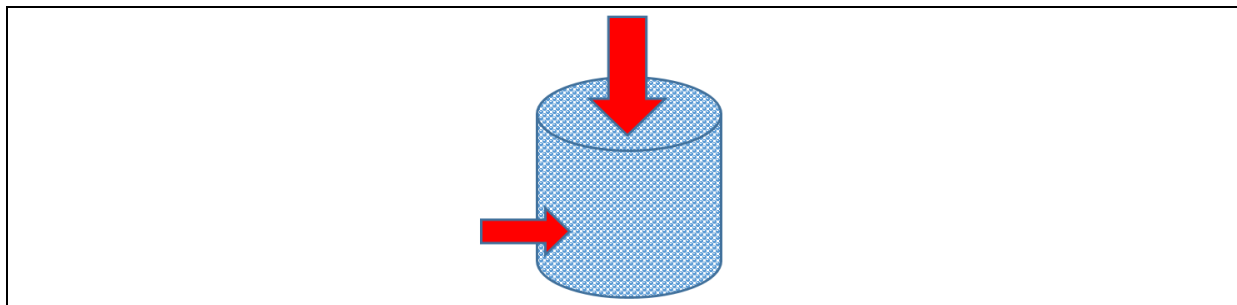
3 Supondo agora que esse gás libere 10 joules na forma de calor e ainda libere 40 joules na forma de trabalho (expanda). O que podemos concluir? Assinale a opção correta a seguir: Fórmulas:  $\Delta U = ER - EL$  ou  $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ .



Fonte: O autor.

- a) O gás diminuiu sua energia interna em –50 joules e esfriou
- b) O gás diminuiu sua energia interna em – 30 joules e aqueceu
- c) O gás aumentou sua energia interna em 50 joules e aqueceu
- d) O gás não mudou sua energia interna porque só perdeu energia

4 Por fim o mesmo gás agora recebe 20 joules na forma de calor e recebe 60 joules na forma de trabalho (comprime). O que aconteceu com a energia interna desse gás?  
Fórmulas:  $\Delta U = ER - EL$  ou  $\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$ .



Fonte: O autor.

- a) Agora o gás diminuiu a sua energia interna em  $-40$  joules e esfriou
- b) O gás nesse momento aumenta sua energia interna em 80 joules e aquece
- c) O gás não altera sua energia interna quando só recebe energia na forma de calor e trabalho
- d) O gás nessa situação fica com a sua energia interna nula, pois apenas recebeu energia e não liberou nem por calor e nem por trabalho

Essas questões são posteriormente corrigidas para melhorar a compreensão dos educandos e promover o método do reforço defendido por Bruner (1973, p. 57).

Prosseguindo, o passo seis dessa aula é explicado na sequência para que todo o arcabouço de informações continue sendo construído até chegar no principal objetivo desse estudo que é a evolução conceitual dos participantes.

Passo 6: A partir deste instante, o professor explica o conceito das transformações gasosas e suas principais variáveis de estado.

A priori, é sugerido ao docente que realize os experimentos a seguir sobre os tipos de transformações gasosas, para promover o método da descoberta com os educandos ao propor alternativas a serem respondidas, e com isso, estimule o grupo a solucioná-las após a realização das experiências realizadas (BRUNER, 1973, p. 56) como ilustrados por meio das figuras 13 e 14:

Transformação Isovolumétrica (Isocórica)

**Figura 13 – Transformações gasosas Isovolumétrica**



Fonte: O autor.

Materiais para a aplicação experimental 1:

- ✓ 1 Garrafa de água mineral de 500 ml com tampa furada ao centro
- ✓ 1 Garrafa de água mineral de 500 ml sem tampa
- ✓ 1 Bexiga
- ✓ 1 Canudinho de plástico
- ✓ 2 Vasilhas (de preferência de vidro)
- ✓ Água fervida
- ✓ Água resfriada (com gelo)

Procedimentos:

Acrescenta-se água com suco ou corante até próximo da metade interna da garrafa plástica e introduz o canudo de plástico por entre o furo central feito em sua tampa. Leva-se todo o material montado e o coloca dentro da vasilha a princípio vazia. Posteriormente, adiciona-se água fervendo no recipiente de base.

O que se observa é o líquido colorido subindo por dentro do canudo, em outras palavras, o aumento de pressão do fluido devido à elevação de temperatura pela transferência de calor da água fervida empurra o líquido para dentro do canudo, mas o volume no interior da garrafa permanece constante (observável). Ao descrever esse experimento, o professor pede ao grupo que observe com atenção o que acontece e para promover o método da descoberta de Bruner levanta as seguintes questões:

1. O que você observou quando a garrafa com o líquido colorido foi colocada na vasilha com água quente? Vocês saberiam explicar porque isso aconteceu?

2. O que aconteceu quando a garrafa com o líquido colorido foi colocada na vasilha com água fria? Vocês saberiam explicar porque isso aconteceu?

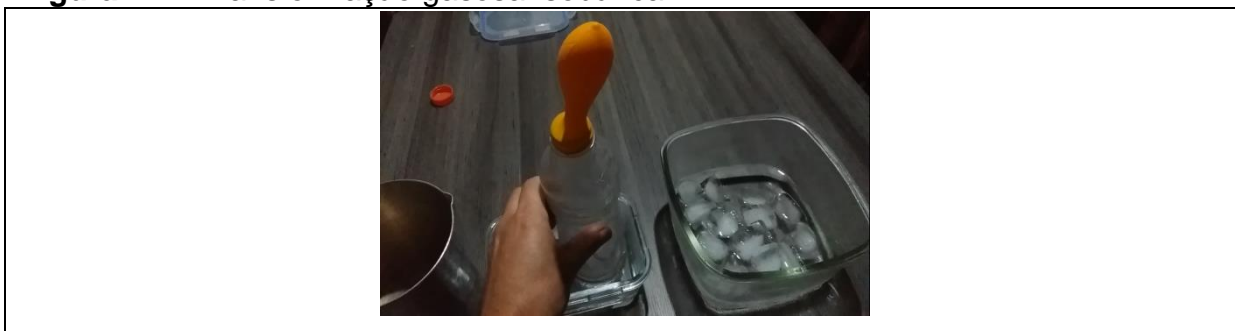
Espiral:

3. Aplicação da equação para a transformação gasosa isovolumétrica a seguir em uma situação problema levantada pelo professor por meio de exercícios de livros didático ou páginas educativas da internet:

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_f}{T_f}$$

Transformação Isobárica

**Figura 14** – Transformação gasosa Isobárica



Fonte: O autor.

Para demonstrar esse tipo de transformação por meio da experimentação, precisamos descrever duas etapas.

Em posse da outra garrafa de água mineral, agora apenas com ar, acopla-se a bexiga na parte superior dela e o professor irá usar duas vasilhas (de preferência de vidro), uma para adicionar água fervida e a outra para acrescentar água resfriada (ou com gelo).

Primeira etapa:

O processo é o seguinte: a garrafa com a bexiga acoplada é colocada na vasilha com água fervida.

O resultado é que a bexiga irá desenvolver um pequeno aumento de volume, devido ao recebimento de calor por meio da água fervida que faz com que o ar dentro

da garrafa se expanda, ou seja, ocorrência de um aumento de volume do gás que realiza trabalho inflando a bexiga.

Segunda etapa:

É praticamente idêntica à anterior, porém, agora essa mesma garrafa é colocada em outra vasilha com água fria, com gelo, e o que se observa é uma diminuição no volume da bexiga devido a compressão do ar (gás) dentro da garrafa por causa que o sistema cede calor para o líquido mais frio na vasilha, mas a pressão praticamente não se altera no interior do recipiente.

Além de explicar sobre a transformação isobárica (pressão constante), nesse momento o professor pode retomar o conceito de calor como o fluxo espontâneo da energia térmica do corpo de maior temperatura (ar inicialmente aquecido) para o líquido com baixa temperatura, ou seja, considerar novamente a questão do reforço defendido por Jerome Bruner (1973, p. 57), correções abrandadas pelo professor.

Após aplicar a parte experimental referente a transformação Isobárica, as seguintes questões são levantadas:

1. Vocês observaram que ao colocarmos a garrafa vazia com a bexiga encaixada em um recipiente com água fervida ela inflou um pouco. Por que isso aconteceu? Expliquem.
2. Por outro lado, quando colocamos essa mesma garrafa em um recipiente com água fria a bexiga diminuiu seu volume. Expliquem por que, agora, o volume diminuiu, ou seja, porque aconteceu o processo contrário ao da primeira etapa?

Espiral:

3. Aplicação da equação para a transformação gasosa isobárica a seguir em uma situação problema levantada pelo professor por meio de exercícios de livros didáticos ou páginas educativas da internet:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_f}{T_f}$$

## Transformação Isotérmica

### Materiais para a aplicação experimental 2:

- 1 garrafa de refrigerante pet
- 1 caneta com tampa sem refil
- 1 clipe metálico pequeno
- 2 litros de água à temperatura ambiente

### Procedimentos:

Inicialmente a garrafa é preenchida com água de modo a ser suficiente para a caneta boiar e afundar. Em seguida toma-se a caneta com tampa, porém, sem refil e fixa-se o clipe na ponta da tampa e esta é colocada dentro da garrafa que por fim deve ser bem tampada.

Com a palma das mãos a garrafa é pressionada externamente na sua região central e o que se vê é a caneta afundando ao pressionar a garrafa e a subir quando se retira a pressão com a palma das mãos.

Esse experimento é tradicionalmente conhecido como submarino na garrafa e pode ser usado para explicar a transformação isotérmica, porque ao exercer uma pressão de fora para dentro na garrafa cheia de água, o aumento dessa pressão sobre o fluido faz com que o volume de ar dentro da caneta diminua pela entrada de líquido e o objeto afunda e ao afastar as mãos retirando a pressão, o volume de ar volta ao seu estado inicial aumentando um pouco e tudo isso ocorre sem haver mudança de temperatura, ou seja, de forma isotérmica como descrito a seguir pela figura 15:

**Figura 15** – Ilustração sobre transformação Isotérmica (Submarino na garrafa)



Fonte: (SUBMARINO..., 2016).

Em seguida a realização desse outro experimento, as seguintes questões são levantadas:

1. Por que ao pressionarmos as laterais da garrafa o tubo da caneta afunda? Qual é a relação entre pressionar (exercer a força de pressão) e o movimento de descida da caneta?
2. Pensando naqueles recipientes preenchidos por gás e com tampa que estudamos no balanço energético referente a Primeira Lei da Termodinâmica, o que acontece com o volume da pequena massa de ar na parte “vazia” da caneta em relação a dinâmica da grandeza trabalho (é realizado pelo gás ou sofrido pelo gás)?

Espiral:

3. Do mesmo modo, aplica-se a equação para a transformação gasosa isotérmica, descrita a seguir em uma situação problema levantada pelo professor por meio de exercícios de livros didáticos, ou páginas educativas da internet:

$$P_0 V_0 = P_f V_f$$

Por fim, para explicar experimentalmente a transformação adiabática, deixaremos aqui um “link” de um vídeo para que o professor possa explicá-lo por meio de aulas remotas, mas desenvolvê-lo em um laboratório escolar após o atual período de pandemia que se passa, entretanto, é opcional essa aplicação, visto que o vídeo é bastante didático e de fácil compreensão em relação às propriedades adiabáticas de um sistema termodinâmico. No entanto, o “link” de acesso é o seguinte: <https://www.youtube.com/watch?v=128PPcb47sA>.

Da mesma maneira que nas situações anteriores, aqui podem também ser levantadas as seguintes questões sobre esse último tipo de transformação gasosa ensinada:

1. Vocês saberiam explicar de uma forma bem simples qual é a relação entre materiais feitos de lã e isopor, por exemplo, com as transformações gasosas do tipo Adiabática?

2. A expansão do gás nesse tipo de transformação é repentina (muito rápida) ou muito lenta? Vocês saberiam explicar?

Espiral:

Em relação à equação que representa uma transformação adiabática, caso algum estudante indague o professor sobre sua forma, é possível citá-la, mas não há necessidade de aprofundar sobre os pormenores associados a esta expressão, visto que ela dificilmente é cobrada, atualmente, em livros didáticos do ensino médio da rede pública, sendo, entretanto, mais comum em apostilas de cursos preparatórios para academias militares, cuja exigência é maior para àqueles que desejam ingressar nessa carreira de atuação. Lembrando também que esse trabalho é idealizado com base no argumento mais marcante de Bruner, que em síntese, pontua a aplicação dos conteúdos de forma resumida e simplificada, quando se quer coletar resultados positivos em qualquer faixa etária sobre um determinado assunto (conteúdo).

$$P_0 V_0^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

Onde  $\gamma$  é o coeficiente de expansão adiabática, de modo que, por ser maior que um, quando o volume aumenta pouco a pressão diminui muito devido a essa potência representada pela letra Gama. Note que é necessário um pouco mais de domínio por parte do educador para explicar a transformação adiabática por essa fórmula, além disso, como mencionado, não é comumente cobrado na rede pública na etapa do ensino médio, mas pode ser explicada caso o professor seja questionado a descrevê-la.

Espiral:

No entanto, o professor deve demonstrar matematicamente para sua turma que na transformação adiabática a Primeira Lei da Termodinâmica é representada pela seguinte expressão:

$$\Delta U = Q - W_{\text{gás}}$$

$$\Delta U = 0 - W_{\text{gás}}$$

$$\Delta U = W_{\text{gás}}$$

Isso decorre exatamente pelo fato de não haver troca de calor com o meio em que o sistema se encontra, em outras palavras, o calor não é recebido e não é cedido (liberado) para o meio externo devido à presença de paredes adiabáticas (isolantes).

Essa sim é uma expressão e conceito que deve ser de responsabilidade do docente explicar para sua turma no momento oportuno.

