



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 45

Jacquecélia de Souza

Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica
Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos

Dourados -MS
Março/2026



Jacquecélia de Souza

**Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica
Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos**

Dissertação apresentada ao Polo 45 do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Manzeppi Faccin

Dourados -MS

Março/2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S729a Souza, Jacquecelia De

Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos [recurso eletrônico] / Jacquecelia De Souza. -- 2026.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Giovani Manzeppi Faccin.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Termodinâmica. 2. Arduino. 3. Histórico-cultural de Vygotsky. 4. Ensino por Investigação. 5. Ensino de Física. I. Faccin, Giovani Manzeppi. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

Jacquécélia de Souza

Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos

Dissertação apresentada ao Polo 45 do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da (UFGD), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 03 de 03 de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giovani Manzeppi Faccin - Orientador
Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. Fernando Cesar Ferreira
Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. Michel Corsi Batista
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida e pelas forças concedidas para continuar e não desistir dos meus objetivos.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e ao Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), pela oportunidade de ingresso e formação.

Aos professores do MNPEF/UFGD, Fábio de Alencar dos Santos, Fernando Cesar Ferreira, André Luiz Martinez, Eriton Rodrigo Botero, Thiago Sequinel e Eduardo Basso, pelo ensino, paciência e dedicação compartilhados.

Ao Professor Dr. Giovani Manzeppi Faccin, pela sua orientação precisa, pelos sábios conselhos, apoio e dedicação inestimáveis durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua condução foi fundamental para a concretização deste projeto. Muito obrigada!

À Professora Dra. Elizangela Matias Miranda, a quem agradeço de uma forma muito especial, pelo carinho, pela paciência e pelas valiosas contribuições que enriqueceram imensamente esta pesquisa.

À Escola Estadual 31 de Março, pela disponibilização das devidas condições físicas e pedagógicas para a aplicação do produto educacional e desenvolvimento desta pesquisa. Minha gratidão aos diretores Marcos Giovane e Marcelo Santoro, e a toda a equipe da escola pelo apoio essencial.

Ao meu grande amigo, Professor Dr. Jaldair de Nobrega, pela amizade e pelos conselhos valiosos que recebo desde a graduação. Se não fosse pelo seu incentivo constante, sua atenção e sua sabedoria nos momentos de maior incerteza, eu não teria finalizado sequer a graduação. Hoje, com imensa alegria e gratidão, posso lhe dizer publicamente: muito obrigada por acreditar em mim.

À Dra. Francylaine Almeida Brito, pelo apoio constante e pelo incentivo essencial para que eu continuasse meus estudos e seguisse acreditando na minha trajetória acadêmica.

Aos colegas e amigos que fiz durante o mestrado: Everton, Ivan, Kleber, Camila, Luan, Sayure, Gabriela, Alex, Liginho, Yan e Rodrigo, pela parceria e caminhada conjunta.

Aos alunos Gabriel e Maria Eduarda, por me ajudarem a testar o projeto na escola.

Agradeço a todos professores que me apoiaram e me incentivaram, pelo imprescindível apoio e colaboração durante todas as atividades relacionadas ao Mestrado.

RESUMO

Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos

Jacquecélia de Souza

Orientador:

Prof. Dr. Giovani Manzeppi Faccin

Esta dissertação investiga a aplicação de uma sequência didática fundamentada na teoria histórico-cultural de Vygotsky, desenvolvida sob a perspectiva do ensino por investigação, com foco na aprendizagem colaborativa e na mediação social para a construção conceitual no ensino de Física. A pesquisa foi realizada em uma escola estadual na cidade de Juti, no Mato Grosso do Sul, com uma turma de estudantes do ensino médio. Foi aplicada uma avaliação diagnóstica por meio de questionário de conhecimentos prévios sobre temperatura, calor e evaporação. Na sequência, os estudantes participaram de atividades experimentais que favoreceram a interação entre pares e a análise de fenômenos térmicos, sendo acompanhada por instrumentos avaliativos pré e pós atividades pedagógicas, para quantificar a aprendizagem dos alunos. Como recurso pedagógico central, utilizou-se um sistema de resfriamento evaporativo com sensores integrados à plataforma Arduino, permitindo a coleta e a análise gráfica de dados de temperatura e umidade em tempo real. A análise dos dados evidenciou avanços na compreensão dos conceitos de calor, temperatura e evaporação, por parte dos alunos, além de um maior engajamento discente. Os resultados indicam que o uso do Arduino, articulado à metodologia investigativa, promovem a integração entre teoria e prática, facilitando a apropriação de conceitos da Termodinâmica. Como produto educacional, a dissertação apresenta um caderno do professor, contendo orientações para a implementação da sequência didática e do aparato experimental em sala de aula.

Palavras-chave: Termodinâmica. Arduino. Histórico-cultural de Vygotsky. Ensino por Investigação e Ensino de Física.

ABSTRACT

A Practical Approach to Teaching Thermodynamics Using Arduino and Ceramic Pots

Mestranda

Jacquecélia de Souza

Supervisor (s) Orientador:

Prof. Dr. Giovani Manzeppi Faccin

This dissertation investigates the application of a didactic sequence based on Vygotsky socio-cultural theory, developed from the perspective of inquiry-based teaching, focusing on collaborative learning and social mediation for conceptual construction in physics teaching. The research was conducted in a state school in the city of Juti, Mato Grosso do Sul, with a class of high school students. A diagnostic assessment was applied using a questionnaire on prior knowledge about temperature, heat, and evaporation. Subsequently, the students participated in experimental activities that fostered peer interaction and the analysis of thermal phenomena, accompanied by pre- and post-activity assessment instruments to quantify student learning. As a central pedagogical resource, an evaporative cooling system with sensors integrated into the Arduino platform was used, allowing for the collection and graphical analysis of temperature and humidity data in real time. The data analysis showed advances in the students' understanding of the concepts of heat, temperature, and evaporation, as well as greater student engagement. The results indicate that the use of Arduino, combined with the investigative methodology, promotes the integration between theory and practice, facilitating the appropriation of Thermodynamics concepts. As an educational product, the dissertation presents a teacher's guide containing instructions for implementing the teaching sequence and the experimental apparatus in the classroom.

Keywords: Thermodynamics. Arduino. Vygotsky historical-cultural approach. Inquiry-based learning and Physics teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Arduino Uno R3 SMD	43
Figura 2 - Exemplo elaborado do Software IDE do Arduino.....	44
Figura 3 - Exemplo de circuito elaborado no Software Fritzing.....	45
Figura 4 - Exemplo elaborado no Software SIDAvis	47
Figura 5 - Comparação entre sensação térmica e temperatura real	48
Figura 6 - Representação esquemática do fluxo de calor entre dois corpos de diferentes temperaturas	50
Figura 7 - Representação microscópica da relação entre temperatura e agitação térmica.	51
Figura 8 - Representação esquemática da Lei Zero da Termodinâmica.....	52
Figura 9 - Termoscópio de Galileu.....	54
Figura 10 - Termômetro em contato com o gelo e com o vapor.....	55
Figura 11 - Termômetro de gás a volume constante.	57
Figura 12- Comparação entre as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit.....	59
Figura 13 - Mudanças de estado físico.....	62
Figura 14 - Curva de aquecimento.....	64
Figura - 15 Conjunto de componentes de Arduino conectado ao protoboard.....	78
Figura 16 - Vaso externo e interno.....	81
Figura 17 - Vaso externo e interno com areia	83
Figura 18 - Vaso interno e externo com areia molhada.	83
Figura 19 - Um sistema completo com vasos e Arduino	84
Figura 20 - Conjunto do protótipo do vaso externo e interno de cerâmica com Arduino coberto com pano de algodão	85
Figura 21 - Vaso externo de cerâmica e caixa interno de isopor.....	86
Figura 22 - Vaso externo de barro e recipiente interno de plástico	87
Figura 23 - Estudantes lendo o documento TALE e TCLE.....	91
Figura 24 - Estudantes respondendo o questionário prévio	92
Figura 25 - Imagem da divisão de grupos em estudos	100
Figura 26 - Aplicação do questionário pós - teste.....	102
Figura 27 - Aparato experimental de vaso interno e externo de cerâmica	171
Figura 28 – kit de aparato experimental. Grupo A.....	172

Figura 29 - Vasos de cerâmica externo e interno conectado ao kit Arduino.	173
Figura 30 - Componentes do Kit Experimental.....	174
Figura 31- Kit experimental montado	175
Figura 32 - Montagem do vaso de cerâmica externo e recipiente interno de plástico conectado ao kit Arduino.....	175
Figura 33 - Montagem do vaso de cerâmica externo e recipiente interno de isopor conectado ao kit de Arduino.....	177
Figura 34 - Kit aparato experimental montado.....	177
Figura 35 - Montagem experimento reproduzida pelos estudantes.....	178
Figura 36 - Componentes do Kit Experimental.....	179
Figura 37 - Kit aparato experimental montado	179
Figura 38 - Montagem do vaso de cerâmica externo e recipiente interno de alumínio conectado ao kit de Arduino.....	180
Figura 39 - Atividade prática do grupo D	181
Figura 40 - Atividade prática do grupo A	184
Figura 41 - Atividade prática do grupo B	185
Figura 42 - Atividade prática do grupo C	188
Figura 43 - Atividade prática do grupo C	190
Figura 44- Materiais de laboratório para o experimento de evaporação.....	204
Figura 45 - Montagem experimental do sistema de resfriamento evaporativo utilizando Arduino.....	205