Lembrando que:

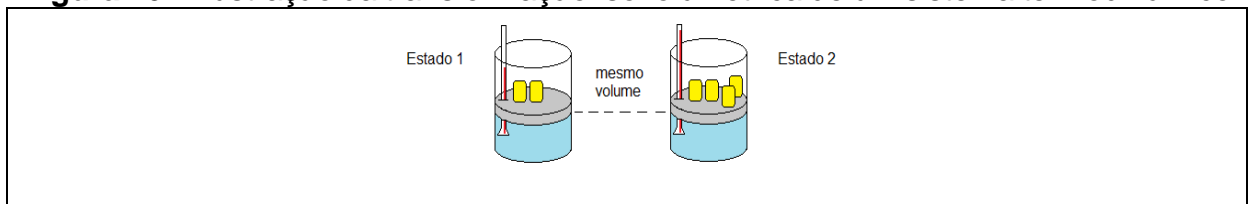
$\Delta U$  é a variação da energia interna do fluido (gás)

$Q$  é quantidade de calor trocada (recebido ou cedido)

$W_{\text{gás}}$  é o trabalho realizado pelo gás ou sobre o gás

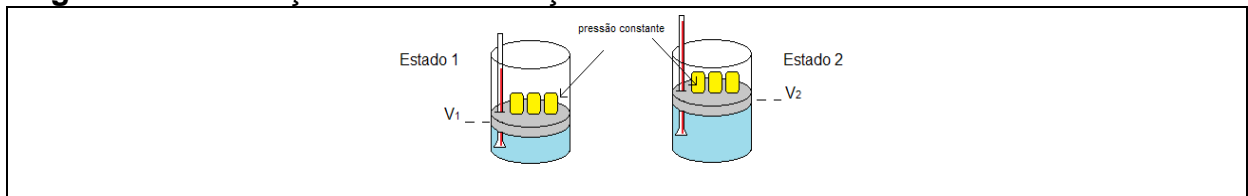
As imagens a seguir, portanto, são sugestões para serem usadas com aplicação de simulações por meio do simulador Phet, para enriquecer a compreensão do educando sobre o conteúdo em questão (figuras 16, 17, 18 e 19). Todos esses “links” citados, de simulações, encontram-se no final deste documento, logo abaixo do último questionário, antes das referências bibliográficas.

**Figura 16 – Ilustração da transformação Isovolumétrica de um sistema termodinâmico**

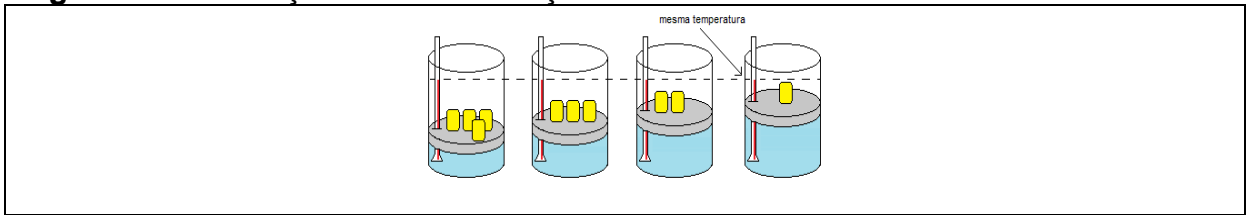


Fonte: Evangelista (2021c).

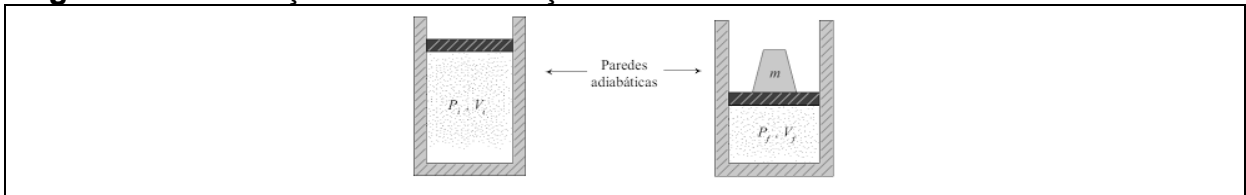
**Figura 17 – Ilustração da transformação Isobárica de um sistema termodinâmico**



Fonte: Evangelista (2021c).

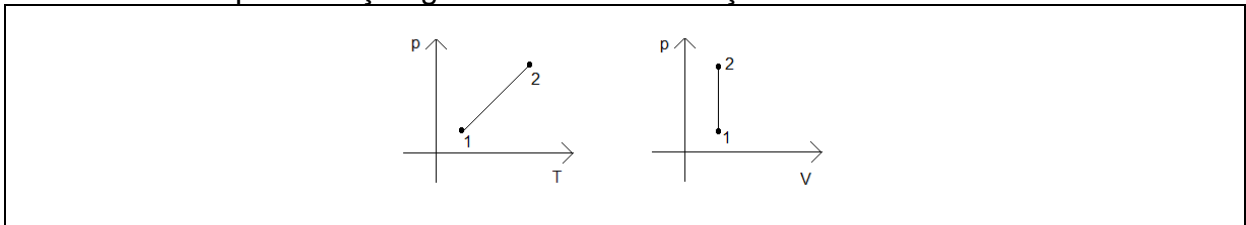
**Figura 18 – Ilustração da transformação Isotérmica de um sistema termodinâmico**

Fonte: Evangelista (2021c).

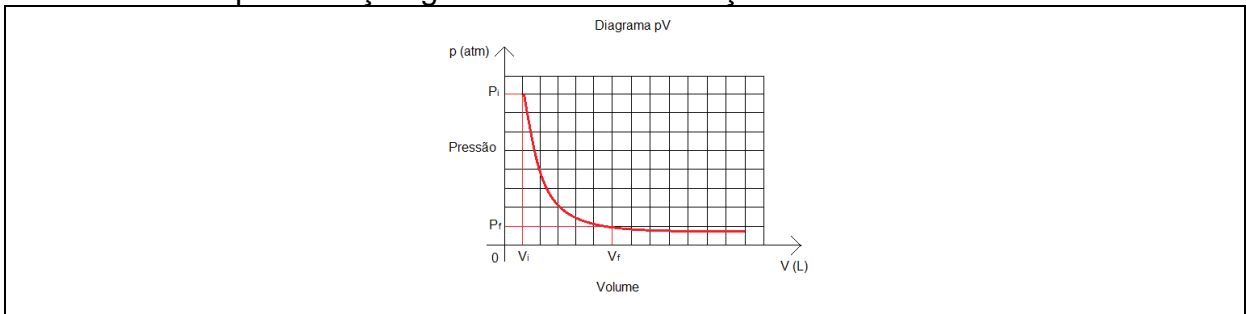
**Figura 19 – Ilustração da transformação adiabática de um sistema termodinâmico**

Fonte: (2ª LEI DA TERMODINÂMICA..., 2021).

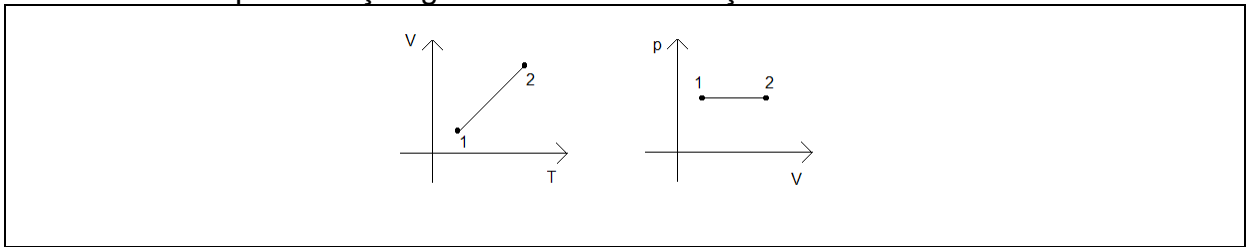
Junto as imagens supracitadas, para definir os tipos de transformações gasosas, também usamos ilustrações gráficas para representar numericamente como a situação se dá em cada caso (Gráficos 2, 3, 4 e 5, respectivamente).

**Gráfico 2 – Representação gráfica da transformação Isovolumétrica**

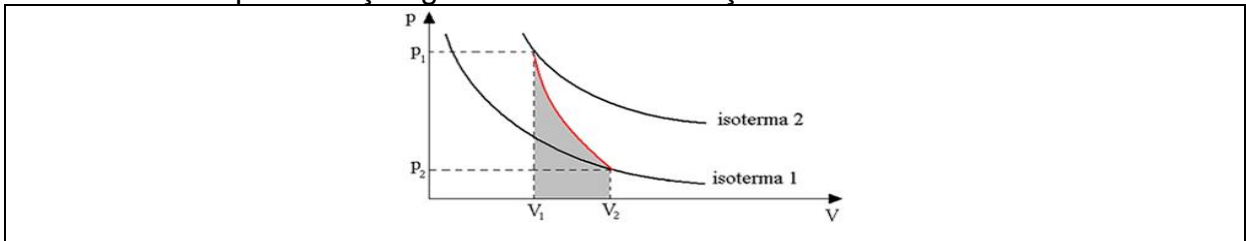
Fonte: Evangelista (2021c).

**Gráfico 3 – Representação gráfica da transformação Isotérmica**

Fonte: Evangelista (2021b).

**Gráfico 4 – Representação gráfica da transformação Isobárica**

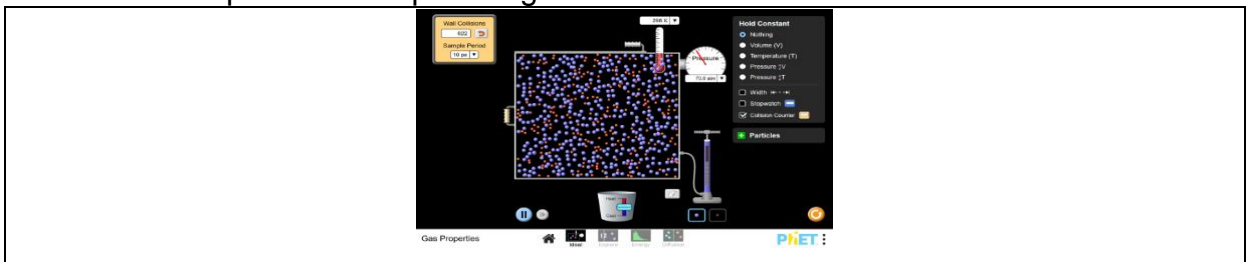
Fonte: Evangelista (2021a).

**Gráfico 5 – Representação gráfica da transformação Adiabática**

Fonte: Silva (2021).

Ilustrar graficamente algumas questões, é importante para explorar e investigar o estágio de desenvolvimento simbólico (representação icônica) descrito por Bruner (1973, p. 52), que trata da capacidade de interpretação de diagramas e gráficos.

A imagem a seguir (figura 20) é a mesma usada em simulações anteriores para explicar algumas grandezas físicas relacionadas a termodinâmica, em especial a Primeira Lei. Todavia, a mesma é usada agora para demonstrar as propriedades envolvendo as transformações gasosas, e, para isso, basta apenas copiar o “link” da simulação na barra de busca da “internet”. Uma observação a ser feita aqui é de que o simulador Phet pode também ser baixado em um dispositivo móvel para uso posterior.

**Figura 20 – Imagem da simulação trabalhada sobre algumas das propriedades apresentadas por um gás ideal e suas variáveis de estado**

Fonte (PROPRIEDADES..., 2021).

Ao findar da aula dois, um novo questionário é aplicado (Google Forms) para promover uma fixação mais confiável em relação ao conteúdo trabalhado e também aferir o desempenho do grupo sobre os parâmetros individuais e gerais de dados evolutivos ou não evolutivos da turma e conduzir o assunto da maneira mais adequada a partir da aula três.

Passo 7: Aplicação do questionário da aula dois (questionário 2) referente ao pós-teste associado ao tema da aula, a seguir:

<https://forms.gle/Lu4A8ZpxKKHYvRMW7>

Teste diagnóstico.

Questionário 2

1 A primeira lei da termodinâmica diz a respeito à:

- a) Dilatação térmica
- b) Conservação de energia
- c) Irreversibilidade do tempo
- d) Conservação da massa

2 Considere uma garrafa térmica fechada com uma certa quantidade de água em seu interior. A garrafa é agitada fortemente por um longo período de tempo. Ao final desse período pode-se dizer que a temperatura da água

- a) Aumenta, pois, o ato de chacoalhar aumenta a energia interna da água
- b) Aumenta, pois, o choque entre as moléculas gera calor
- c) Aumenta, pois, o trabalho vai ser transformado em calor
- d) Diminui, pois, a parede interna da garrafa térmica vai absorver o calor da água

3 Enquanto se expande, um gás recebe o calor  $Q=100\text{J}$  e realiza o trabalho  $W=70\text{J}$ . Ao final do processo, podemos afirmar que a energia interna do gás:

- a) Aumentou  $170\text{J}$

- b) Aumentou 100J
- c) Aumentou 30J
- d) Diminuiu 30J

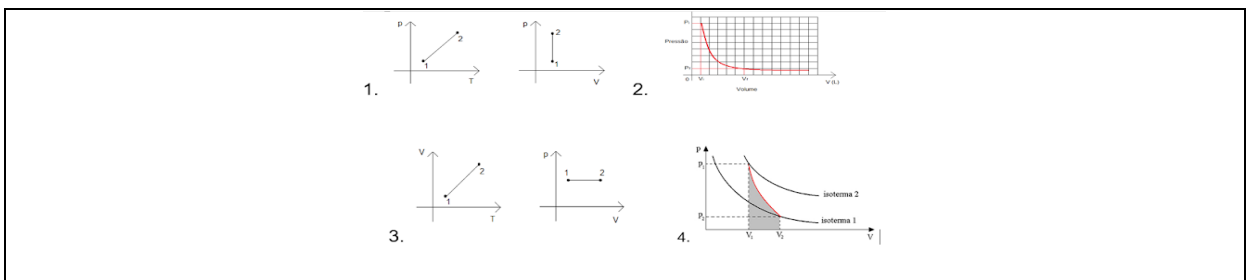
4 Durante a compressão de um gás, sob a ação de uma força constante, pode-se afirmar que:

- a) A temperatura do gás é invariável
- b) A energia interna permanece a mesma
- c) O trabalho realizado sobre o gás é negativo
- d) O trabalho realizado sobre o gás é positivo

5 A equação dos gases perfeitos relaciona as chamadas "variáveis de estado". Quais são essas variáveis?

- a) Pressão, Volume e Temperatura
- b) Pressão, Temperatura e Gás
- c) Volume, Gás e Temperatura
- d) Temperatura, Gás e Volume

6 Observe os gráficos numerados a seguir e assinale a alternativa que corresponde corretamente ao gráfico e ao seu número:



**Fonte:** O autor.

Imagem de representações gráficas das transformações gasosas.

- a) Gráfico 1: Adiabática; Gráfico 2: Isotérmica; Gráfico 3: Isovolumétrica;  
Gráfico 4: Isobárica (pressão constante)
- b) Gráfico 1: Isovolumétrica; Gráfico 2: Isotérmica; Gráfico 3: Isobárica  
(pressão constante); Gráfico 4: Adiabática

- c) Gráfico 1: Adiabática; Gráfico 2: Isobárica; Gráfico 3: Isotérmica; Gráfico 4: Isovolumétrica
- d) Gráfico 1: Isotérmica; Gráfico 2: Adiabática; Gráfico 3: Isovolumétrica; Gráfico 4: Isobárica

Algumas questões foram criadas pelo professor e outras extraídas do site Racha Cuca (página de Quiz).

### 3.3 AULA 3

Tema da aula: Descrição do funcionamento das Máquinas Térmicas a Vapor, motores a combustão externa, interna e definição da Segunda lei da Termodinâmica

Duração: 50 minutos (tempo de duração de uma aula).

Objetivos específicos:

- ✓ Identificar o princípio do funcionamento de um dispositivo térmico qualquer, por meio do entendimento dos conceitos da Lei zero (fluxo de calor) e da Primeira Lei da Termodinâmica.
- ✓ Compreender a relação da Primeira e da Segunda Lei da Termodinâmica, como princípio de funcionamento de uma Máquina Térmica.
- ✓ Comparar um motor de combustão externa com um motor de combustão interna (Ciclo Otto), em relação aos mecanismos de funcionamento.
- ✓ Descrever os limites físicos sobre o rendimento de um dispositivo térmico de naturezas diversas.

Passo 8: A partir dos objetivos traçados para essa aula, o professor demonstrará efetivamente como acontece o funcionamento dos dispositivos térmicos. Partindo do pressuposto que nesse momento (aula 3), o estudante já seja capaz de ter o conhecimento suficiente sobre os conceitos da Lei zero e da Primeira Lei da Termodinâmica é que se pode explicar os mecanismos para que, de fato, uma Máquina Térmica a vapor funcione e com isso, poder-se-á aplicar dois novos

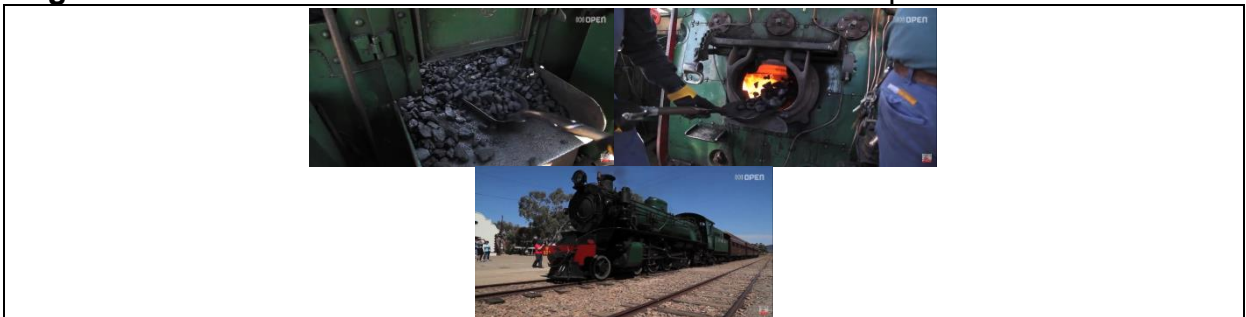
conceitos, denominados de rendimento e eficiência de um dispositivo térmico, mas antes, o da Segunda Lei da Termodinâmica.

Por fim explicar de forma simplificada, mas de maneira intelectualmente honesta (BRUNER, 1973, p. 51), as etapas do Ciclo de Carnot (possibilidade de um rendimento máximo que uma Máquina Térmica poderia atingir segundo esse ciclo).

Para que isso tudo seja possível, o professor iniciará sua ministração com demonstrações práticas (apenas descrições cotidianas, por enquanto) e posteriormente esquemática ou de forma alternada entre ambas, ou seja, descrever as etapas necessárias para que uma Máquina Térmica consiga produzir trabalho, incluindo a questão de rendimento e de eficiência desses dispositivos.

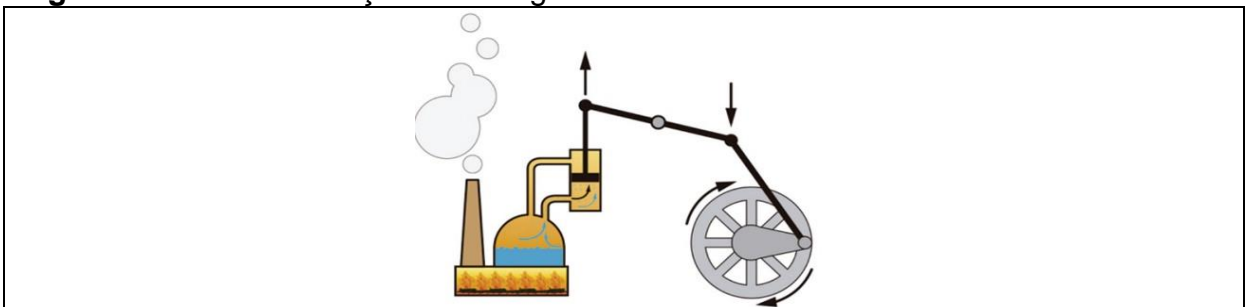
As imagens a seguir podem ser usadas para as tais demonstrações supracitadas e na mesma sequência que se encontram abaixo, e durante as aulas foram utilizadas exatamente na ordem que estão sendo aqui descritas nos “slides” trabalhados (Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29), incluindo o gráfico descrito na sequência (gráfico 6):

**Figura 21** – Fotos internas e externa de uma locomotiva a vapor



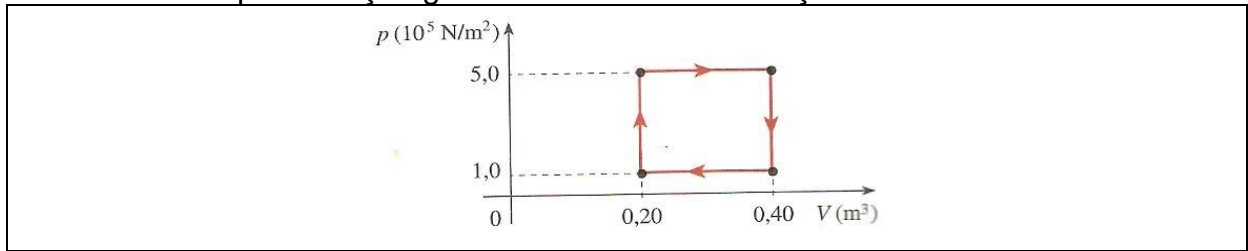
Fonte: (MÁQUINAS..., 2021).

**Figura 22** – Transformação da energia térmica em mecânica



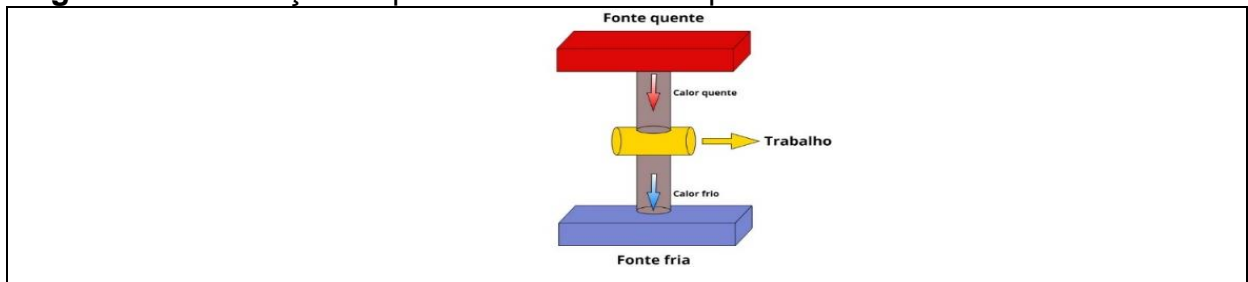
Fonte: (LA MÁQUINA..., 2019).

**Gráfico 6** – Representação gráfica de uma transformação cíclica



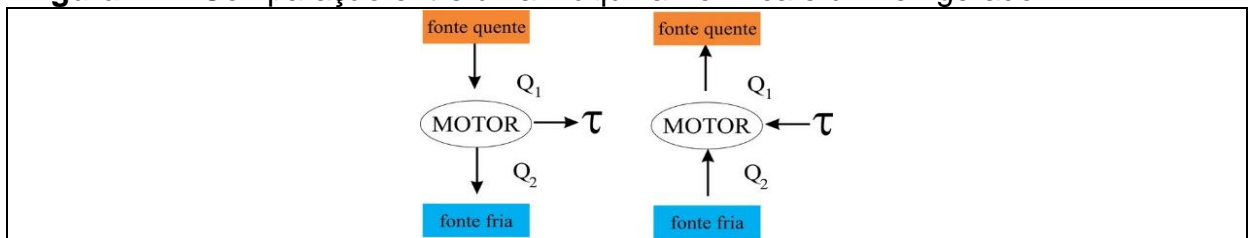
Fonte: (TERMODINÂMICA..., 2010).

**Figura 23** – Ilustração esquemática de uma Máquina Térmica



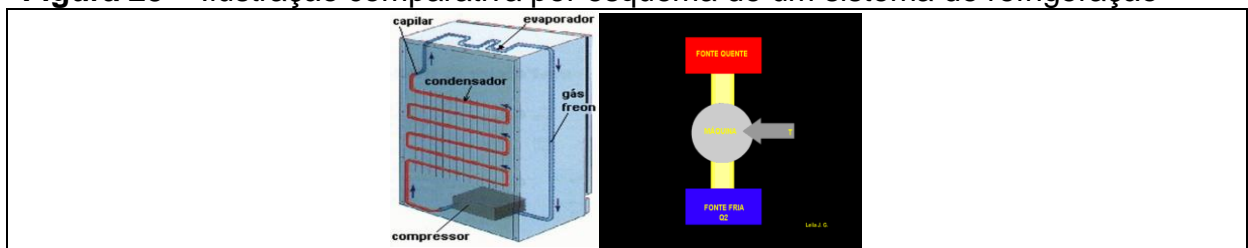
Fonte: Helerbrock (2021c).

**Figura 24** – Comparação entre uma Máquina Térmica e um refrigerador



Fonte: Santos (2021).

**Figura 25** – Ilustração comparativa por esquema de um sistema de refrigeração



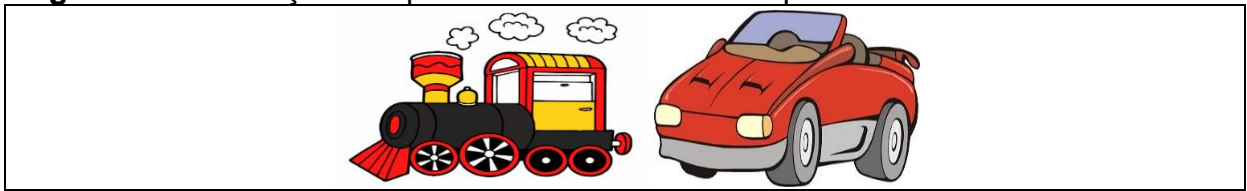
Fonte: Frigorífico (2021), Refrigerador (2021)

**Figura 26** – Demonstração de pistões movidos por força de pressão de um gás



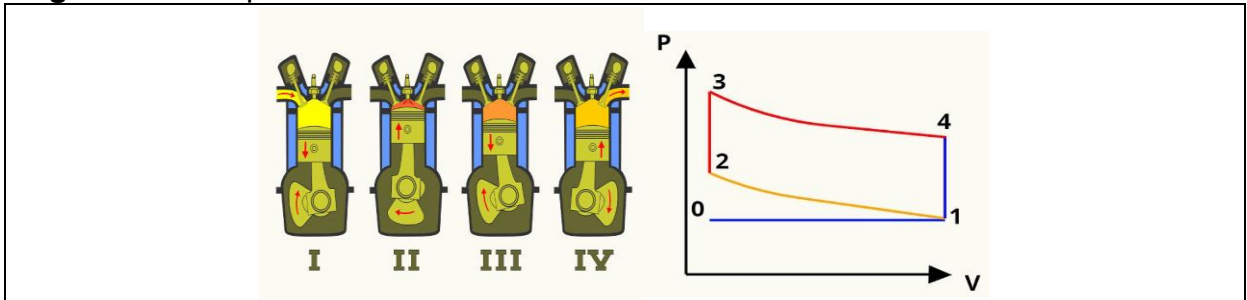
Fonte: Kelley Blue Book (2018), (MÁQUINAS..., 2021a)

**Figura 27** – Ilustração de tipos de motores e seus respectivos veículos



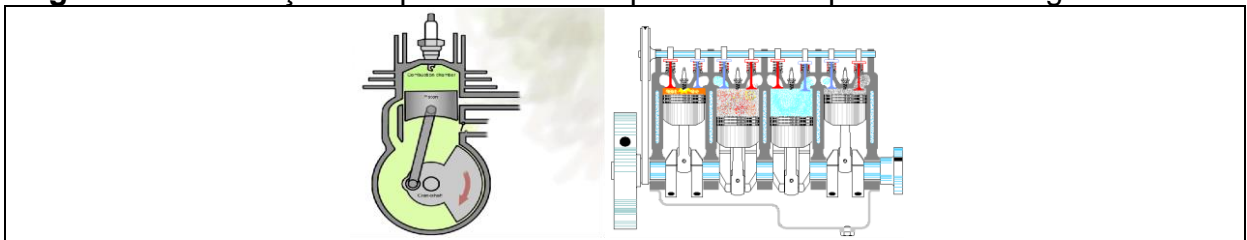
Fonte: (DESENHOS..., 2021; LOCOMOTIVA..., 2016).