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Propriedades Térmica das substâncias.....	65
Tabela 2: Análise conceitual do questionário prévio.....	95
Tabela 3 - Análise conceitual pós teste da aula 2 e 3	123
Tabela 4 - Análise quantitativa das aulas 2 e 3	123
Tabela 5 - Comparativo de evolução conceitual questionário prévio e o pós-teste	124
Tabela 6 - Análise das questões individuais. Grupo A- aula 4	129
Tabela 7 - Análise das questões individuais. Grupo C - aula 4	138
Tabela 8 - Análise das questões individuais. Grupo D - aula 4	152

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Componentes para montar kit de Arduino e suas respectivas funções e descrições	76
Quadro 2 - Montagem de um sistema de refrigeração natural com vasos de cerâmica, com coletas e dados automatizados, para investigar os conceitos de temperatura, calor e evaporação.	78
Quadro 3 - Estrutura de cores para análise dos conhecimentos prévios.....	94
Quadro 4 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas, concepções científicas parciais e concepções científicas.....	104
Quadro 5 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas, concepções científicas parciais e concepções científicas.....	107
Quadro 6 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	111
Quadro 7 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	115
Quadro 8 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	118
Quadro 9 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	128
Quadro 10 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	130
Quadro 11- Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	132
Quadro 12 - Diagrama de análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.....	135
Quadro 13 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	137
Quadro 14 - Diagrama de análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.....	139
Quadro 15 - Diagrama de análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.....	141
Quadro 16- Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	143

Quadro 17 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	145
Quadro 18 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	146
Quadro 19 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	148
Quadro 20 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	150
Quadro 21 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	151
Quadro 22 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	153
Quadro 23 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	155
Quadro 24 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.	157
Quadro 25- Quadro – Análise conceitual geral dos grupos – aula 4.....	159
Quadro 26 - Ficha de Justificativa do kit Utilizado.....	168
<i>Quadro 27 - Respostas dos Grupos à Ficha de Justificativa do Kit</i>	192
Quadro 28 - Síntese dos critérios da rubrica de avaliação	194
Quadro 29 – Fase de pré - investigação e elaboração de hipótese. Grupo A álcool 92.8.	199
Quadro 30 – Fase de pré-investigação e elaboração de hipótese Grupo B acetona.....	200
Quadro 31 – Fase pré-investigação e elaboração de hipóteses. Grupo C acetona.....	201

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de Resfriamento do Sistema do Grupo B	186
Gráfico 2 - Variação da Umidade Relativa no Sistema do Grupo B	187
Gráfico 3 - Curva de resfriamento do sistema do grupo A (álcool).	206
Gráfico 4 - Curva de humidade do sistema do grupo A (álcool)	207
Gráfico 5 - Curva de resfriamento do sistema do grupo B (acetona).	208
Gráfico 6 - Curva de humidade do sistema do grupo B (acetona)	210
Gráfico 7- Curva de Resfriamento do Sistema do Grupo C (acetona)	211
Gráfico 8 - Humidade x Tempo sala climatizada (grupo C).....	212
Gráfico 9 - Curva de resfriamento do sistema do grupo D (álcool).....	213
Gráfico 10 - Curva de humidade do sistema do grupo D (álcool).....	213
Gráfico 11 - Curva de humidade do sistema do grupo D.	215

Sumário

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 OBJETIVO GERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O ENSINO DE TERMODINÂMICA COM TECNOLOGIAS DIGITAIS E METODOLOGIAS INVESTIGATIVAS	33
2.2 A PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL DE LEV VYGOTSKY E A MEDIAÇÃO	36
2.3 PROCESSOS PSICOLÓGICOS SUPERIORES	36
2.4 CONCEITOS ESPONTÂNEOS E CIENTÍFICOS	37
2.5 ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL	38
2.5.1 NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO REAL	39
2.5.2 NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO POTENCIAL	39
2.5.3 MEDIAÇÃO PEDAGÓGICA E INSTRUMENTOS CULTURAIS	40
2.6 ARDUINO	42
2.6.1 MONTAGEM DO ARDUINO	44
2.7 FRITZING	44
2.8 ARDUINO COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL	45
2.9 SCIDAVIS	46
3 INTRODUÇÃO TERMODINÂMICA	48
3.1 TEMPERATURA	48
3.2 A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA	52
3.3 ESCALAS DE TEMPERATURA CENTÍGRADA E FAHRENHEIT	53
3.4 ESCALAS TERMOMÉTRICAS	55
3.4.1 ESCALA FAHRENHEIT	57
3.4.2 ESCALA KELVIN	58
3.5 CALOR	59
3.5.1 O CONCEITO DE CALOR E EQUILÍBRIO TÉRMICO	59

3.5.2 UNIDADES DE CALOR: DO CALÓRICO AO JOULE	60
3.5.3 CAPACIDADE TÉRMICA E CALOR ESPECÍFICO SOB A ÓTICA DO CÁLCULO	60
3.5.4 CALOR MOLAR	61
3.5.5 A LEI DE FOURIER E O GRADIENTE DE TEMPERATURA	61
3.5.6 CALOR LATENTE E MUDANÇAS DE FASE	62
3.5.7 CURVA DE AQUECIMENTO	63
3.5.8 FORMALISMO MATEMÁTICO E CALOR LATENTE	64
3.5.9 ANÁLISE DIFERENCIAL DA MUDANÇA DE FASE	65
3.5.10 EBULIÇÃO E EVAPORAÇÃO	66
3.5.11 TAXA DE EVAPORAÇÃO E RESFRIAMENTO DO CORPO	67
3.5.12 EVAPORAÇÃO E RESFRIAMENTO EVAPORATIVO EM MEIOS POROSOS	67
3.5.13 PROPAGAÇÃO DE CALOR	68
3.5.12.1 CONDUÇÃO E LEI DE FOURIER	68
3.5.12.2 CONVECÇÃO	69
3.5.12.3 IRRADIAÇÃO (OU RADIAÇÃO)	70
3.5.12.4 BALANÇO DE ENERGIA NO PROTÓTIPO	71
4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	73
4.1 LOCAL DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	73
4.2 AVALIAÇÃO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS	74
4.3 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E MATERIAIS UTILIZADOS	74
4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	75
4.5 OBJETIVO DO EXPERIMENTO	75
4.6 MATERIAIS UTILIZADOS	76
4.6.1 SISTEMAS DO ARDUINO MONTADO.	77
4.6.2 VASO DE CERÂMICA E SUA FINALIDADE PEDAGÓGICA.	78
4.6.3 DESCRIÇÃO DOS VASOS E FÍSICA	79
4.7 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	80
4.7.1 VASO DE BARRO EXTERNO E INTERNO VASOS DE CERÂMICA	80
4.7.2 VASO INTERNO	81

4.7.3 CAMADA INTERMEDIÁRIA (AREIA)	82
4.8 KITS- 2:VASO DE CERÂMICA E CAIXA DE ISOPOR INTERNO	86
4.9 KITS 3: VASO DE CERÂMICA E RECIPIENTE DE PLÁSTICO INTERNO	87
5.1. ESTRUTURA E JUSTIFICATIVA DO QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	89
5.2 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E ENTREGA DOS DOCUMENTOS (TCLE) E (TALE)	90
5.3 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO. (1º AULA)	91
5.3.1 A PERSPECTIVA VYGOTSKYANA NO DIAGNÓSTICO	92
5.3.2 JUSTIFICATIVA METODOLÓGICA DE APLICAÇÃO ENTRE CONCEITOS ESPONTÂNEOS E CIENTÍFICOS	93
5.3.3 JUSTIFICATIVA METODOLÓGICA E CATEGORIZAÇÃO DE DADOS	94
5.3.4 SÍNTESE ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	96
5.3.5 INTERPRETAÇÃO POR CATEGORIAS	96
5.3.6 DESTAQUES DA ANÁLISE	97
5.3.7 DISCUSSÃO DOS DADOS: O VASO DE CERÂMICA E A SUSTENTABILIDADE (QUESTÕES 7 E 11)	97
5.3.8 SÍNTESE DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO	98
5.4 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA – PLANO DE AULA (2ª E 3ª AULA)	99
5.4.1-OBJETIVO DA AULA: APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (2ª E 3ª AULA)	99
FIGURA 25 - IMAGEM DA DIVISÃO DE GRUPOS EM ESTUDOS	100
5.4.2 AULA 3: ESTUDO EM GRUPO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO PÓS - TESTE	100
5.4.3 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO PÓS – TESTE AULA 3.	102
5.4.3.1 QUESTÃO 1.	103
5.4.3.2 QUESTÃO 2:	107
5.4.3.3 QUESTÃO 3.	111
5.4.3.4 QUESTÕES 4.	114
5.4.3.5 QUESTÃO 5:	118
5.4.3.6 ANÁLISE GERAL DA AULA 2 E 3	122
5.4.3.7 EVOLUÇÃO CONCEITUAL E MEDIAÇÃO PEDAGÓGICA	124
5.5 DESCRIÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO DAS AULAS 4 E 5 DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	125
5.5.1: INVESTIGAÇÃO E PLANEJAMENTO - AULA 4	126