**Figura 28** – Etapas de funcionamento de um motor de combustão interna



Fonte: Ciclo de Otto (2021).

**Figura 29** – Ilustração dos processos de expansão e compressão de um gás no motor



Fonte: (MOTOR..., 2021; WORK..., 2021).

É interessante salientar que durante as aulas, algumas imagens usadas são do tipo Graphics Interchange Format (Gif), ou seja, descrevem movimento, promovendo maior visibilidade para o educando sobre os processos dinâmicos que esses tipos de sistemas têm, tais como o movimento dos gases, dos pistões entre outros.

Desse modo, após trabalhar os mecanismos de funcionamento das Máquinas Térmicas com base na Primeira Lei e na Segunda Lei da Termodinâmica, é necessário enfatizar a questão do rendimento e da eficiência desses dispositivos, já que mencionamos também o processo de refrigeração. Contudo, essa definição é realizada na aula quatro.

Portanto, encerramos aqui nossa participação na aula 3 e com isso podemos dar sequência para a aula quatro após a aplicação do questionário três e coleta dos dados.

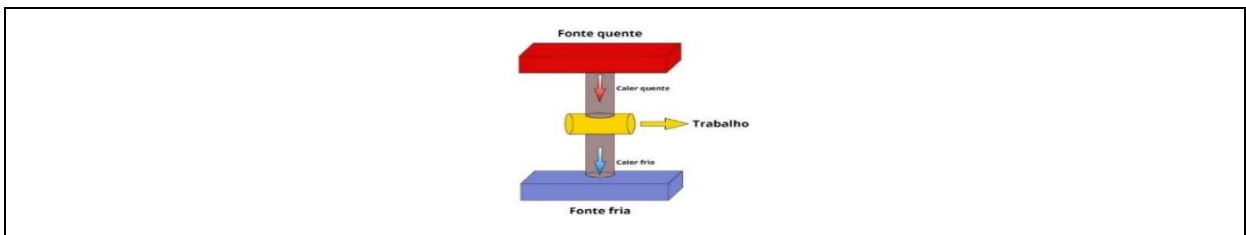
Passo 9: Momento da aplicação do questionário 3. Link do questionário 3 (aula 3) a seguir:

<https://forms.gle/DYshsMsCB4YieVpWA>

Teste diagnóstico.

### Questionário 3

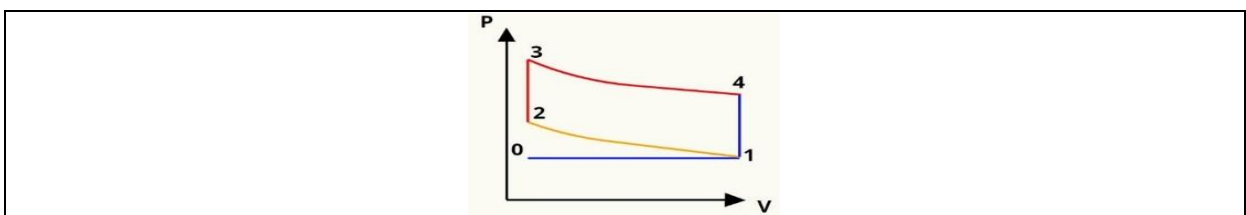
- 1 Observe a figura esquemática a seguir que representa uma máquina térmica. Imagine que nela, está contido um recipiente com água que ao ser aquecida produz grande quantidade de gás capaz de empurrar um pistão, por exemplo. Considerando que receba 100 joules de energia na forma de calor e realize 40 joules na forma de trabalho, quanto dessa energia é destinada para a fonte fria?



Fonte: Helerbrock (2021c).

- a) 60 joules
- b) 50 joules
- c) 140 joules
- d) 30 joules

- 2 Observe o gráfico a seguir que representa as transformações gasosas de um motor em funcionamento. Do ponto 1 até o ponto 4 temos uma transformação do tipo?

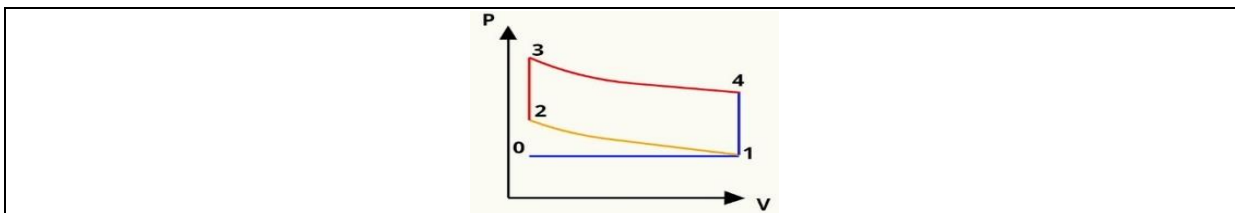


Fonte: Ciclo de Otto (2021).

- a) Adiabática
- b) Isotérmica

- c) Isovolumétrica
- d) Isobárica (pressão constante)

3 Observando esse mesmo gráfico, podemos dizer que:



Fonte: Ciclo de Otto (2021).

- a) Existe uma transformação gasosa isobárica (pressão constante) do ponto 0 até o ponto 1
- b) Existe uma transformação isotérmica do ponto 2 até o ponto 3
- c) O gás sobre o pistão expande do ponto 2 até o ponto 3
- d) Existe uma transformação isovolumétrica do ponto 0 ao ponto 1

### 3.4 AULA 4

Tema da aula: Explicação sobre o conceito de rendimento dos dispositivos térmicos, o Ciclo de Carnot e demonstração da relação entre a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica, ligados ao funcionamento das Máquinas Térmicas por meio da experimentação.

Duração: 50 minutos.

Objetivos específicos:

- ✓ Demonstrar experimentalmente que o funcionamento de uma Máquina Térmica a vapor é algo simples e explicar sobre o fator rendimento.
- ✓ Enfatizar o conceito das grandezas físicas calor, trabalho e as propriedades de um gás durante o funcionamento de uma Máquina Térmica confeccionada com latinha, e por um outro experimento simples com vela e papel em formato espiral.

Passo 10: Visto que esse trabalho foi realizado totalmente com auxílio de aulas remotas, antes mesmo de iniciar este encontro, é de suma importância que o

professor aplicador deixe bem claro a questão da periculosidade em realizar essas experiências em casa, principalmente na ausência de um responsável, pois os materiais e objetos aqui utilizados podem causar ferimentos e queimaduras leves e até graves a depender da situação.

É claro que é bem comum encontrar vídeos de experimentos diversos na “internet” e inclusive muitos professores desenvolverem inúmeras experiências em laboratório, porém, por ter se tornado corriqueiro para vários profissionais, às vezes o professor se preocupa basicamente com o aprendizado do estudante, mas não o alerta sobre os riscos, por isso, pontuamos aqui sobre a importância da prevenção antes de iniciar o passo dez dessa aula.

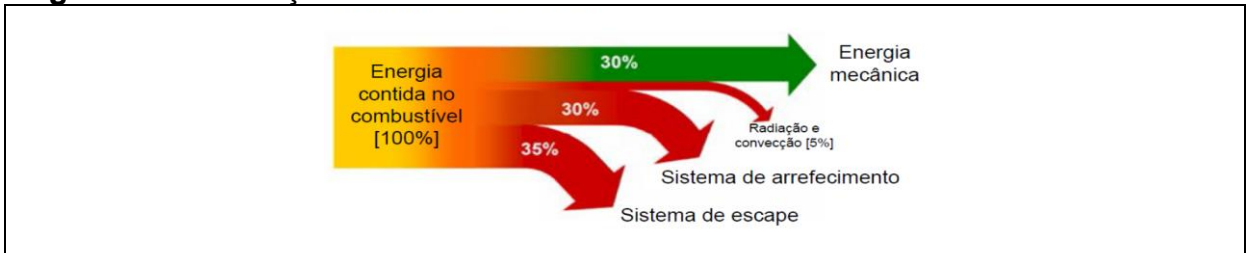
Os próprios pais dos estudantes foram avisados pelo WhatsApp sobre as experiências que seriam realizadas nesse encontro, pois se tratam de educandos do ensino fundamental II, além disso, caso algum integrante do grupo desejasse repetir algum experimento em casa, os responsáveis foram conscientizados sobre a importância de estarem presentes e concordaram com o disposto.

Dito isso, os materiais usados nessa etapa serão do tipo recicláveis e de baixo custo, podendo qualquer aplicador usufruir deles e inclusive executar seus experimentos em suas respectivas residências quando se tratar de aulas remotas, ou seja, não há necessidade de um laboratório para isso, desde que tomado os devidos cuidados.

A partir de então, o professor pode de fato iniciar a quarta aula, explicando, de modo geral, o conceito de rendimento do trabalho mecânico exercido pelos dispositivos térmicos.

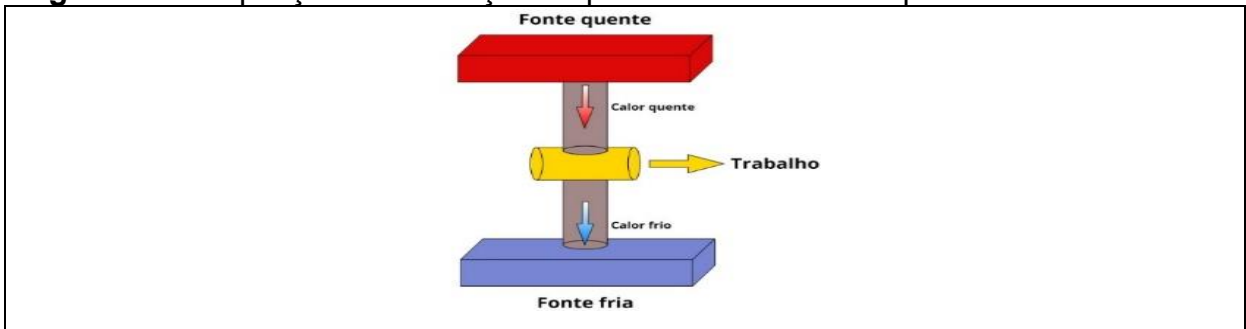
Para isso, pode seguir a metodologia de ilustrar por figuras e gráficos que expliquem esse conceito após a realização dos experimentos e isso se dá por meio das imagens usadas nos “slides” durante a Meet (encontro/aula virtual) e simulação logo adiante descrita (simulador Vascak.cz) como observados nas figuras 30, 31 e 32 a seguir:

**Figura 30** – Ilustração sobre o rendimento de um motor térmico



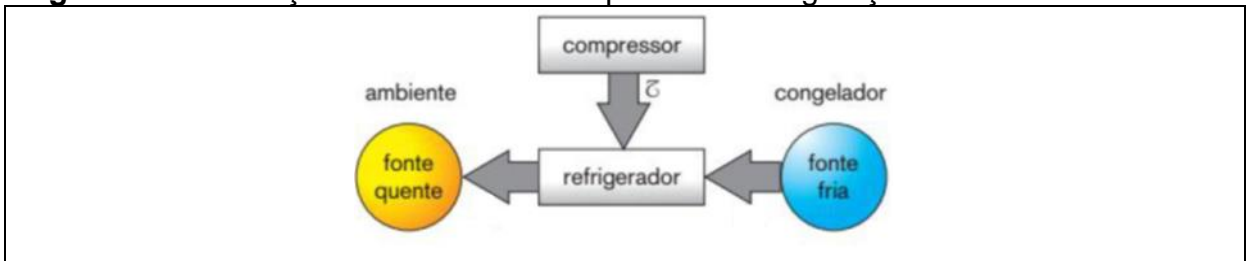
Fonte: Jack (2021).

**Figura 31** – Repetição da ilustração esquemática de uma Máquina Térmica



Fonte: Helerbrock (2021c).

**Figura 32** – Ilustração intuitiva de um esquema de refrigeração



Fonte: Bonjorno (2016).

O rendimento de uma Máquina Térmica pode ser formalmente escrito pela equação a seguir, por exemplo:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Onde

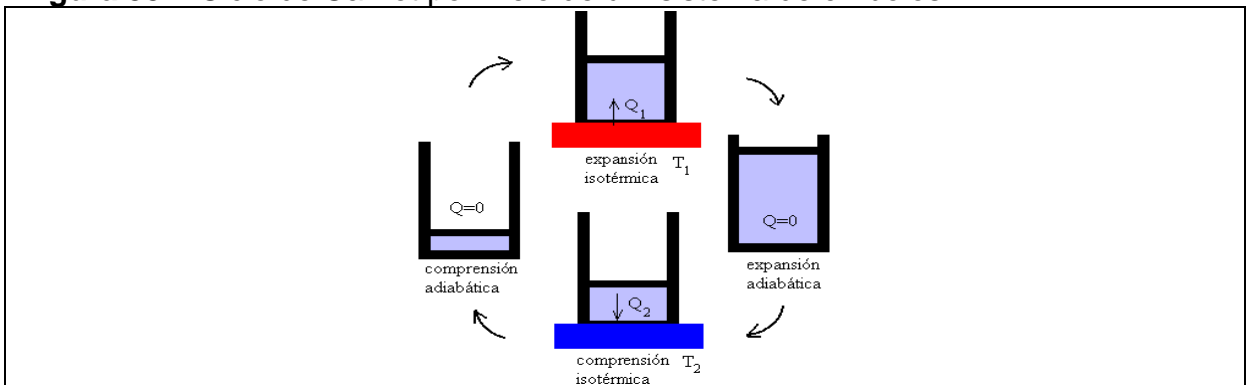
$T_2$  indica a temperatura proveniente da fonte fria da Máquina Térmica

$T_1$  indica a temperatura proveniente da fonte quente da Máquina Térmica  
 $\eta$  simboliza o rendimento do dispositivo térmico

Posteriormente a todas as explicações básicas pertinentes a questão do rendimento dos motores de uma Máquina Térmica é possível tratar do Ciclo de Carnot como meio de demonstrar a idealização do rendimento máximo desses aparelhos e enfatizar sobre as transformações isotérmicas e adiabáticas descritas graficamente nesse ciclo. Em outras palavras, demonstrar que até os dias da atualidade seria impossível aplicá-lo, mas destacar que caso isso aconteça, qualquer dispositivo térmico obteria um rendimento máximo, porém, não cem por cento, o que violaria a Segunda Lei da Termodinâmica.

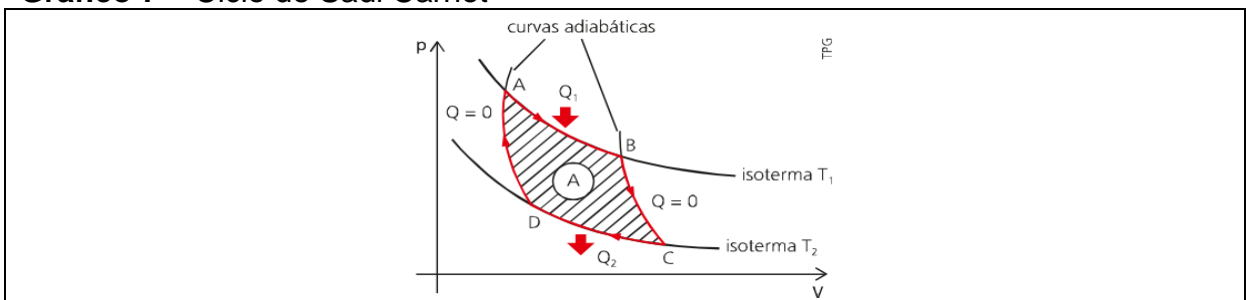
A imagem seguinte e também o gráfico, foram usados para ilustrar melhor essa parte da aula e promover uma observação mais detalhada para que o grupo tente compreender com mais clareza este conceito (figura 33 e gráfico 7):

**Figura 33** – Ciclo de Carnot por meio de um sistema de êmbolos



Fonte: Nascimento(2021).

**Gráfico 7** – Ciclo de Sadi Carnot



Fonte: Ciclo de Canot (2021).

Feito isso, a seguir destacamos os dois tipos de experiências realizadas para mostrar que todos os conceitos que foram trabalhados até aqui funcionam na prática.

As fotos abaixo (figuras 34 e 35) ilustram, respectivamente, essa parte da aula e em seguida descrevemos os materiais e procedimentos para sua realização:

**Figura 34 – Expansão da massa de ar (papel espiral)**



Fonte: O autor.

**Figura 35 – Mini Máquina Térmica com material reciclado**



Fonte: O autor.

Materiais para a aplicação experimental 1 (Figura 34): Espiral giratório

- ✓ 1 Folha de papel sulfite ou de caderno
- ✓ 1 ou 2 velas de tamanho pequeno
- ✓ 1 fio de barbante ou linha de costura
- ✓ 1 prego de tamanho médio ou grande
- ✓ 1 caixa de fósforo
- ✓ 1 tesoura
- ✓ 1 ou 2 tampinhas de garrafa Pet para acoplar a (s) vela (s)
- ✓ 1 aparato (suporte) de madeira em formato de L montado com pregos pequenos

Procedimentos:

A princípio, corta-se a folha de papel no formato de espiral. Logo em seguida, este é amarrado pelo barbante ou linha de costura ao prego inserido na parte superior do aparato de madeira em forma de L. Feito esse procedimento, acopla-se a (s) vela (s) na (s) tampinha (s) na base do aparato e com a caixa de fósforo ascendemos a vela e observamos o que acontece.

Na sequência desse experimento, as seguintes questões são levantadas para diagnosticar o nível de compreensão dos estudantes e inseri-los na explicação do professor sobre os fenômenos e leis físicas, bem como das grandezas envolvidas por trás dessa experiência:

1. O que você observou após a chama da vela surgir? Por que isso aconteceu (perguntar após a primeira resposta)?  
Aplicando o conceito de espiral na teoria de ensino de Bruner:
2. Teria alguma influência se por acaso o número de velas fosse dobrado nesse experimento? Caso sim, você saberia explicar o que aconteceria?

Espera-se que ao menos alguns participantes notem que a chama da vela serve como fonte de energia térmica em trânsito (calor), além disso, por meio dela, o papel descreva um trabalho mecânico (movimento de rotação) por causa da expansão da massa de ar que sobe por entre os espirais da folha quando ocorre o seu aquecimento.

Para a segunda questão, o esperado é que o estudante, após ter aprendido o conceito de calor e temperatura, pressão e volume de um gás, seja capaz de visualizar também que ao aumentar a intensidade da fonte térmica por meio do aumento do número de velas, isso poderia implicar na elevação da energia interna das partículas do ar próximo, e do volume da massa do gás no ambiente por uma expansão maior desse fluido, fornecendo uma quantidade de energia mais elevada e promovendo um trabalho mecânico (movimento de rotação) também maior, a depender das condições de temperatura e pressão do meio considerado.

Materiais para a aplicação experimental 2 (figura 35): Máquina Térmica a Vapor com material reciclável

- ✓ 2 latinhas de refrigerante de 350 mL
- ✓ 4 pregos grandes

- ✓ 3 pedaços de arame um pouco maior do que os pregos grandes
- ✓ 1 frasco de álcool em gel
- ✓ 1 seringa de ponta fina (para inserir um volume de água em seu interior)
- ✓ Um suporte de madeira retangular (para servir de base dos materiais citados)

#### Procedimentos:

Antes de montar a estrutura desse aparato, o professor deve pegar uma das latas de refrigerante e recortar sua base para servir de recipiente para o volume de álcool a ser inserido como fonte de combustível para o funcionamento do dispositivo como mostra a imagem da figura 35.

Feito isso, a outra lata intacta é furada frontalmente próxima do local de saída da bebida e com uma seringa de ponta fina é acrescentado um pequeno volume de água em seu interior. Essa lata com água é encaixada entre os 4 pregos inseridos na madeira (figura 35), e fazendo dois pequenos furos na base do suporte na mesma linha dos pregos frontais (medição de quatro dedos a frente), os dois arames com as pontas curvadas são encaixados e entre a sua dobradura um terceiro arame com um cata-vento feito com o restante do material que sobrou da outra lata, passa nessa pequena curvatura feita pelas dobraduras da parte superior dos dois arames.

Por fim, uma quantidade suficiente de volume de álcool é colocada no recipiente da base recortada da outra lata, para que sirva de combustível e formação de uma fonte de calor para a sua queima e aquecimento do líquido interiorizado na lata.

Com isso, durante ou após a experiência aplicada, as questões que podem ser feitas pelo docente em posse desse produto são as seguintes:

1. O que vocês perceberam quando o álcool começou a queimar? Explique?
2. Se no interior da lata não tivesse sido acrescentado líquido, seria possível girar o cata-vento por meio da colisão do gás aquecido contra as pás? Sim ou não? Explique.

Passo 11: Momento da aplicação do questionário sobre algumas demonstrações práticas (experimentos), referentes as Leis da Termodinâmica que foi

realizado em dois momentos. Os “links” a seguir destinam o professor (que possui o “e-mail” do @escola da rede estadual Paranaense de ensino) e o estudante para o questionário 4.

“Link” dos questionários a seguir:

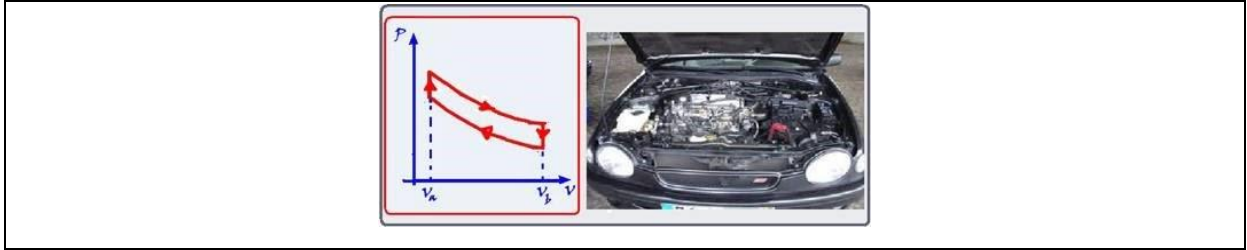
Parte 1: <https://forms.gle/dBeXtHWD7dp1h4xf7>

Parte 2: <https://forms.gle/c5yXxEwQ9g3zSsz3A>

### Teste diagnóstico

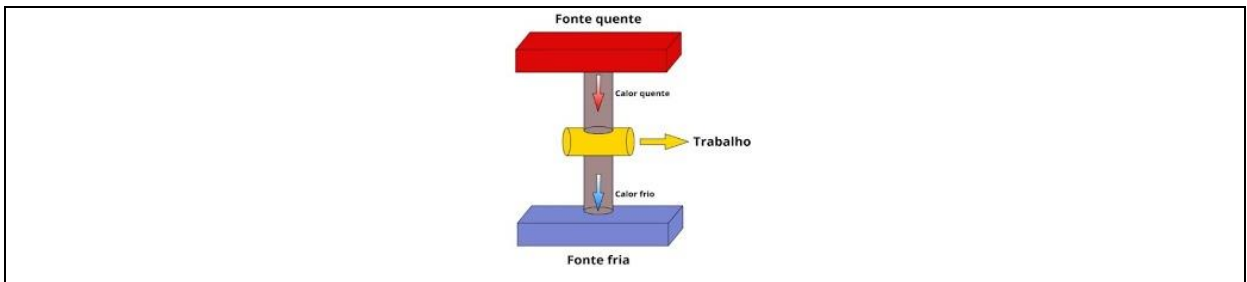
#### Questionário 4: Parte 1.

- 1 (CEFET - PR) O 2º princípio da Termodinâmica pode ser enunciado da seguinte forma: "É impossível construir uma máquina térmica que trabalhando em ciclos, consiga retirar calor de uma fonte quente e transformar totalmente em trabalho. De outra forma, esse princípio nos leva a concluir que...
  - a) Sempre se pode construir máquinas térmicas cujo rendimento seja 100%
  - b) Qualquer máquina térmica necessita apenas de uma fonte quente
  - c) Calor e trabalho não são grandezas homogêneas
  - d) Qualquer máquina térmica retira calor de uma fonte quente e rejeita parte desse calor para uma fonte fria
  
- 2 Os motores a combustão, como o dos automóveis movidos a gasolina ou a álcool, são máquinas térmicas que, operando em ciclos, entre fontes de calor quentes e frias produzem trabalho. Suponha um motor a combustão qualquer que possua um gás ideal como fluido operante e que nunca o troque. As transformações de estado desse gás ideal, durante um ciclo de operação do motor, estão representadas no gráfico Pressão e Volume abaixo. Conclui-se que o gás ideal (assinale a alternativa correta):



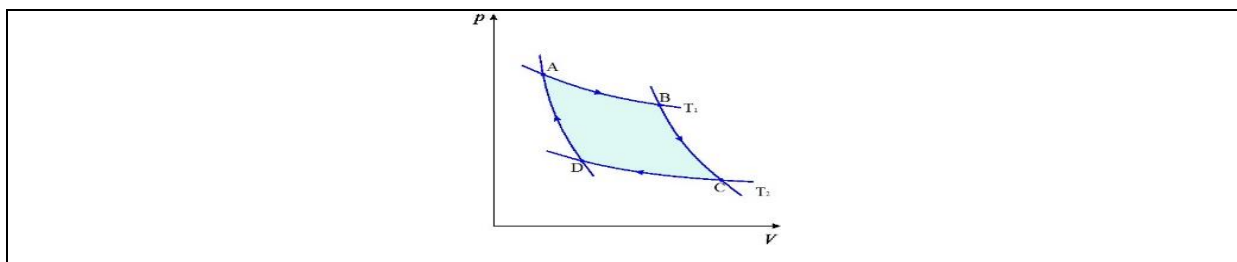
Fonte: Universidade de Caxias do Sul (2013).

- a) Tem, durante todo o ciclo, a mesma temperatura
  - b) Tem, durante todo o ciclo, sua pressão variando
  - c) Gera quantidade de calor liberado mais trabalho executado maior do que a quantidade de calor recebido
  - d) Tem, durante todo o ciclo, o mesmo volume.
- 3 Um motor à vapor realiza um trabalho de 200 J quando lhe é fornecido uma quantidade de calor igual a 1000 J. Qual a capacidade percentual que o motor tem de transformar energia térmica em trabalho? (Lembre-se que o rendimento é uma relação entre o trabalho realizado e o calor recebido da fonte quente)



Fonte: Helerbrock (2021c).

- a) 20%
  - b) 25%
  - c) 30%
  - d) 45%
- 4 A necessidade de melhorar o rendimento das máquinas térmicas reais exigiu um estudo que resultou na elaboração de um ciclo ideal, que não leva em consideração as dificuldades técnicas. Qualquer máquina que operasse com esse ciclo teria rendimento máximo, independentemente da substância utilizada. Essa máquina idealizada operaria em um ciclo completamente reversível chamado de ciclo de Carnot, como exemplificado no gráfico a seguir:

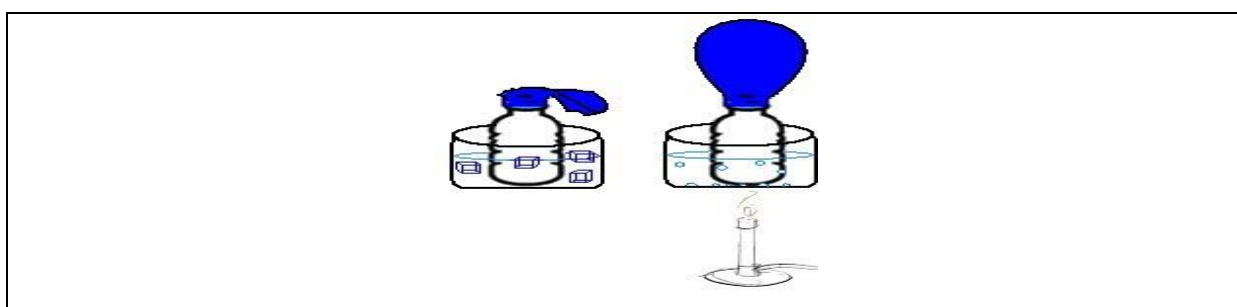


Fonte: Teixeira ([2021]).