5.5.2 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO (AULA 4)	126
5.5.3 PLANEJAMENTO DA INVESTIGAÇÃO	127
5.5.4 PERGUNTAS NORTEADORAS E REGISTRO DA AULA 4	127
5.5.5 ANÁLISE DE RESPOSTA DOS ESTUDANTES. (GRUPO A)	128
5.5.6 PERGUNTAS E ANÁLISE DE RESPOSTA PARA REFLEXÃO INICIAL	130
5.5.7 ANÁLISE INDIVIDUAL – QUESTÃO 2 (C)	132
5.5.8 SÍNTESE – JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS MATERIAIS (GRUPO A)	134
5.5.9 ANÁLISE DA QUESTÃO B - COMPREENSÃO DE TEMPERATURA, CALOR E UMIDADE (GRUPO A)	134
5.5.10 ANÁLISE GERAL DO GRUPO (A)	136
5.6 ANÁLISE DO GRUPO B	136
5.6.1 ANÁLISE INDIVIDUAL DA PROBLEMATIZAÇÃO (GRUPO B)	136
5.6.2 DIAGRAMA DE ANÁLISE DA QUESTÃO 2 A E B (GRUPO B)	138
5.6.3 DIAGRAMA DE ANÁLISE INDIVIDUAL – QUESTÃO 2 (C)	140
5.6.4 SÍNTESE – JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS MATERIAIS (GRUPO B).	143
5.6.5 ANÁLISE DA QUESTÃO B -COMPREENSÃO DE TEMPERATURA, CALOR E UMIDADE (GRUPO B)	143
5.7 ANÁLISE DO GRUPO C	144
5.7.1 ANÁLISE DAS QUESTÕES INDIVIDUAIS DA (AULA 4)	146
5.7.2 QUESTÃO ANÁLISE DA QUESTÃO 2 A E B (GRUPO C)	146
5.7.3 ANÁLISE INDIVIDUAL – QUESTÃO 2 (C)	148
5.7.4 SÍNTESE - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS MATERIAIS (GRUPO C)	149
5.7.5 ANÁLISE DA QUESTÃO B - COMPREENSÃO DE TEMPERATURA, CALOR E UMIDADE (GRUPO C)	150
5.7.6 ANÁLISE DA QUESTÃO B: COMPREENSÃO SOBRE TEMPERATURA, CALOR E UMIDADE (GRUPO C).	150
5.8 ANÁLISE DA PROBLEMATIZAÇÃO (GRUPO D).	151
5.8.1 SÍNTESE INDIVIDUAL – GRUPO D – QUESTÃO 2 (A E B).	153
5.8.2 ANÁLISE INDIVIDUAL – QUESTÃO 2 (C)	154
5.8.3 SÍNTESE - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS MATERIAIS (GRUPO D)	156

5.8.4 SÍNTESE - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DOS MATERIAIS (GRUPO D).	156
5.8.5 ANÁLISE DA QUESTÃO B - COMPREENSÃO DE TEMPERATURA, CALOR E UMIDADE (GRUPO D)	157
5.8.6 ANÁLISE DA QUESTÃO B: COMPREENSÃO SOBRE TEMPERATURA, CALOR E UMIDADE (GRUPO D).	158
5.9 FECHAMENTO DA AULA 4: SÍNTESE DA PROBLEMATIZAÇÃO POR GRUPOS	159
6 DESENVOLVIMENTO PROTÓTIPO E EXPERIMENTAÇÃO (AULA 5)	160
6.1 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DA AULA 5. (GRUPO A, B, C E D)	161
6.2 – OBJETIVOS DA AULA 5.	162
6.3 MATERIAIS UTILIZADOS.	163
6.3.1 KIT 1: SISTEMA COM DOIS VASOS DE CERÂMICA (INTERNO E EXTERNO).	163
6.3.1.1 MATERIAIS DO KIT 1, SÃO:	164
6.3.2 KIT 2: VASO EXTERNO DE CERÂMICA E CAIXA INTERNO DE ISOPOR.	165
6.3.2.1 MATERIAIS DO KIT 2:	165
6.3.3 KIT 3: VASO DE CERÂMICA E INTERNO DE PLÁSTICO.	165
6.3.3.1 MATERIAIS DO KIT 3:	166
6.3.4 KIT 4: VASO EXTERNO DE CERÂMICA E RECIPIENTE DE ALUMÍNIO.	166
6.3.4.1 MATERIAIS DO KIT 4:	166
6.3.5 A FICHA DE JUSTIFICATIVA COMO INSTRUMENTO DE MEDIAÇÃO	167
6.4 JUSTIFICATIVA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	167
6.4.1 ESTRUTURA DA FICHA DE JUSTIFICATIVA	168
6.4.2 SÍNTESE SOBRE RUBRICA	169
6.4.3. RUBRICA DE AVALIAÇÃO –ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA	170
6.5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS POR GRUPO A, B, C E D.	171
6.5.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS POR GRUPO A	171
6.5.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS POR GRUPO B.	174
6.5.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS GRUPO C	176
6.6 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS – AULA 6.	181
6.6.1 OBJETIVOS DA ATIVIDADE.	182

6.7 PERCURSO METODOLÓGICO DA ANÁLISE INVESTIGAÇÃO SOB A PERSPECTIVA DE VYGOTSKY	182
6.8 TRABALHO EM GRUPO	182
6.9 MEDIAÇÃO DOCENTE	182
6.10 ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)	183
7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	184
7.1 ANÁLISE DO GRUPO A.	184
7.2 ANÁLISE DO GRUPO B.	185
7.3 ANÁLISE DO GRUPO C.	188
7.4 ANÁLISE DO GRUPO D.	190
7.4.1 JUSTIFICATIVA DOS DADOS NÃO TEREM SALVO	191
7.5 ANÁLISE DAS JUSTIFICATIVAS DOS GRUPOS	192
<i>QUADRO 27 - RESPOSTAS DOS GRUPOS À FICHA DE JUSTIFICATIVA DO KIT</i>	192
7.5.2 QUADRO DE SÍNTESE – JUSTIFICATIVA DA AVALIAÇÃO	195
7.5.3 DISCUSSÃO FINAL DO EXPERIMENTO	195
7.6 PLANO DE INTERVENÇÃO - AULA 7	196
7.6.1 A FICHA DE JUSTIFICATIVA COMO MEDIAÇÃO PRÉ-EXPERIMENTAL	196
7.6.2 MEDIAÇÃO PÓS-EXPERIMENTAL E CONSOLIDAÇÃO CONCEITUAL - AULA 7.	197
7.7 CALOR E EVAPORAÇÃO COM APRENDIZAGEM BASEADA EM INVESTIGAÇÃO - AULA 8	198
7.7.1 O PRINCIPAL OBJETIVO DA AULA	198
7.7.2 A FASE DE PRÉ-INVESTIGAÇÃO E A ELABORAÇÃO DE HIPÓTESES - GRUPO A	198
7.7.3 A ANÁLISE DE RESPOSTAS DO GRUPO B NA FASE DE PRÉ-INVESTIGAÇÃO	201
7.7.4 APLICAÇÃO DA FICHA PÓS-AVALIAÇÃO	203
7.7.5 NÃO USO DOS CÁLCULOS	203
7.8 EXECUÇÃO COLETA E ANÁLISE DE DADOS	203
7.9 ANÁLISE DE DADOS	204
7.9.1 ANÁLISE DO GRÁFICO TEMPO X TEMPERATURA (GRUPO B)	208
7.9.2 ANÁLISE DO GRÁFICO TEMPO X TEMPERATURA (GRUPO C)	211
7.10. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS POR GRUPO	216
7.10.1 GRUPO A – DOMÍNIO CONCEITUAL E SUPERAÇÃO DE DIFICULDADES PROCEDIMENTAIS	217

7.10.2 GRUPO B – COMPETÊNCIA TÉCNICA COMO ELEMENTO DE COMPENSAÇÃO CONCEITUAL	217
7.10.3 GRUPO C: INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E A NECESSIDADE DE CONTROLE EXPERIMENTAL	218
7.10.4– A MEDIAÇÃO SOCIAL COMO MECANISMO ESTRUTURANTE DA APRENDIZAGEM CIENTÍFICA (GRUPO D)	218
7.11 CONCLUSÃO GERAL	219
7.12 CONCLUSÃO COMPARATIVA	219
7.13 SÍNTESE PARA A REPLICAÇÃO EXPERIMENTAL	220
7.14 ANÁLISE DA AULA DE INTERVENÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS E FENÔMENOS FÍSICOS	220
7.15 ETAPA 1: PROJEÇÃO E ANÁLISE DE GRÁFICOS	222
(TEMPO ESTIMADO: 20 MINUTOS)	222
7.15.1 ETAPA 2: DISCUSSÃO E INTERVENÇÃO	222
7.15.2 ETAPA 2: EXPERIMENTO ATIVO E CONCEITOS FÍSICOS	222
7.15.3 DISCUSSÃO E INTERVENÇÃO	222
7.15.4 ETAPA 3: INTERPRETAÇÃO E PLOTAGEM DE GRÁFICOS	223
(TEMPO NÃO ESTIMADO, FOI COMO INTEGRADO COM A ETAPA 2).	223
7.15.5 ETAPA 4: SÍNTESE CONCEITUAL	224
7.15.5.1 SUGESTÃO PARA FUTURAS AULAS	224
7.15.6 AVALIAÇÃO E OBSERVAÇÕES FINAIS	224
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.	225
REFERÊNCIAS	227

Apresentação da Autora

Sou uma professora com pouco tempo de experiência na área de educação básica, mas com uma atuação intensa e dedicada. Desde o início da minha carreira, em 2021 eu tenho buscado inovar minhas aulas, indo além dos métodos puramente tradicionais.

Tenho procurado tornar o ensino de física mais engajador e relevante para os estudantes. Para alcançar esse objetivo na minha prática pedagógica tenho tentado fazer uso de experimentos de baixo custo, na utilização de recursos tecnológicos e na constante busca por conectar os conceitos científicos ao cotidiano dos alunos.

A minha busca por inovação se estende a participação em atividades extracurriculares, que me envolvo ativamente em projetos na escola e na preparação de aulas diferenciadas e incentivo os alunos a participar das Olimpíadas Brasileiras de Física, vendo nessas iniciativas um campo fértil para aprofundar o conhecimento e desenvolver o raciocínio científico e feiras científicas, feiras escolares.

Apesar dos desafios inerentes à profissão, como a dificuldade dos alunos em consolidar conceitos e realizar cálculos básicos, observado um grande interesse e adesão às atividades propostas. Acredito firmemente que a experimentação e a tecnologia são ferramentas poderosas para despertar a curiosidade e facilitar a aprendizagem da física.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação de um ensino inovador em um ambiente escolar tradicional apresenta obstáculos logísticos e culturais. Tenho me esforçado continuamente para superar esses desafios e, assim, oferecer aos meus alunos uma experiência de aprendizado mais significativa e condizente com as exigências e a realidade local

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física no ensino médio apresenta desafios recorrentes relacionados à abstração conceitual e à dificuldade dos estudantes em estabelecer relações entre os conteúdos teóricos e os fenômenos observáveis no cotidiano. No âmbito da termodinâmica, conceitos como calor, temperatura e evaporação frequentemente são compreendidos de forma fragmentada, o que compromete a aprendizagem significativa.

Segundo Silvério (2013), as maiores dificuldades dos alunos residem na aplicação dos conhecimentos adquiridos, muitas vezes agravadas por uma abordagem pouco instrumentalizada. Complementarmente, Júnior et al. (2017) destacam que a superação dessas barreiras exige a utilização de novas metodologias que conectem a teoria à realidade do aluno, que identificam a escassez de aulas experimentais como um fator que desestimula o interesse discente e dificulta a compreensão de fenômenos físicos em escolas públicas.

Nesse contexto, as metodologias por investigação surgem como uma alternativa para favorecer a construção conceitual ao incentivar a participação ativa dos estudantes na formulação de hipóteses e análise de dados (CARVALHO, 2013). Essa perspectiva dialoga com a teoria histórico-cultural de Vygotsky (1991), que compreende a aprendizagem como um processo socialmente mediado, no qual a interação desempenha papel central na construção do conhecimento através de instrumentos mediadores.

A incorporação do Arduino no ensino de Ciências potencializa essa mediação. De acordo com Cordova e Aguiar Junior (2017), essa plataforma permite que o aluno saia da posição de observador passivo para o papel de investigador, utilizando a coleta de dados em tempo real para tornar visíveis fenômenos abstratos. Sob a ótica de Vygotsky (1991), esse processo facilita a mediação simbólica, permitindo que o conceito de calor deixe de ser uma mera abstração teórica e se torne uma grandeza mensurável e compreensível através da experimentação ativa. Ao automatizar a coleta e permitir a visualização imediata de dados, o Arduino atua como um recurso pedagógico de baixo custo que amplia as possibilidades de investigação científica em sala de aula.

Uso de tecnologias educacionais, o artigo de Araújo e Abib (2003) discute em profundidade as diferentes finalidades e enfoques das atividades experimentais no ensino de física, e aponta que quando as atividades práticas não estão claramente articuladas à teoria e aos objetivos de aprendizagem, elas podem fragmentar o processo de ensino, não favorecendo a construção conceitual sólida dos estudantes. Isso sustenta diretamente a sua afirmação sobre a necessidade de integração coerente entre teoria e prática no ensino da termodinâmica.

Diante desse cenário, emerge a seguinte questão de pesquisa: de que maneira uma sequência didática fundamentada na teoria histórico-cultural, estruturada pelo ensino por investigação e mediada pelo uso do Arduino, potencializa a transição do conhecimento espontâneo para o conhecimento científico sobre calor, temperatura e evaporação em estudantes do Ensino Médio. A partir dessa problemática, o presente estudo tem como objetivo geral analisar as implicações pedagógicas de uma sequência didática investigativa, amparada por um sistema experimental de baixo custo com Arduino, no processo de reconstrução conceitual da termodinâmica. Como objetivos busca-se:

1.1 Objetivo Geral

Elaborar uma sequência didática utilizando metodologias ativas por investigação e experimental, adaptada aos conhecimentos prévios dos alunos e fundamentada nos conceitos de socio - construtivismo de Lev Vygotsky, empregando vasos de cerâmica para demonstrar um sistema de refrigeração sem eletricidade.

Utilizando materiais alternativos para explicação do processo de evaporação por meio de diferentes fluidos, integre a plataforma Arduino para medir a temperatura do sistema e aborde, de forma contextualizada, os conceitos de calor, temperatura e evaporação.

1.2 Objetivos Específicos

- i. Promover o desenvolvimento de habilidades investigativas e experimentais nos estudantes;
- ii. Aplicar uma sequência didática envolvendo práticas laboratoriais mediadas pela tecnologia;
- iii. Utilizar sensores de temperatura integrados à plataforma Arduino para a coleta de evidências físicas;
- iv. Analisar a capacidade de interpretação de dados científicos pelos alunos durante a atividade;
- v. Explorar a construção dos conceitos de calor, temperatura e evaporação sob a ótica da mediação instrumental.
- vi. Propor um Guia Didático fundamentado nos resultados observados, servindo como recurso de apoio ao ensino de Física por investigação.

Esta dissertação organiza-se em oito capítulos que articulam o referencial teórico, o percurso metodológico e a análise dos dados, culminando na apresentação do produto educacional. A estrutura do trabalho detalha-se da seguinte forma:

O Capítulo 1, introdução, contextualiza o estudo, apresenta o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa, oferecendo ao leitor uma visão geral da investigação desenvolvida.

O Capítulo 2 é dedicado fundamentação teórica e à revisão de literatura, ancorada na perspectiva histórico-cultural de Lev Vygotsky, a qual compreende a aprendizagem como um processo essencialmente social, mediado por instrumentos e signos culturalmente construídos. Nesse capítulo, são discutidos os conceitos de mediação, linguagem, zona de desenvolvimento proximal e a distinção entre conceitos espontâneos e científicos, evidenciando o papel da escola e da atuação docente na sistematização do conhecimento científico, especialmente no ensino de física.

O Capítulo 3 apresenta os fundamentos da termodinâmica e da transferência de calor aplicados ao projeto. São abordados os conceitos de temperatura, escalas termométricas e calor, bem como os processos de mudança de fase, com ênfase no calor latente e na taxa de evaporação. O capítulo também discute os mecanismos de condução, convecção e irradiação, fundamentados nas leis de Fourier, na Lei de Resfriamento de Newton e na Lei de Stefan-Boltzmann, encerrando-se com o balanço de energia do protótipo.

O Capítulo 4 descreve a metodologia de aplicação do produto educacional, estruturada em três etapas: diagnóstico inicial e diagnóstico final por meio de questionário, intervenção pedagógica com aula contextualizada e experimentação prática utilizando protótipos e a plataforma Arduino. São apresentados os instrumentos de coleta de dados e os materiais empregados na experimentação.

O Capítulo 5 aborda a aplicação da sequência didática e a discussão dos resultados gerais, por meio de uma análise comparativa entre os dados do pré-teste e do pós-teste, visando avaliar o avanço conceitual dos estudantes.

O Capítulo 6 apresenta -se uma análise aprofundada de aulas-chave da intervenção, com destaque para a Aula 5, dedicada ao desenvolvimento do protótipo, examinando as interações entre os alunos e os processos de construção do conhecimento.

O Capítulo 7 é destinado à apresentação da versão final do produto educacional, revisada e aprimorada a partir dos dados e reflexões obtidos durante sua aplicação, consolidando-o como uma ferramenta pedagógica validada.

Por fim, o capítulo 8, Considerações finais, retoma os objetivos da pesquisa, sintetiza as principais conclusões, discute as implicações pedagógicas do estudo, apresenta suas limitações e aponta possibilidades para trabalhos futuros

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensino de Física nas escolas se depara com uma série de desafios, como a apatia dos estudantes pela disciplina, a complexidade na interpretação de conceitos, a deficiência em conhecimentos matemáticos básicos, a dificuldade em estabelecer conexões entre a física e o cotidiano e a escassez de docentes qualificados para inovar e estimular o aprendizado são alguns dos entraves que dificultam o processo de ensino e aprendizagem.

Segundo Ribeiro (2022), as dificuldades no ensino de física podem estar relacionadas à falta de base matemática dos estudantes, a problemas na formação dos professores e à falta de contato com conceitos básicos de física no ensino fundamental. Poucos professores participam de programas de formação ou atualização, o que é preocupante. Nesse contexto, a baixa adesão dos professores a programas de atualização e formação continuada é percebida como um fator limitante. Embora a educação nas universidades seja focada no conhecimento, a ausência de formação permanente a torna insuficiente para as demandas atuais, levando muitos docentes a basearem suas metodologias em práticas tradicionais.

Mas em que momento começam as dificuldades dos alunos com a física? Embora a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabeleça que conceitos de Física devam ser trabalhados de forma progressiva ao longo de todo o Ensino Fundamental II — integrados à unidade temática 'Matéria e Energia' a realidade prática ainda apresenta desafios. No cenário de Mato Grosso do Sul, observa-se um distanciamento entre as competências previstas no Currículo de Referência de MS e a efetiva transposição didática em sala de aula. Frequentemente, esses conteúdos acabam sendo abordados de maneira superficial e são ministrados na maioria das vezes por profissionais com formação em Ciências Biológicas que, apesar do esforço pedagógico, enfrentam a carência de recursos experimentais e as persistentes deficiências de base matemática dos estudantes, fatores que consolidam as primeiras barreiras no aprendizado da Física.