- a) que o rendimento é de 100%
- b) que o trabalho total é negativo
- c) a irrelevância da fonte fria
- d) a presença de processos adiabáticos e isotérmicos

Questionário 4: Parte 2.

1 Observe a figura abaixo:



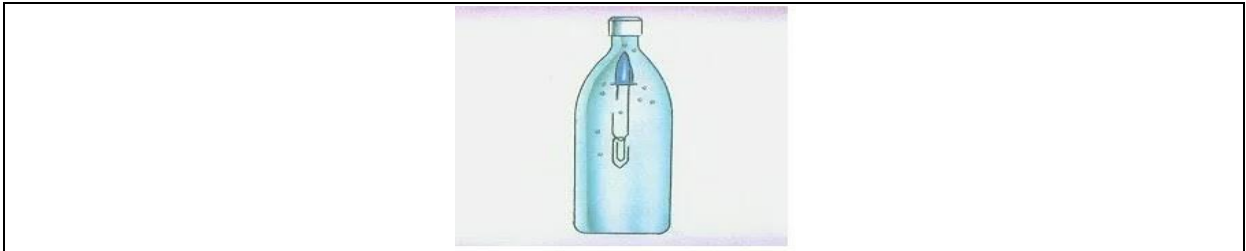
Fonte: Fogaça (2021).

A garrafa foi inicialmente colocada em uma tigela com água e gelo, e a bexiga está murcha. Depois, essa garrafa com a bexiga foi colocada em outra tigela com água quente (aquecida) e a bexiga enche (infla). Assinale a opção correta sobre esse experimento:

- a) O experimento representa uma transformação do tipo Isovolumétrica, pois o gás nem expande e nem comprime por causa da variação de temperatura
- b) O experimento representa uma transformação adiabática porque não há troca de calor com o meio externo durante o processo de enchimento da bexiga
- c) O experimento representa uma transformação do tipo isotérmica, porque a temperatura não se altera após estar dentro da tigela

d) O experimento representa uma transformação do tipo isobárica porque esta é a única variável de estado desse gás que não se altera ou praticamente não muda durante o processo

2 A imagem abaixo representa uma transformação gasosa. Com base em nossas aulas assinale a alternativa correta.



Fonte: (SUBMARINO..., 2016).

- a) Isobárica (pressão constante)
- b) Isotérmica porque não há mudança de temperatura no sistema
- c) Isovolumétrica
- d) Adiabática porque não há troca de calor com o meio externo durante o processo

3 A imagem abaixo representa uma Máquina a vapor ou uma Usina Termoelétrica. Dentro da lata é colocado uma determinada quantidade de água que posteriormente é aquecida. Quando está quente produz vapor que sai pelo pequeno furo e faz o cata-vento girar. Isso acontece por que:



Fonte: (PROJETO..., 2009).

- a) Ao aquecer o pequeno volume de água no interior da lata ocorre aumento da variação da energia interna desse fluido e o grau de agitação das partículas aumenta e elas ficam mais próximas comprimindo o vapor dentro da lata que sai com grande pressão pelo furo reduzido
- b) Ao aquecer o pequeno volume de água no interior da lata ocorre aumento da variação da energia interna desse fluido e o grau de agitação das

partículas aumenta e elas ficam mais afastadas comprimindo o vapor dentro da lata que sai com grande pressão pelo furo reduzido

- c) Ao aquecer o pequeno volume de água no interior da lata ocorre aumento da variação da energia interna desse fluido e o grau de agitação das partículas aumenta e elas ficam mais afastadas expandindo o vapor dentro da lata que sai com grande pressão pelo furo reduzido
- d) Ao aquecer o pequeno volume de água no interior da lata ocorre aumento da variação da energia interna desse fluido e o grau de agitação das partículas diminui e elas ficam mais próximas comprimindo o vapor dentro da lata que sai com grande pressão pelo furo reduzido

O professor pode agora, partir para o que seria de fato a última ministração antes da revisão para a avaliação final, que trata da conscientização dos estudantes sobre os males causados pelo uso excessivo das máquinas a combustão externa e interna, relacionadas a saúde do planeta e das pessoas e demais seres. São também explicadas, as vantagens e as desvantagens que esses dispositivos térmicos trouxeram e trazem para a sociedade (ver aula cinco).

### 3.5 AULA 5

Tema da aula: Descrição das vantagens trazidas pelo descobrimento das Máquinas Térmicas em relação a praticidade, benefícios, em geral, e das desvantagens associadas aos impactos ambientais, doenças e, breve retomada histórica sobre o desenvolvimento dessas máquinas ao longo do tempo, e os tipos de combustíveis renováveis e não renováveis que podem ser usados para movê-las.

Duração: 50 minutos.

Objetivos específicos:

- ✓ Descrever, resumidamente, algumas vantagens e desvantagens trazidas pelo uso das Máquinas Térmicas ao longo do tempo.
- ✓ Demonstrar brevemente, os tipos de combustíveis existentes e suas influências com a atmosfera terrestre e a saúde dos organismos.

- ✓ Trabalhar a conscientização dos estudantes, por meio de dois recortes de notícias relacionadas a poluição atmosférica, ligadas com a queima excessiva de combustíveis usados para mover motores de máquinas térmicas.

Passo 12: Nesse momento, é de suma importância que o professor reforce também sobre as vantagens que essas máquinas, em geral, trazem para a vida da humanidade, desde a sua descoberta até a atualidade, mas também trabalhe a conscientização do grupo sobre os possíveis problemas causados pelo uso inadequado de qualquer dispositivo térmico, a saber, relatar e ilustrar os impactos ambientais que essas máquinas podem desenvolver na natureza, as consequências desastrosas para a vida humana, quando usadas de forma excessiva, e comparar os tipos de combustíveis que contribuem mais e os que contribuem menos para a degradação ambiental, durante a ministração dessa aula.

A tabela a seguir (quadro 1) descreve essa comparação entre algumas das principais vantagens e das desvantagens que as Máquinas Térmicas podem trazer para o nosso planeta e principalmente à vida humana, e com isso, é trabalhado um instante de conscientização com o grupo, pois como se sabe, um dos objetivos de aprendizagem ao abordar a unidade temática matéria e energia por meio das Máquinas Térmicas no ensino fundamental II, é o seguinte:

Discutir o uso de diferentes tipos de combustível e máquinas térmicas ao longo do tempo, para avaliar avanços, questões econômicas e problemas socioambientais causados pela produção e uso desses materiais e máquinas (PARANÁ, 2020, p. 25).

**Quadro 1** – Descrição comparativa entre algumas das vantagens e das desvantagens trazidas pelo uso das Máquinas Térmicas na sociedade

Vantagens	Desvantagens
Diminui o tempo de produção (aumento da produtividade)	Polui a atmosfera da Terra pela produção de gases tóxicos
Reduz os gastos com funcionários	Aumenta o número de desempregados
Transporta mercadorias e pessoas por longas distâncias em menos tempo	Aumenta o risco de doenças respiratórias e do câncer de pulmão entre outros

Fonte: Adaptado de Aula Paraná SEED/PR (2020).

Obviamente que esse trabalho respeita essa nova configuração de conteúdo inserido na sétima série do ensino fundamental II por meio do Currículo da Rede Estadual Paranaense (PARANÁ, 2020, p. 24-25) e baseado nas competências da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018, p. 346-347), o que nos permite fazer uma abordagem das leis da termodinâmica por trás do funcionamento dos dispositivos térmicos por meio dessa Teoria de Ensino prescritiva de Jerome Bruner adaptando aqui o método em espiral.

Ao abordarmos com mais detalhes as três leis da termodinâmica nesse trabalho, com estudantes de sétima série, já significa um aprofundamento sobre o tema tratado, pois a termodinâmica não está explícita nesses novos documentos do ensino fundamental II para esta série.

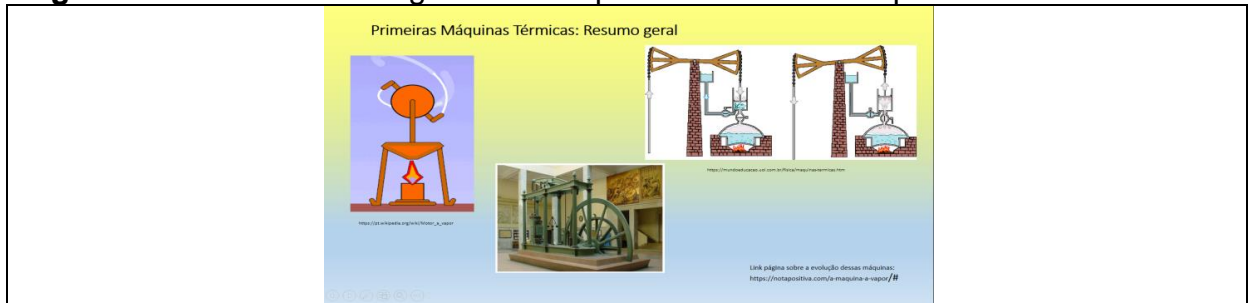
Acredita-se, no entanto, que o argumento de Bruner em dizer que qualquer conhecimento pode ser ensinado para uma criança em qualquer faixa etária do seu desenvolvimento cognitivo, desde que o assunto seja honestamente simplificado é que foi decidido testar esse argumento com nosso grupo de estudo, como mencionado em alguns momentos nesse trabalho, mas que também pode ser aplicado no ensino médio, seguindo os passos de cada aula e usando o método em espiral por ele defendido.

O que o professor em posse desse documento sempre deve lembrar também é que a ideia é minimizar a má formação conceitual com que muitos estudantes chegam ao ensino médio e muitas vezes ainda saem dele sem saber diferenciar as grandezas calor e temperatura, além das suas influências na produção e conversão da energia térmica em outras formas de energia (energia mecânica e elétrica), por exemplo.

Acreditamos também nessa pesquisa, que isso pode estar sendo ocasionado pelo modo superficial como o assunto é trabalhado nessa etapa de ensino (fundamental II) e também pela ênfase excessiva do formalismo matemático aplicado na resolução de problemas trazidos pelos livros didáticos do ensino médio, ocorrendo muitas vezes uma negligência em relação a aspectos teóricos/conceituais envolvidos ou ainda uma redução sobre eles.

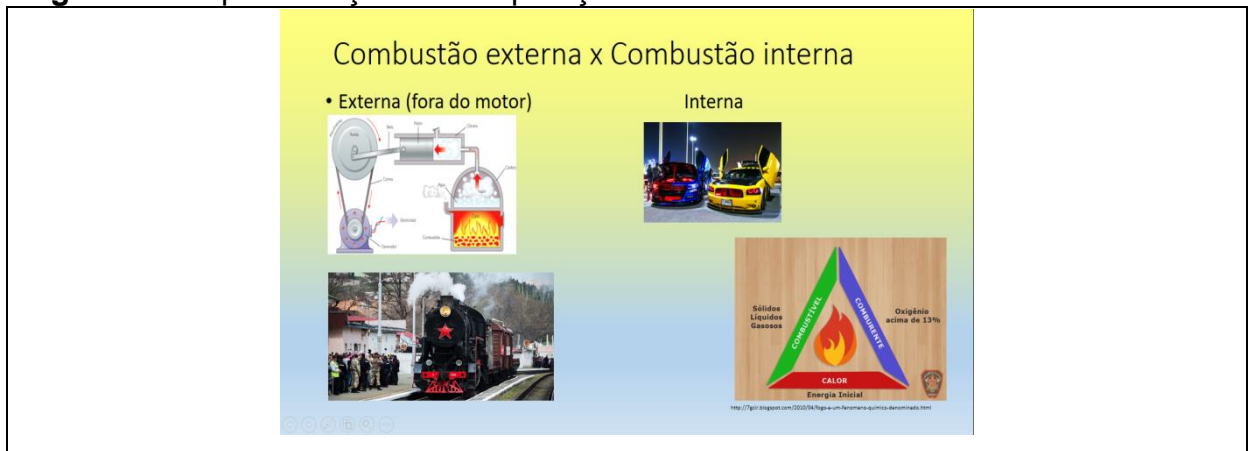
Para que seja desenvolvida essa aula, entretanto, alguns dos “slides” montados são descritos a seguir com suas respectivas imagens, além de dois trechos de matérias em dois deles inseridos e relacionadas aos impactos ambientais e a saúde da população foram usados para ilustrar a abordagem feita:

**Figura 36 – Resumo da origem das Máquinas Térmicas a Vapor**



Fonte: O autor.

**Figura 37 – Apresentação da comparação entre motores à combustão**



Fonte: O autor

**Figura 38 – Problemas relacionados a emissão de gases poluentes**



Fonte: O autor.



Duração: 50 minutos.

Passo 13: Antes da aplicação da avaliação final, o professor pode revisar e retomar brevemente alguns dos principais pontos de dúvida dos estudantes. Isso reforça os conceitos abordados e construídos na estrutura cognitiva do grupo em questão, e promove a chance de os educandos fixarem melhor as propriedades sobre o conteúdo trabalhado.

O processo de avaliação sempre foi um dos meios mais simples e objetivo de diagnosticar a evolução dos educandos ao longo das mais variadas jornadas de estudo. Por esse motivo, podemos enriquecer esse trecho do presente trabalho, com as considerações do renomado José Carlos Libâneo a respeito desse poderoso instrumento de coleta de dados que é bastante conhecido por inúmeros professores no ambiente escolar. Permite-se

Segundo ele, esse instrumento educacional é pontuado da seguinte forma:

A avaliação escolar é parte fundamental do processo de ensino e aprendizagem, sendo considerados os conhecimentos, habilidades e atitudes, assimilação e aplicação por meio de métodos adequados. Devem manifestar-se em resultados obtidos nos exercícios, provas, conversação, didática, trabalho independente (LIBÂNEO, 1999, p. 200-201).