Além disso, no ensino básico, há a falta de materiais e a ausência de laboratórios, o que limita o ensino à abordagem teórica no quadro. Isto contribui para a percepção, por parte dos estudantes, que passam acreditar que a física é feita apenas de fórmulas, dificultando a construção de uma aprendizagem significativa

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), os estudantes devem desenvolver habilidades de investigação científica desde o ensino fundamental o desenvolvimento linguagem para desempenhar um papel central no aprendizado, pois é por meio dela que os estudantes constroem e ressignificam seus conhecimentos. A

difficuldade dos alunos em interpretar conceitos físicos pode estar ligada à falta de familiaridade com a linguagem científica, que difere significativamente da linguagem do cotidiano. Sob essa ótica, Carvalho (2013) argumenta que o ensino de ciências deve proporcionar condições para que o aluno transite do conhecimento espontâneo para o científico, adquirindo a linguagem específica da área como uma ferramenta necessária para a construção de novos conhecimentos. Dessa forma, a mediação docente torna-se essencial para ajudar o estudante a 'traduzir' os fenômenos observados em conceitos estruturados (Carvalho, 2013, p. 9).

Para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa, é necessário que o professor atue como mediador, auxiliando os alunos a fazer essa transição por meio de interações que possibilitem a apropriação dos conceitos científicos.

Para operacionalizar essa transição linguística e conceitual, a BNCC (2018) enfatiza a adoção de metodologias ativas que promovam o protagonismo estudantil por meio da investigação e experimentação. Ao organizar conteúdo como matéria e energia que englobam propriedades físicas e mudanças de estado o documento norteador sinaliza que o ensino não deve ser passivo. Portanto, a utilização do Arduino nesta pesquisa não é apenas uma escolha tecnológica, mas uma resposta direta às diretrizes da BNCC, que recomenda a resolução de problemas e práticas colaborativas como estratégias para que o aluno deixe de ser um objeto passivo e se torne sujeito ativo de seu aprendizado.

Isso contribui para a percepção dos estudantes de que física se resume apenas em fórmulas, dificultando a construção de um aprendizado significativo. Os autores pontuam que:

No ensino de Física, os conceitos desempenham papel transcendental, sendo indispensáveis para o desenvolvimento do pensamento lógico e crítico. A Física não se limita ao aprendizado de fórmulas; ela constrói um entendimento mais amplo do mundo, favorecendo a análise e a solução de problemas complexos. (Camico, Gomes e Nicot, p. 2, 2025).

Além disso, as dificuldades iniciais e a abordagem superficial da física no ensino fundamental impactam diretamente o desempenho dos alunos no ensino médio. Muitos estudantes enfrentam três anos com grandes desafios pois chegam no ensino médio com pouca bagagem conceitual e encontram muitas dificuldades em realizar os cálculos matemáticos comprometendo a compreensão de fenômenos físicos mais complexos. Essas dificuldades se refletem nas avaliações externas, como vestibulares e o Exame Nacional do Ensino Médio ENEM, onde o desempenho de física é dos mais baixos. Diante desses, desafios a formação continuada dos professores torna-se essencial para transformar o ensino de Física.

Segundo Ferreira (2023), os profissionais da educação precisam de capacitação que possibilite uma nova abordagem no cotidiano escolar, tornando o aprendizado mais interativo

e significativo. O professor deve atuar como mediador, auxiliando os alunos na construção do conhecimento, e não apenas como transmissor de informações. A maneira como os estudantes são orientados hoje influencia sua relação com o conhecimento no futuro.

Segundo Vygotsky, o aprendizado ocorre por meio de interação social e do papel mediador do professor, que auxilia os alunos a avançarem em sua zona de desenvolvimento proximal. Como o autor destaca, o que a criança consegue fazer hoje com ajuda, conseguirá fazer sozinho amanhã (Oliveira 93 p. 60). Isso significa que, ao propor desafios e problemas contextualizados, os docentes possibilitam que os estudantes construam novos conhecimentos a partir de seus saberes prévios. Dessa forma, a experimentação em sala de aula não apenas facilita a compreensão dos conceitos, mas também estimula o desenvolvimento do pensamento crítico e da autonomia dos alunos no processo de aprendizagem.

Vygotsky sugere que o desenvolvimento do indivíduo ocorre com a interação social, destacando a importância da mediação do conhecimento. A relação professor-aluno, mediada por artefatos culturais como a linguagem é central em sua teoria. Esses artefatos não apenas facilitam, mas transformam o processo cognitivo, modificando o funcionamento mental. Essa perspectiva demonstra que o uso de recursos culturais, como ferramentas de comunicação e simbolismo, é fundamental para o aprendizado, influenciando diretamente a dinâmica do ensino e a construção do conhecimento. Nesse contexto, metodologias que incentivem a participação ativa dos alunos são essenciais para promover um aprendizado mais significativo.

Segundo Carvalho (2013), propor um problema para que os alunos possam resolvê-lo constitui um divisor de águas entre o ensino expositivo, centrado no professor, e uma prática pedagógica que favorece a construção ativa do conhecimento. Essa abordagem possibilita que os estudantes desenvolvam autonomia intelectual, aprofundem a compreensão de conceitos físicos em contextos reais e reduzam a percepção de que a disciplina se limita à memorização de fórmulas.

O desenvolvimento da linguagem em sala de aula é um dos principais instrumentos culturais na perspectiva de Vygotsky. A linguagem não apenas facilita a interação entre professor e aluno, mas também transforma a mente dos estudantes, possibilitando novas formas de pensamento. A interação social no ambiente escolar envolve não apenas a comunicação com o professor, mas também com conteúdo, problemas e valores culturais. Nesse contexto, a linguagem é essencial para a mediação do conhecimento que permite o aluno participar ativamente na construção do saber com a orientação de um adulto ou colaboração dos colegas.

Segundo essa teoria, o nível de desenvolvimento real é aquele que o indivíduo já consolidou, permitindo-lhe resolver situações de forma autônoma. De acordo com Vygotsky, “o nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal o caracteriza prospectivamente” (Vygotsky, 1991, p.58). E sinalizando as funções que estão em processo de maturação, o nível de desenvolvimento potencial revela a capacidade de aprendizagem que o estudante pode alcançar por meio da mediação e do suporte adequado, seja do professor, de pares mais experientes ou de ferramentas tecnológicas

Assim, o nível de desenvolvimento real é dinâmico e se expande à medida que o aprendiz avança, à medida que o aluno enfrenta novos desafios e recebe a mediação necessária.

Carvalho afirma em 2013 que, “esse é um conceito que, apesar de complexo, forneceu orientações para o desenvolvimento do ensino e trouxe também explicações do porquê algumas ações davam certo no dia a dia na sala de aula e outras não” (Carvalho 2013, p. 5).

Uma prática comum já utilizada pelos professores é o trabalho em grupo. Dentro do conceito de ZDP, é possível entender porque os alunos se sentem mais à vontade nessas atividades. Quando estão na mesma zona de desenvolvimento real, eles se compreendem melhor, muitas vezes mais do que com o professor. “O professor atua como um orientador, elaborando questões que guiarão seus alunos, potencializando a construção de novos saberes” (Carvalho, 2013, p. 5). Ele também destaca a importância dos conceitos espontâneos dos alunos, conhecidos como conceitos intuitivos ou cotidianos, que o construtivismo valoriza ao trazê-los para a sala de aula. Segundo Vygotsky (1998), a aprendizagem ocorre dentro da ZDP, que descreve a diferença entre o que um aluno pode fazer sozinho e com a ajuda de um mentor, com o suporte sendo gradualmente retirado à medida que o aluno avança.

Segundo Chaiklin (2011, p. 661), “uma questão relacionada é quais tipos de tarefas encerram uma zona de desenvolvimento próximo. Normalmente, assume-se que a zona de desenvolvimento próximo é aplicável a qualquer tipo de tarefa de aprendizagem”. Sob essa ótica, o trabalho pedagógico no ensino de física não deve se restringir à repetição de fórmulas, mas focar em atividades que promovam o desenvolvimento do aluno, valorizando seu potencial. A escola deve estar atenta aos alunos, valorizando seus conhecimentos prévios e utilizando-os como base para o ensino. Essa perspectiva implica em criar oportunidades para que os alunos superem suas limitações e avancem em seu aprendizado e desenvolvimento.

Segundo Coelho e Pisoni (2012), para que o professor possa realizar um bom trabalho, ele precisa conhecer seu aluno, suas descobertas, hipóteses, crenças e opiniões. Ao criar

situações em que o aluno possa expor o que sabe, o educador facilita o desenvolvimento da autonomia e o despertar do interesse para novos conhecimentos. Essa mediação deve ser realizada de forma estratégica, criando um ambiente de aprendizado prazeroso (Oliveira, Marinho e Brandão, 2019).

Vygotsky (1991, p.53), defende que o “aprendizado humano pressupõe uma natureza social específica e um processo através do qual a criança se insere na vida intelectual daqueles que o cercam”. Ao discutir a relação entre o ensino e o desenvolvimento cognitivo é analisado criticamente a visão de que “o aprendizado é considerado um processo puramente externo que não está envolvido ativamente no desenvolvimento”. Segundo essa perspectiva equivocada, o aprendizado seria apenas um acessório, pois se admitia que:

Em estudos experimentais sobre o desenvolvimento do ato de pensar em crianças em idade escolar, tem-se admitido que processos como dedução, compreensão, evolução das noções de mundo, interpretação da causalidade física, o domínio das formas lógicas de pensamento e o domínio da lógica abstrata ocorrem todos por si mesmos, sem qualquer influência do aprendizado escolar (Vygotsky, 1991, p. 53).

Contrariando essa visão passiva e espontaneísta, a presente pesquisa defende que o aprendizado de conceitos físicos não ocorre de forma automática ou isolada. O ensino de termodinâmica, quando mediado por ferramentas tecnológicas como o Arduino, atua justamente como o motor que impulsiona o desenvolvimento das funções psíquicas superiores. Ao compartilhar o conhecimento de forma significativa, o indivíduo deixa de apenas reagir ao mundo e passa a interpretá-lo criticamente, transformando-se em um sujeito ativo capaz de utilizar a resolução de problemas para construir seu próprio saber.

Quando o conhecimento é compartilhado de forma significativa, o indivíduo se torna mais crítico e capaz de interpretar e representar o mundo, em vez de apenas reagir a ele. Essa perspectiva sócio – interacionista destaca a importância do desenvolvimento de processos psicológicos superiores, como a resolução de problemas, tomada de decisões e compreensão, tornando o aluno sujeito ativo e não um objeto passivo de aprendizado.

Essa discussão permanece relevante na busca por metodologias mais adequadas à sociedade contemporânea.

O ensino básico tem passado por várias alterações na tentativa de adotar novas metodologias que tornem o ensino mais atrativo e eficaz. No entanto, a física ainda é ensinada de forma tradicional em muitas escolas. Segundo Lima (2019), essa persistência no método tradicional muitas vezes é agravada pela falta de laboratórios estruturados, o que torna o uso de

materiais de baixo custo e propostas investigativas ferramentas essenciais para a democratização do saber científico.

Para que as mudanças sejam realmente eficazes, é necessário adotar novas estratégias de ensino. Lima (2019) afirma que a educação se deve formar indivíduo para o trabalho, para a vida em sociedade, e aprender ciências não é apenas uma mudança conceitual, mas também uma mudança atitudinal. Desta forma, não basta que o currículo passe por alterações é essencial que os professores recebam formação para atualizar suas práticas pedagógicas e compreender os aspectos específicos que vão além do conteúdo a ser ensinado.

Nesse contexto, as recentes reformas curriculares, que incluem a adoção de novas bases curriculares e a implementação de tecnologias em sala de aula, exigem uma atualização constante dos professores. No entanto, a falta de investimento em formação continuada impede que esses profissionais acompanhem as mudanças e as implementem de forma eficaz.

Assim, a educação deve preparar os indivíduos para o mundo do trabalho e para a vida em sociedade, o que exige não apenas a aquisição de novos conhecimentos, mas também o desenvolvimento de habilidades e atitudes. Nesse contexto, a simples atualização do currículo não é suficiente para atender às demandas contemporâneas do ensino. Torna-se fundamental que os professores participem de programas de formação continuada que os capacitem a lidar com essas novas exigências, aprofundando seus conhecimentos sobre os conteúdos, desenvolvendo metodologias inovadoras e compreendendo os aspectos socioculturais e pedagógicos que permeiam o processo de ensino-aprendizagem. A ausência de formação continuada pode resultar na resistência dos docentes às mudanças, na manutenção de práticas pedagógicas ultrapassadas e, conseqüentemente, na desmotivação dos alunos. Para superar esse desafio, é imprescindível investir em programas de formação continuada de qualidade, acessíveis a todos os professores e que promovam oportunidades de atualização permanente.

Nas discussões educacionais, que trazem o aluno como protagonista da construção do saber e que sobre a construção do conhecimento, esse seja realizado de diversas maneiras, com caminhos desafiadores e efetivos para o desenvolvimento cognitivo dela. Surgem assim as discussões das metodologias ativas, que oportunizam um novo caminho de aprendizagem, que possibilita o aluno desafiar seus próprios limites e potencializar suas competências e habilidades (Neto et.al. 2023, pg. 142).

Vasconcelos et al. (2018) afirmam: que essas metodologias, ao promoverem a interação, a autonomia e a coletividade, instigam os alunos a assumirem um papel ativo no processo de educação. Com as novas metodologias ativas, o professor deixa de ser o único detentor do

conhecimento e promove o aluno a assumir um papel ativo e participativo no processo de aprendizagem, tornando-se, assim, um aprendiz no processo educativo.

Diversos estudiosos têm discutido sobre a necessidade de romper com a educação tradicional e promover novas metodologias ativas e práticas de ensino e aprendizagem. A linguagem científica também está relacionada ao conhecimento adquirido em sala de aula, pois o aprendizado é um processo contínuo que ocorre através da interação social. É crucial considerar os erros dos alunos para que eles possam compreender e distinguir o senso comum da linguagem científica.

A interação social pode ocorrer de várias formas e o processo de ensinar ou aprender envolve a troca de conhecimentos entre professor e alunos.

Essa constatação reforça a relevância de práticas pedagógicas que integrem mediação, linguagem e experimentação como elementos centrais do processo de ensino-aprendizagem, uma vez que, conforme evidenciado por Evangelista e Chaves (2019), a utilização de instrumentos e signos associados a uma linguagem acessível favorece a motivação, o engajamento e a participação ativa dos estudantes, potencializando a construção de significados no ensino de Física. E reforça a relevância de práticas pedagógicas que articulem mediação, linguagem e experimentação como elementos centrais do processo de ensino-aprendizagem, especialmente no ensino de física.

Nesse sentido, Gaspar e Monteiro (2016) apontam que as atividades experimentais em sala de aula, embora realizadas em laboratórios tradicionais e em grupos, sob a supervisão do professor, ainda apresentam dificuldades para os estudantes. No entanto, os autores destacam alguns aspectos positivos dessa prática, como a possibilidade de utilizar um único equipamento para demonstrar um fenômeno, eliminando a necessidade de um laboratório completo. Além disso, essas atividades podem ser integradas às aulas teóricas, sem interromper o fluxo da explicação conceitual. Talvez o fator mais relevante seja a capacidade das atividades experimentais de despertar o interesse e a curiosidade dos alunos, o que, por sua vez, pode favorecer uma aprendizagem mais significativa.

Com o objetivo de complementar o ensino por meio de novas metodologias ativas, foi realizada uma análise de diversos artigos e sequências didáticas para desenvolver uma proposta de ensino de física utilizando o Arduino. Esta abordagem está fundamentada no construtivismo, especialmente na teoria de Vygotsky, que destacam o aprendizado como um processo de construção colaborativa, no qual o indivíduo aprende por meio da interação social.

Silva, Loiola e Oliveira (2024, p.5) afirmam: “Na teoria de mediação de Vygotsky, o trabalho em equipe contribui para o desenvolvimento do parceiro menos capaz dentro de cada equipe e o professor atua como mediador de todos.” Nessas perspectivas, ao refletir sobre o futuro das relações entre a educação e as tecnologias no Brasil.

Assis (2012) destaca a importância da democratização do acesso às tecnologias, discutindo questões que envolvem a democratização do acesso às tecnologias digitais, como é o exemplo dos *softwares* livres que “dão origem a comunidades para o desenvolvimento partilhado de programas, objetos de aprendizagem, bibliotecas virtuais e arquivos temáticos em todas as áreas do conhecimento, para o uso nas mais diferentes situações, incluindo o ensino” (Kensi, apud Assis, 2012, p. 124).

Entretanto, o simples acesso ou disponibilização de tecnologias digitais não assegura, por si só, a construção de aprendizagens significativas, sendo necessária uma mediação pedagógica intencional que oriente o uso desses recursos no contexto educacional.

Contudo, integrar novas tecnologias à sua prática docente não garante um aprendizado significativo por si só – desde que sejam estabelecidas como único ingrediente do processo educativo faz-se necessário que o professor reavalie seu papel como educador quanto à correta interpretação dos recursos midiáticos não como fator preponderante no processo educativo, porém como ferramenta potencial de aprendizagem (Lima Junior, 2019 p. 9).

Vygotsky (2001) observa que as condições artificiais da análise experimental constituem o processo de desenvolvimento dos conceitos em sua sequência lógica e, por isso, se desviam inevitavelmente do processo real de desenvolvimento desses conceitos. Isso significa que o desenvolvimento dos conceitos científicos deve ser contextualizado e articulado ao processo natural e social de aprendizagem dos alunos, evitando abordagens que distorçam ou simplifiquem excessivamente a construção conceitual. Ao mencionar as “condições artificiais da análise experimental”, o autor critica práticas experimentais e métodos de ensino que fragmentam ou descontextualizam o processo de aprendizagem, defendendo que a formação de conceitos ocorre de maneira mais efetiva quando o ensino respeita e apoia o desenvolvimento social e histórico do sujeito, em vez de impor procedimentos artificiais ou descolados da realidade do aluno.

2.1 Revisão de Literatura sobre o Ensino de Termodinâmica com Tecnologias Digitais e Metodologias Investigativas

A presente revisão de literatura teve como objetivo identificar e analisar produções acadêmicas relacionadas ao ensino de termodinâmica no ensino médio, com ênfase na

utilização de tecnologias digitais, especialmente a plataforma Arduino, articuladas a metodologias investigativas e fundamentadas na perspectiva histórico-cultural.