Em concordância com o autor supracitado e após um momento de tirar dúvidas com os estudantes, nesse instante é possível aplicar a avaliação final, que visa aferir a evolução do grupo, após a jornada realizada durante a sequência didática adotada até essa etapa de ensino–aprendizagem.

O professor que estiver vinculado ao “e-mail” do @escola, criado e disponibilizado pela Secretaria Escolar do Estado do Paraná, poderá acessar o questionário da avaliação final, copiando o “link” a seguir na barra de busca da “internet”, mas deve estar sempre “logado” com esse “e-mail” mencionado (@escola).

Caso esse trabalho seja utilizado por professores de outras localidades do Brasil, basta ler e copiar os exercícios e problemas a respeito de cada questionário que é disponibilizado abaixo de cada “link” de teste/avaliação, ou apenas ser tomado como base para que o docente monte seus próprios questionários, de acordo com o desempenho de suas turmas.

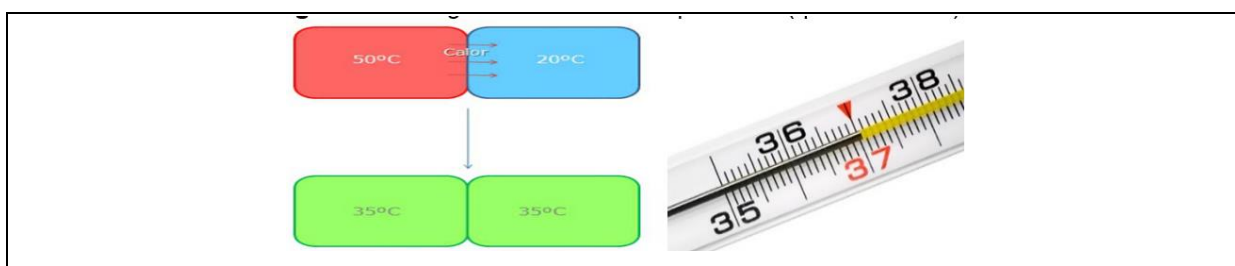
Com isso, o “link” da avaliação final e as respectivas questões são as seguintes:

<https://forms.gle/EBqAYS8Y9h9fUXoR9>

Avaliação final

Questionário 5

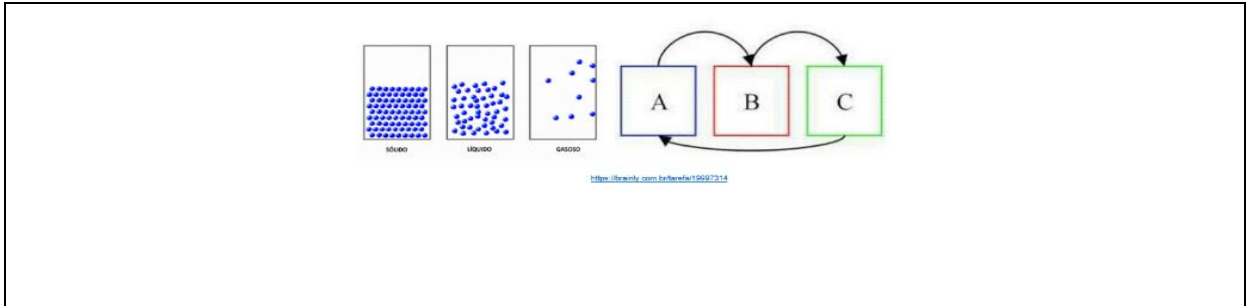
1 As imagens a seguir representam uma das Leis da Termodinâmica importantíssimas para que os estudantes consigam compreender a grandeza calor que é fundamental para o funcionamento de uma Máquina Térmica a Vapor, tanto à combustão externa quanto à combustão interna. INTERPRETE AS FIGURAS e responda de qual lei termodinâmica estamos falando?



Fonte: Gouveia (2021), (TAG..., 2021).

- a) Segunda Lei da Termodinâmica
- b) Lei Zero da Termodinâmica
- c) Primeira Lei da Termodinâmica
- d) Nenhuma Lei da Termodinâmica

2 Do ponto de vista microscópico, podemos definir três grandezas físicas que se encontram intimamente ligadas e presentes em todos os sistemas termodinâmicos e, mesmo quando nulas, elas contribuem de alguma forma no processo. Uma delas está associada diretamente ao grau de agitação das partículas (energia cinética média). De acordo com as figuras abaixo, quais são essas grandezas representadas nas imagens, respectivamente (na ordem em que aparecem)? Assinale a opção correta.



Fonte: O autor.

- a) Calor, temperatura e variação da energia interna
- b) Variação da energia interna, temperatura e calor
- c) Calor, pressão e variação da energia interna
- d) Pressão, volume e variação da energia interna

3 Um sistema Termodinâmico contendo uma certa quantidade de gás recebe 100 joules na forma de trabalho e libera (cede) 30 joules na forma de calor como mostra a figura abaixo. Assinale a alternativa que contém a resposta correta para essa questão.

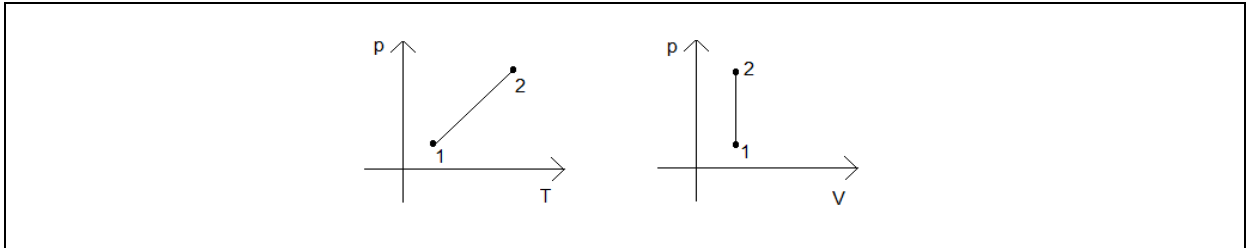


Fonte: Fernandes (2020).

- a) A variação da energia interna do gás aumenta 70 joules e também a sua temperatura, não necessariamente na mesma proporção e o gás sofre trabalho de acordo com a figura. O gás aquece mesmo perdendo 30 joules por calor porque recebe mais por trabalho.
- b) A variação da energia interna do gás diminui 70 joules e também diminui a sua temperatura, não necessariamente na mesma proporção e o gás sofre trabalho de acordo com a figura. O gás esfria porque perde 30 joules por calor.
- c) A variação da energia interna do gás aumenta 70 joules e também a sua temperatura, não necessariamente na mesma proporção e podemos dizer que o trabalho é realizado pelo gás. O gás esfria porque perde 30 joules por calor.

- d) A variação da energia interna do gás aumenta 130 joules e também a sua temperatura, não necessariamente na mesma proporção e o gás é comprimido sofrendo trabalho. O gás esquenta porque recebe energia na forma de trabalho.

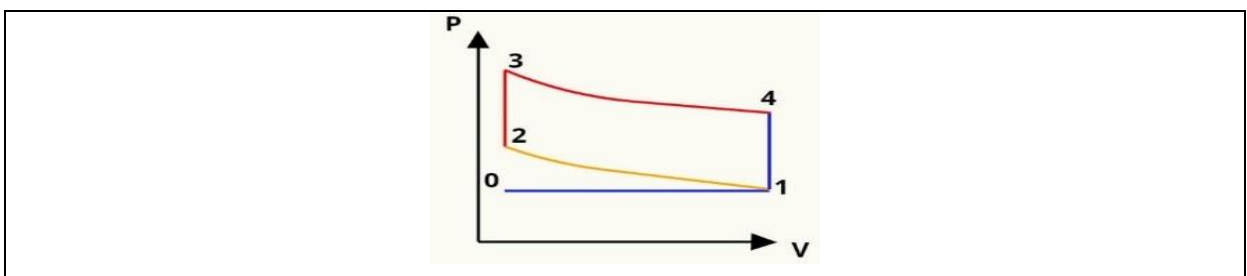
4 Observe o gráfico a seguir e assinale a opção correta:



Fonte: Evangelista (2021c).

- a) Os gráficos representam uma transformação gasosa do tipo Isotérmica (temperatura constante), pois ela não varia (aumenta ou diminui) em nenhum dos gráficos.
- b) Os gráficos representam uma transformação Isovolumétrica (volume constante), visto que a pressão e a temperatura do gás mudam, mas o volume permanece inalterado (constante)
- c) Nos gráficos a pressão e a temperatura são constantes, mas o volume aumenta conforme o sistema recebe energia
- d) Os gráficos representam uma transformação Isovolumétrica (volume constante), visto que a pressão e a temperatura do gás não mudam, mas o volume aumenta conforme o gás recebe energia

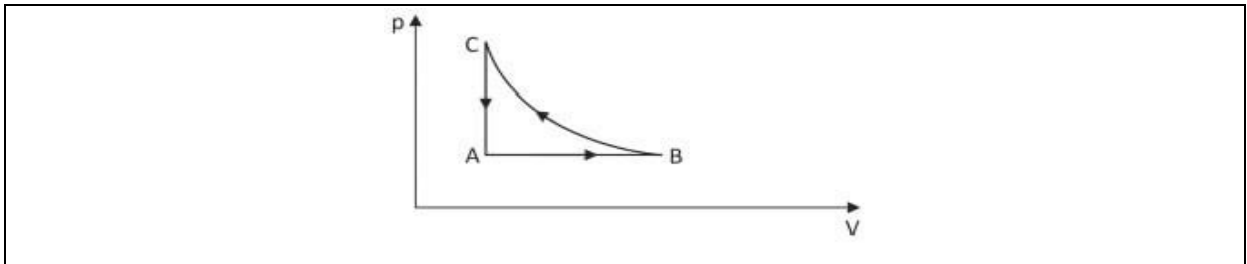
5 Observe o gráfico a seguir que representa as transformações gasosas de um motor em funcionamento. Do ponto 2 até o ponto 1 e do ponto 3 até o 4 e vice-versa temos uma transformação do tipo?



Fonte: Prepara Enem (2021).

- a) Isotérmica porque em outros pontos do percurso apenas o volume e a pressão estão variando (mudando)
- b) Isovolumétrica porque o volume não muda do ponto 0 até o ponto 1
- c) Isobárica porque a pressão é constante do ponto 2 até o ponto 3
- d) Adiabática porque nesse ciclo não existe troca de calor

6 (Fuvest-adaptado) Certa quantidade de gás sofre três transformações sucessivas,  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$  e  $C \rightarrow A$ , conforme o diagrama p-V



Fonte: Ribeiro (2021).

- a) Na transformação AC (de A para C) a pressão não muda (isobárica) e o gás realiza trabalho
- b) Na transformação AB (de A para B) o gás comprime e realiza trabalho
- c) Na transformação BC (de B para C) o gás sofre uma isobárica e a máquina realiza trabalho
- d) Durante a transformação AB (de A para B), o gás recebe calor e realiza trabalho

7 De acordo com o funcionamento das máquinas térmicas e as leis da termodinâmica, em um ciclo completo de uma máquina térmica:

- a) A variação de temperatura é positiva.
- b) A quantidade de calor trocada com as fontes de calor são nulas, pois as transformações sofridas são adiabáticas.
- c) A realização de trabalho é nula, uma vez que, depois de expandir, a substância de trabalho sofre uma contração em seu volume.
- d) A variação de energia interna é nula, pois a máquina volta a operar com a temperatura inicial.

8 (UEL) A Revolução Industrial foi acompanhada por profundas transformações na Europa. Os novos meios de transporte, que utilizavam as máquinas térmicas recém-criadas, foram essenciais aos avanços relacionados à industrialização por todo o continente. Naquele período, foi demonstrado teoricamente que uma máquina térmica ideal é aquela que descreve um ciclo especial, denominado ciclo de Carnot. Sobre os princípios físicos da termodinâmica e do ciclo de Carnot, assinale a alternativa correta.

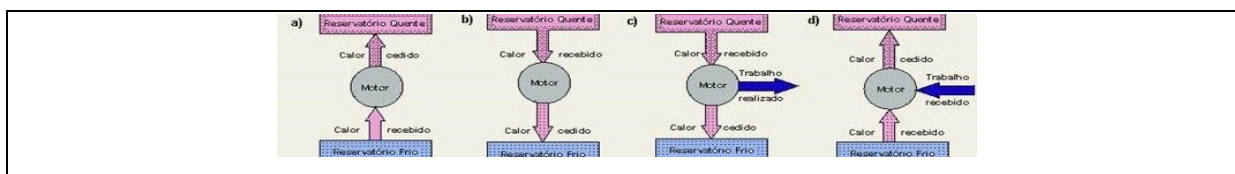
- a) As máquinas térmicas, que operam em ciclos, são incapazes de retirar o calor de uma fonte e o transformar integralmente em trabalho.
- b) Em uma máquina térmica que opera em ciclos de Carnot, ocorrem duas transformações isobáricas e duas isovolumétricas.
- c) No ciclo de Carnot, ocorre uma transformação reversível, enquanto as demais são irreversíveis.
- d) Uma máquina térmica é capaz de transferir calor de um ambiente frio para um quente sem a necessidade de consumir energia externa.

9 (UEA) Em uma máquina térmica, uma fonte quente fornece 80 kJ de energia na forma de calor, enquanto uma fonte fria descarrega 60 kJ de calor para o meio ambiente. Portanto, o rendimento desta máquina é igual a

- a) 20%
- b) 25%
- c) 30%
- d) 40%

10 (UEL-PR-adaptado) Leia o texto a seguir: “Por trás de toda cerveja gelada, há sempre um bom freezer. E por trás de todo bom freezer, há sempre um bom compressor – a peça mais importante para que qualquer sistema de refrigeração funcione bem. Popularmente conhecido como ‘motor’, o compressor hermético é considerado a alma de um sistema de refrigeração. A fabricação desses aparelhos requer tecnologia de ponta, e o Brasil é destaque mundial nesse segmento”. (KUGLER, H. Eficiência gelada. “Ciência Hoje”. v. 42, n. 252. set. 2008. p. 46.)

Assinale a alternativa que representa corretamente o diagrama de fluxo do refrigerador.



Fonte: (MÁQUINAS..., [2019]).

- a) correta
- b) correta
- c) correta
- d) correta

Assim, os dados da avaliação final são analisados para averiguar a possível evolução dos participantes nessa pesquisa, que foi promovida por meio da aplicação da Teoria de Ensino Prescritiva de Jerome S. Bruner, adaptada, com educandos da sétima série da disciplina de Ciências do ensino fundamental II, do qual se encontram na grade curricular desse ano escolar de forma expressa, o conceito de temperatura, calor e suas propriedades e as Máquinas Térmicas, bem como, de maneira implícita, as Leis da Termodinâmica por trás do funcionamento desses dispositivos.

A seguir, estão dispostos os “links” das simulações realizadas com o presente grupo de estudo, e podem ser também aplicados por todos os professores (as) de posse desse documento (produto educacional):

[https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_vnitri\\_energie&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_vnitri_energie&l=pt)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_vedeni\\_energie&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_vedeni_energie&l=pt)

[https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html)

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/gas-properties](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties)

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/energy-forms-and-changes](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-forms-and-changes)

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/states-of-matter-basics](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_izotermicky\\_dej&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_izotermicky_dej&l=pt)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_izobaricky\\_dej&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_izobaricky_dej&l=pt)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_lednicka&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_lednicka&l=pt)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_ctyrtakt&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_ctyrtakt&l=pt)

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mf\\_carnot&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mf_carnot&l=pt)

## REFERÊNCIAS

- 2ª LEI da termodinâmica. 2021. Disponível em:  
[https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/2166002/LOB1019/2\\_a\\_leiTD-apresentacao\\_maq\\_termicas.pdf](https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/2166002/LOB1019/2_a_leiTD-apresentacao_maq_termicas.pdf). Acesso em: 5 fev. 2021.
- A ESCALA de temperatura em 'Celcius' e 'Kelvin'. **Learnchannel-TV.com**. 2021. Disponível em: <https://learnchannel-tv.com/pb/pneumatics/celcius-and-kelvin/>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- ACONTECEU NO VALE. **Tag: venda de termômetros e esfogomanômetros com coluna de mercúrio**. [2021]. Disponível em:  
<https://aconteceunovale.com.br/portal/?tag=venda-de-termometros-e-esfomomanometros-com-coluna-de-mercurio>. Acesso em: 5 fev. 2021.
- BONJORNO, Jose Roberto; RAMOS, Clinton Márcio; ALVES, Luís Augusto. **Física: termologia, óptica, ondulatória**, 2º ano. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Disponível em:  
[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em: 3 jan. 2021.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio**. Brasília: MEC/SEF, 1997. Disponível em:  
<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 3 set. 2021.
- BRUNER, Jerome S. Notas sobre uma teoria da aprendizagem. *In*: BRUNER, Jerome S. (org.). **Uma nova teoria de aprendizagem**. Rio de Janeiro: Bloch, 1973. p. 47-75.
- CAMPELO, Felícia de Carvalho. **Termodinâmica**. 2016. Disponível em:  
<https://slideplayer.com.br/slide/5610084/>. Acesso em: 5 maio 2021.
- CICLO de Carnot. 2021. Disponível em:  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mf\\_carnot&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mf_carnot&l=pt). Acesso em: 5 fev. 2021.
- DEMONSTRAÇÃO – trabalho de um gás perfeito. **Tutor Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=72834>. Acesso em: 9 fev. 2021.
- DENIS. Primeira lei da Termodinâmica: fórmulas e exercícios. **Aprova Total**, [S. l.], 4 ago. 2020. Disponível em: <https://blog.aprovatotal.com.br/primeira-lei-da-termodinamica/>. Acesso em: 5 mar. 2021.
- DESENHOS de carros. 2021. Disponível em:  
<https://www.desenhosinfantis.com/desenhos-de-carros>. Acesso em: 5 mar. 2021.

ENERGIA interna. 2021. Disponível em:  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_vnitri\\_energie&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_vnitri_energie&l=pt). Acesso em: 9 fev. 2021.

ESTADOS da matéria: básico. **Phet Colorado**. Colorado, 2021a. Disponível em:  
[https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html). Acesso em: 5 jan. 2021.

ESTADOS físicos da matéria. 2021b. Disponível em:  
<https://www.oladobomdaquimica.com.br/2021/06/-estados-fisicos-da-materia-solido-liquido-gasoso.html>. Acesso em: 9 fev. 2021.

EVANGELISTA, Carla Reis. Transformação isobárica. **Info Escola**. 2021a. Disponível em: <https://www.infoescola.com/termodinamica/transformacao-isobarica>. Acesso em: 5 fev. 2021.

EVANGELISTA, Carla Reis. Transformação isotérmica. **Info Escola**. 2021b. Disponível em: <https://www.infoescola.com/termodinamica/transformacao-isotermica/>. Acesso em; 9 fev. 2021.

EVANGELISTA, Carla Reis. Transformação isovolumétrica(isocórica). **Info Escola**. 2021c. Disponível em: <https://www.infoescola.com/termodinamica/transformacao-isovolumetrica-isocorica/>. Acesso em: 9 fev. 2021.

FERNANDES, Bruno. Espcex- resumo de física – transformações na termodinâmica. **Desesperando**, 2020. Disponível em:  
<https://blog.professorbrunofernandes.com.br/espcecx-resumo-de-fisica-transformacoes-na-termodinamica/>. Acesso em: 9 fev. 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Transformação isobárica**. 2021. Disponível em:  
<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/transformacao-isobarica.htm>. Acesso em: 9 fev. 2021.

FORÇAS e movimento: noções básicas. **Phet Colorado**, Colorado, 2021. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html). Acesso em: 5 fev. 2021.

FORMAS de energia e transformações. **Phet Colorado**, Colorado, 2021. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/energy-forms-and-changes](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/energy-forms-and-changes). Acesso em: 9 fev. 2021.

FRIGORÍFICO. 2021. Disponível em:  
[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_lednicka&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_lednicka&l=pt). Acesso em: 9 fev. 2021.

GLOGSTER. **Revolução industrial**. Disponível em:  
<https://edu.glogster.com/glog/revolucao-industrial/22b730mt9fa>. Acesso em: 5 jan. 2021.

GOUVEIA, Rosimar. Equilíbrio Térmico. *In: Toda matéria*. [s. l.], [2021]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/equilibrio-termico/>. Acesso em: 13 jan. 2021.

HELERBROCK, Rafael. Calor. **Mundo Educação**, São Paulo, 2021a. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/calor.htm>. Acesso em: 5 fev. 2021.

HELERBROCK, Rafael. Máquinas térmicas. **Brasil Escola**. 2021c. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/maquina-termicaaplicacao-segunda-lei-termodinamica.htm>. Acesso em: 7 fev. 2021.

HELERBROCK, Rafael. Pressão. **Brasil Escola**. 2021b. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/pressao.htm>. Acesso em: 4 fev. 2021.

JACK, Adriano. **Internal combustion engine**. 2021. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/675821487812044184/>. Acesso em: 5 mar. 2021.

KELLEY BLUE BOOK. **Você sabe o que é o ciclo Otto em um motor?** 2018. Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/o-que-e-ciclo-otto/?ID=1270>. Acesso em: 9 mar. 2021.

LA MÁQUINA de vapor, el invento del siglo XVIII. **Ayer & Hoy**, Ciudad Real, 2019. Disponível em: <https://ayeryhoyrevista.com/la-maquina-de-vapor-el-invento-del-siglo-xviii/>. Acesso em: 9 fev. 2021.

LEVANTAMENTO de peso: força bruta em busca da medalha olímpica. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 30 maio 2016. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/esportes/olimpiadas/2016/levantamento-de-peso-forca-bruta-em-busca-da-medalha-olimpica-7fy583k2l4rkusf8mf6thf4nw/>. Acesso em: 5 fev. 2021.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 1999.

LOCOMOTIVA a vapor. 2016. Disponível em: <https://galeria.colorir.com/veiculos/comboios/locomotiva-a-vapor-pintado-por--1196399.html>. Acesso em: 9 mar. 2021.

MÁQUINAS térmicas – 7º ano. [S. l.: s. n.], 2021. 1 vídeo (2 min). Publicado pelo canal Doutor ciências. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=GUa1n\\_SoQoc](https://www.youtube.com/watch?v=GUa1n_SoQoc). Acesso em: 5 fev. 2021.

MÁQUINAS térmicas - refrigerador. [2019]. Disponível em: [http://fisicasp.com.br/wp-content/uploads/2019/02/Lista\\_de\\_refrigeradores.pdf](http://fisicasp.com.br/wp-content/uploads/2019/02/Lista_de_refrigeradores.pdf). Acesso em: 13 jan. 2021.

MÁQUINAS térmicas. 2021a. Disponível em: <http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/maquinastermicas.htm>. Acesso em: 9 mar. 2021.

MATEUS, Ana Rita. A máquina a vapor. **Nota Positiva**. 2019. Disponível em: <https://notapositiva.com/a-maquina-a-vapor/#>. Acesso em: 9 mar. 2021.

MONTE, Amilcar. **Trabalho termodinâmico**. 2021. Disponível em: <http://minhasaulasdefisica.blogspot.com/2016/01/trabalho-termodinamico.html>. Acesso em: 9 fev. 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. A teoria de ensino de Bruner. *In*: MOREIRA, Marco Antonio (org.). **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. p. 81-94.

MOTOR quatro tempos. 2021. Disponível em: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_ctyrtakt&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_ctyrtakt&l=pt). Acesso em: 9 fev. 2021.

NASCIMENTO, Adriana. **Ciclo de Carnot**. 2021. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/447967494165292054/>. Acesso em: 5 fev. 2021.

NEWCOMEN, Thomas. Máquina de Newcomen. **Museo Virtual**, Panamá, 2020. Galerias temáticas. Disponível em: [http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias\\_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Newcomen,%20Thomas.xml](http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Newcomen,%20Thomas.xml). Acesso em: 4 fev. 2021.

PARANÁ. Escola Digital. **Currículo da rede estadual paranaense (CREP)**. Curitiba: Escola Digital, 2020. Disponível em: <https://professor.escoladigital.pr.gov.br/crep>. Acesso em: 3 jan. 2021.

PEREIRA, Daniel. **Trabalho, potência e energia**: fórmulas, resumo e exercícios. 2019. Disponível em: <https://redu.com.br/fisica/trabalho-potencia-e-energia-formulas-resumo-e-exercicios/>. Acesso em: 9 fev. 2021.

PIRES, Leonardo Rafael. **Equilíbrio térmico**. 2019. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/equilibrio-termico>. Acesso em; 9 mar. 2021.

PREPARA ENEM. **Ciclo de Otto**. [2021]. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/ciclo-otto.htm>. Acesso em: 10 jan. 2021.

PROJETO mini usina térmica. 2009. Disponível em: [http://miniusina.blogspot.com/2009/07/projeto-mini-usina-termica\\_04.html](http://miniusina.blogspot.com/2009/07/projeto-mini-usina-termica_04.html). Acesso em: 6 fev. 2021.

PROPRIEDADES dos gases. **Phet Colorado**, Colorado. 2021. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/gas-properties](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gas-properties). Acesso em: 9 mar. 2021.

REFRIGERADOR. 2021. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~leila/refri.htm>. Acesso em: 2 mar. 2021.

REPRESENTAÇÃO gráfica isobárica da Lei de Gay-Lussac. 2021b. Disponível em: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_izobaricky\\_dej&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_izobaricky_dej&l=pt). Acesso em: 9 fev. 2021.

REPRESENTAÇÃO gráfica isotérmica da Ley de Boyle-Marriote. 2021a. Disponível em: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_izotermicky\\_dej&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_izotermicky_dej&l=pt). Acesso em: 9 fev. 2021.

RIBEIRO, Amanda Gonçalves. Volume do paralelepípedo, do cubo e do cone. **Brasil Escola**. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/volume-paralelepipedo-cubo-cone.htm>. Acesso em: 9 nov. 2021.

SANTANA, Guilherme. Ciclo de Carnot. **Todo Estudo**. 2021. Disponível em: <https://www.todoestudo.com.br/fisica/ciclo-de-carnot>. Acesso em: 6 fev. 2022.

SANTOS, José Carlos Fernandes. **Transformações cíclicas e máquinas térmicas**. 2021. Disponível em: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/termica/transformacoes-ciclicas-e-maquinas-termicas.html>. Acesso em: 5 fev. 2021.

SILVA, Domiciano Correa Marques. Estudo da transformação adiabática. **Brasil Escola**. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/estudo-transformacao-adiabatica.htm>. Acesso em: 5 fev. 2021.

SMIL, Vaclav. **Energy and civilization: a history**. Cambridge: The MIT Press, 2017.

SUBMARINO com garrafa pet e tampa de caneta. 2016. Disponível em: <https://aulazen.com/atividades-praticas/submarino-com-garrafa-pet-e-tampa-de-caneta/>. Acesso em: 5 fev. 2021.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. **Ciclo de Carnot**. 2021. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>. Acesso em: 5 fev. 2021.

TEMPERATURA e escalas termométricas. [2021]. Disponível em: <https://sites.google.com/site/montedefisica/disciplinas/termologia/temperatura-e-escalas-termometricas?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>. Acesso em: 4 fev. 2021.

TERMODINÂMICA – exercícios. **As agonias de um físico**. 2010. Disponível em: <https://agoniasdeumfisico.wordpress.com/2010/08/08/30/>. Acesso em: 4 fev. 2021.

TOAZA, Eduardo. **Trabalho mecânico**. 2020. Disponível em: <http://www.questoesdosvestibulares.com.br/2019/11/trabalho-mecanico.html>. Acesso em: 4 fev. 2021.

TRANSFERÊNCIA de energia por condução. 2021. Disponível em: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_vedeni\\_energie&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_vedeni_energie&l=pt). Acesso em: 5 mar. 2021.

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL. **Física e vestibular: universidades**. Caxias do Sul: UCS, 2013. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/Universidades2013/UCS13.htm>. Acesso em: 9 fev. 2021.

WORK of gif. 2021. Disponível em: <https://media.giphy.com/media/mJ4H7RUQKnajm/source.gif>. Acesso em: 9 fev. 2021.