A busca bibliográfica concentrou-se em prioritariamente em publicações no período de 2014 a 2024, contemplando produções recentes sobre o tema, sem desconsiderar trabalhos clássicos da área que estruturam o campo do ensino de ciências e da perspectiva histórico-cultural. Foram realizadas no portal de periódicos da CAPES, Scielo, Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Investigações em Ensino de Ciências e anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e do Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física (EPEF) e do Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física (EPEF). Como critérios de inclusão, foram considerados: A aplicação dos critérios de busca e seleção resultou em um *corpus* bibliográfico composto por 79 referências, organizadas conforme o levantamento quantitativo apresentado a seguir:

- **Artigos em periódicos científicos:** 31 publicações, com destaque para revistas especializadas em Ensino de Física e Educação em Ciências;
- **Livros e capítulos de livro:** 23 obras, abrangendo desde os referenciais teóricos da Teoria Histórico-Cultural até manuais técnicos de Termodinâmica e instrumentação com Arduino;
- **Trabalhos em anais de eventos:** 06 publicações selecionadas de congressos nacionais de grande relevância na área (SNEF e EPEF);
- **Trabalhos acadêmicos (teses, dissertações e TCCs):** 06 produções, sendo a maioria oriunda de outros polos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), focadas em produtos educacionais;
- **Manuais técnicos e recursos digitais:** 11 referências, incluindo documentação oficial da plataforma Arduino e guias de software para análise de dados;
- **Documentos oficiais e normativos:** 02 documentos (BNCC e orientações curriculares do MEC).

Essa amostragem reflete o estado da arte atual sobre o uso de tecnologias de baixo custo no ensino de fenômenos térmicos, servindo como base sólida para o desenvolvimento e a implementação do produto educacional proposto nesta dissertação.

- i. trabalhos voltados ao ensino médio;
- ii. pesquisas que abordassem conceitos de termodinâmica;

- iii. estudos que utilizassem tecnologias digitais como recurso didático;
- iv. pesquisas fundamentadas em metodologias investigativas ou abordagens socioconstrutivistas;

Foram incluídos estudos exclusivamente teóricos sem aplicação educacional, bem como pesquisas voltadas ao ensino superior sem interface direta com a educação básica. Os resultados evidenciam que as dificuldades na aprendizagem de conceitos termodinâmicos permanecem recorrentes, especialmente no que se refere à distinção entre calor e temperatura e à compreensão dos processos de evaporação. Diversos estudos apontam que abordagens predominantemente expositivas tendem a reforçar concepções alternativas e dificuldades conceituais.

No que se refere à experimentação, pesquisas recentes indicam que atividades práticas contribuem significativamente para a visualização de fenômenos físicos e para o engajamento discente. Entretanto, conforme discutido por Araújo e Abib (2003), quando as atividades experimentais não estão articuladas a objetivos conceituais claros, podem resultar em fragmentação do conhecimento, limitando sua efetividade pedagógica.

A incorporação do Arduino no ensino de Física tem sido apresentada como estratégia promissora para a coleta automatizada de dados e visualização em tempo real de grandezas físicas. Estudos como os de Silva e Lira (2022) e Bezerra (2024) indicam que a utilização da plataforma favorece o protagonismo estudantil, especialmente quando associada ao trabalho colaborativo. No entanto, Lima Junior (2019) ressalta que o uso isolado da tecnologia não garante aprendizagem significativa, sendo necessária mediação pedagógica intencional. Observa-se que parte significativa das pesquisas com Arduino no ensino de Física concentra-se em conteúdo de eletrodinâmica e circuitos elétricos, havendo menor incidência de estudos voltados especificamente à termodinâmica com coleta automatizada de dados em processos de evaporação ou sistemas de refrigeração alternativos. No campo das metodologias investigativas, Carvalho (2013) destaca que a proposição de problemas estruturantes constitui elemento central para promover aprendizagem ativa. Contudo, nem sempre as propostas tecnológicas são integradas de forma sistemática à investigação orientada, o que pode reduzir seu potencial formativo. Sob a perspectiva histórico-cultural, a literatura evidencia que a mediação pedagógica e o uso de instrumentos culturais desempenham papel fundamental na

transformação de conceitos espontâneos em conceitos científicos. Entretanto, verifica-se que ainda são escassos os estudos que articulam simultaneamente:

- a) ensino de termodinâmica;
- b) utilização do Arduino para coleta e análise de dados térmicos;
- c) metodologia investigativa estruturada;
- d) fundamentação explícita na teoria histórico-cultural de Vygotsky.

Essa lacuna evidencia a necessidade de propostas didáticas que integrem tecnologia, investigação orientada e mediação pedagógica fundamentada teoricamente, promovendo a articulação entre experimentação, linguagem científica e construção conceitual. Nesse contexto, o presente estudo insere-se como contribuição ao propor uma sequência didática investigativa mediada por um sistema experimental com Arduino, aplicada ao estudo de calor, temperatura e evaporação no ensino médio, articulando instrumentos tecnológicos e fundamentos da teoria histórico-cultural.

2.2 A Perspectiva Sociocultural de Lev Vygotsky e a Mediação

A teoria histórico-cultural proposta por Lev Vygotsky compreende a aprendizagem como um fenômeno essencialmente social e mediador. Conforme a literatura da Didática das Ciências, a experimentação é um elemento crucial para o desenvolvimento do pensamento investigativo e da alfabetização científica (Carvalho, 2013). O conjunto dos achados evidencia que a aprendizagem ocorre não apenas por meio da obtenção dos dados numéricos, mas principalmente pela interação social e pela experiência compartilhada, aspectos centrais da abordagem histórico-cultural de Vygotsky (Vygotsky, 2007; Rego, 2019).

A base teórica deste trabalho sustenta-se na compreensão de que a aprendizagem não se configura como um processo de acumulação passiva de informações, mas como uma construção mediada, histórica e social. Sob a perspectiva sociocultural de Lev Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio das interações sociais e da mediação simbólica, sendo a linguagem o principal instrumento responsável pela transformação das funções psicológicas elementares em processos psicológicos superiores.

2.3 Processos Psicológicos Superiores

Vygotsky (2001) afirma que os processos psicológicos superiores correspondem às formas de funcionamento mental mediadas socialmente, tais como o pensamento conceitual, a memória lógica e a atenção voluntária, que se desenvolvem por meio da interação social e do uso de instrumentos culturais.

Ao propor essa concepção, o autor, buscou uma abordagem abrangente que possibilitasse a descrição e a explicação das funções psicológicas superiores, em termos aceitáveis para as ciências naturais. Para Vygotsky, essa explicação tinha o significado de uma grande tarefa. Ela deveria incluir a identificação dos mecanismos cerebrais subjacentes a uma determinada função; a explicação detalhada da sua história ao longo do desenvolvimento, com o objetivo de estabelecer as relações entre formas simples e complexas daquilo que aparentava ser o mesmo comportamento; e, de forma importante, deveria incluir a especificação do contexto e social em que se deu o desenvolvimento do comportamento (Vygotsky, 2001, p. 9).

Nesse contexto, a atuação docente e o uso de recursos tecnológicos assumem papel central. Conforme aponta (Kensi apud Assis, 2012), os instrumentos tecnológicos podem potencializar a mediação pedagógica quando intencionalmente integrados à prática docente. No ensino de Física, essa mediação é fundamental para transpor o abismo entre a percepção comum e o conceito científico. Assim, ao considerar que os processos psicológicos superiores se desenvolvem por meio da mediação social e cultural, torna-se necessário compreender como os estudantes constroem seus conceitos a partir das experiências cotidianas e como esses conceitos podem ser transformados em conhecimentos científicos sistematizados, temática abordada no tópico seguinte.

2.4 Conceitos Espontâneos e Científicos

Vygotsky (2001), destaca que o desenvolvimento dos conceitos científicos na idade escolar constitui uma questão central tanto do ponto de vista prático quanto teórico. Para o autor, compreender como esses conceitos se formam é essencial para revelar as leis mais profundas do desenvolvimento do pensamento infantil.

A relação dos conceitos científicos com a experiência pessoal da criança é diferente da relação dos conceitos espontâneos. Eles surgem e se constituem no processo de aprendizagem escolar por via inteiramente diferente que no processo de experiência pessoal da criança. As motivações internas, que levam a criança a formar conceitos científicos, também são inteiramente distintas daquelas que levam o pensamento infantil à formação de conceitos espontâneos. Outras tarefas surgem diante do pensamento da criança no processo de assimilação dos conceitos na escola, mesmo quando o pensamento está entregue a si mesmo. [...] considerações igualmente empíricas nos levam a reconhecer que a força e a fraqueza dos conceitos espontâneos e científicos no aluno escolar são inteiramente diversas: naquilo em que os conceitos científicos são fortes os espontâneos

são fracos, e vice-versa, a força dos conceitos espontâneos acaba sendo a fraqueza dos científicos (Vygotsky, 2001, p. 263).

Diferentemente da concepção de que os conceitos científicos seriam simplesmente transmitidos de forma pronta ao aluno modelo este pautado no ensino tradicional e na racionalidade técnica, onde o conhecimento é visto como um objeto estático e o professor como um mero técnico executor de currículos Vygotsky defende que eles se desenvolvem ao longo do processo educativo.

Nessa perspectiva, os professores são responsáveis por mediar a aprendizagem autodirigida dos alunos e as metas estabelecidas para cada série de ensino. Outro fator de grande relevância é que as interações sociais serão otimizadas, pois a partir do momento em que os alunos se sentirem motivados pelo que estão aprendendo, também estarão motivados a compartilhar suas novas descobertas com os colegas (Guimarães; Silva; Figueiredo, 2024, p. 18).

A partir de investigações experimentais, o autor demonstra que os conceitos científicos percorrem uma via de desenvolvimento distinta da dos conceitos espontâneos, embora ambos se influenciem mutuamente. Enquanto os conceitos espontâneos apresentam fragilidades relacionadas à abstração e à generalização consciente, os conceitos científicos podem apresentar riscos de verbalismo quando não adequadamente concretizados. Nesse sentido, o ensino escolar, entendido como uma forma de colaboração sistemática entre o adulto e a criança, favorece o amadurecimento das funções psicológicas superiores e possibilita que os conceitos científicos atuem como propedêuticos ao desenvolvimento dos conceitos espontâneos.

O autor ressalta ainda que os conceitos não são assimilados por mera memorização, mas constituem atos complexos de pensamento que envolvem processos como abstração, comparação e generalização. Assim, o ensino direto de conceitos, baseado apenas na transmissão verbal, revela-se pedagogicamente ineficaz, pois conduz ao verbalismo e à aprendizagem superficial. A construção efetiva dos conceitos científicos exige, portanto, mediação intencional, situações problematizadoras e participação ativa do estudante no processo de aprendizagem. (Vygotsky, 2001).

Essa compreensão acera da interação social entre conceitos espontâneos e científicos fundamenta a noção de zona de desenvolvimento proximal, na qual a mediação docente e os instrumentos culturais assumem papel decisivo no avanço do pensamento do estudante.

2.5 Zona de Desenvolvimento Proximal

A zona de desenvolvimento proximal ZDP constitui um dos conceitos centrais da teoria histórico-cultural de Lev Vygotsky, ao estabelecer uma compreensão dinâmica da relação entre aprendizagem e desenvolvimento. Para o autor, o desenvolvimento cognitivo não deve ser analisado apenas a partir das capacidades já consolidadas do estudante, mas também considerando aquelas que estão em processo de formação e que podem ser mobilizadas por meio da interação social e da mediação pedagógica. Nesse sentido, Vygotsky afirma que “o estado de desenvolvimento mental de uma criança só pode ser determinado se forem revelados os seus dois níveis: o nível de desenvolvimento real e a zona de desenvolvimento proximal” (Vygotsky, 2001, p. 58). A seguir, são apresentados esses níveis e o papel da mediação no processo de aprendizagem.

2.5.1 Nível de desenvolvimento real

O nível de desenvolvimento real refere-se às habilidades e funções psicológicas que o estudante já é capaz de mobilizar de forma autônoma, sem o auxílio de um mediador externo. De acordo com Vygotsky (2001), esse nível expressa os resultados de ciclos de desenvolvimento já concluídos, correspondendo às funções mentais que atingiram determinado grau de maturação. Tradicionalmente, é esse nível que costuma ser avaliado por meio de testes e atividades que exigem a resolução independente de problemas. No contexto educacional, o nível de desenvolvimento real representa o ponto de partida do processo de ensino, pois indica os conhecimentos e operações mentais já internalizados pelo aluno.

O nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente. [...]completados, mas as dinâmicas de desenvolvimento das duas eram completamente diferentes. O estado de desenvolvimento mental de uma criança só pode ser determinado se forem revelados os seus dois níveis: o nível de desenvolvimento real e a zona de desenvolvimento proximal (Vygotsky, 2001, p.58)

No entanto, Vygotsky adverte que a análise exclusiva desse nível fornece apenas uma visão retrospectiva do desenvolvimento, limitada ao que o estudante já é capaz de realizar sozinho. Para o autor, compreender o desenvolvimento exige ir além desse patamar, considerando também as potencialidades que emergem nas situações de aprendizagem mediadas.

2.5.2 Nível de desenvolvimento potencial

O nível de desenvolvimento potencial refere-se às capacidades que o estudante ainda não consegue mobilizar de forma autônoma, mas que podem emergir quando ele atua com o apoio de um mediador mais experiente, seja um adulto, um professor ou colegas mais capazes. Segundo Vygotsky (2001), esse nível revela as funções psicológicas que se encontram em processo de maturação, funcionando como indicadores do desenvolvimento futuro do aluno.

Diferentemente do nível de desenvolvimento real, que expressa os resultados já consolidados do desenvolvimento, o nível de desenvolvimento potencial permite uma compreensão prospectiva do desenvolvimento cognitivo, ao evidenciar aquilo que o estudante pode vir a realizar de forma independente posteriormente.

A zona de desenvolvimento proximal pode, portanto, tornar-se um conceito poderoso nas pesquisas do desenvolvimento, conceito este que pode aumentar de forma acentuada a eficiência e a utilidade da aplicação de métodos diagnósticos do desenvolvimento mental a problemas educacionais. Segundo Vygotsky, a zona de desenvolvimento proximal é "a distância entre o nível real (da criança) de desenvolvimento determinado pela resolução de problemas independentemente e o nível de desenvolvimento potencial determinado pela resolução de problemas sob orientação de adultos ou em colaboração com companheiros mais capacitados (Vygotsky, 2001. p.59).

Nesse sentido, a aprendizagem mediada assume papel central, pois é por meio da colaboração, da orientação e do uso de instrumentos culturais que o aluno amplia suas possibilidades de ação e pensamento, transformando potencialidades em conquistas efetivas.

2.5.3 Mediação pedagógica e instrumentos culturais

Na perspectiva histórico-cultural de Vygotsky, a mediação pedagógica ocupa papel central no processo de aprendizagem e desenvolvimento, uma vez que as funções psicológicas superiores não se desenvolvem de forma direta ou espontânea, mas por meio da interação social mediada por instrumentos e signos culturalmente produzidos. O autor compreende que o acesso ao conhecimento ocorre a partir da atuação de um mediador geralmente o professor ou colegas mais experientes que organiza, orienta e atribui significado às atividades desenvolvidas pelo estudante.

Segundo Moreira (1999), o desenvolvimento humano não ocorre de forma isolada, mas por meio de interações sociais mediadas por instrumentos e signos, os quais viabilizam a construção do pensamento e da aprendizagem. Essa perspectiva está alinhada à teoria histórico-cultural de Vygotsky, que concebe a mediação como um processo pelo qual o sujeito se relaciona com o mundo por meio de sinais e ferramentas socialmente construídos, como a linguagem, ampliando sua atividade e seu desenvolvimento cognitivo.

Os instrumentos culturais, nesse contexto, não se limitam a objetos materiais, mas incluem também sistemas simbólicos, como a linguagem, os signos matemáticos e os recursos tecnológicos. Esses instrumentos ampliam as possibilidades de ação e pensamento do sujeito, permitindo que ele realize tarefas que não conseguiria executar de forma independente. Assim, a mediação não substitui a atividade do estudante, mas cria condições para que ele avance do nível de desenvolvimento real ao nível de desenvolvimento potencial, no interior da zona de desenvolvimento proximal.

No ambiente escolar, a mediação pedagógica intencional possibilita a articulação entre os conceitos espontâneos, oriundos da experiência cotidiana dos alunos, e os conceitos científicos, próprios do conhecimento sistematizado. Conforme aponta Vygotsky (2001), é nessa interação orientada que ocorre o amadurecimento das funções psicológicas superiores, evitando tanto o verbalismo quanto a aprendizagem mecânica. O papel do professor, portanto, consiste em propor situações problematizadoras, promover interações significativas e selecionar instrumentos adequados que favoreçam a construção ativa do conhecimento. Além dos instrumentos materiais, Vygotsky atribui papel fundamental aos signos como mediadores do desenvolvimento psicológico.

Os signos entre os quais se destacam a linguagem, os sistemas de numeração, os símbolos científicos e as representações gráficas atuam como ferramentas psicológicas que reorganizam qualitativamente os processos mentais do sujeito. Diferentemente dos instrumentos materiais, enquanto os instrumentos transformam o meio externo, os signos transformam o próprio sujeito e sua relação com o conhecimento. O que operam externamente sobre o objeto, os signos incidem sobre o próprio comportamento e pensamento do indivíduo, possibilitando o controle consciente das ações, a formação de conceitos e a internalização dos conhecimentos socialmente construídos.

Nesse sentido, Vygotsky (1984), o uso de recursos tecnológicos educacionais, como plataformas de prototipagem e experimentação, pode ser compreendido como uma forma de mediação técnica e simbólica, na medida em que articula instrumentos materiais e sistemas de signos na construção do conhecimento possibilita a concretização de conceitos abstratos e a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. Quando integrados de forma intencional à prática docente, potencializam a interação social, o trabalho colaborativo e a aprendizagem significativa, alinhando-se aos princípios da zona de desenvolvimento proximal. Um conceito chave para esta operacionalização é a zona de desenvolvimento proximal. Vygotsky a define como a distância entre o nível de desenvolvimento real aquilo que o aluno é capaz de

realizar de forma autônoma e o nível de desenvolvimento potencial, que representa o que ele pode alcançar com o auxílio de um mediador mais experiente ou de instrumentos culturais específicos, como o Arduino

2.6 Arduino

O Arduino é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico de código aberto, amplamente utilizada no ensino. A plataforma Arduino consiste em uma plataforma *open-source* de desenvolvimento, sendo composta por uma placa com um microcontrolador da Atmel e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), o qual é o *software* responsável por permitir que os usuários desenvolvam o código utilizado pela placa. De fácil utilização, o Arduino possibilita a criação de projetos eletrônicos.

A principal característica do Arduino é a sua linguagem de programação de alto nível, e sua Interface de Programação de Aplicativos (API) que simplifica e que facilita o processo de desenvolvimento. Embora o aprendizado de conceitos básicos de programação seja necessário, a plataforma reduz significativamente a barreira de entrada curva de aprendizado, tornando o desenvolvimento acessível aos estudantes e aos com conhecimentos prévios em eletrônica e em linguagens de programação.

Essa facilidade tem sido fundamental para democratizar o acesso a eletrônica e a programação, incentivando a criatividade e a inovação em diversos campos. O principal diferencial do Arduino é a possibilidade de programar um microcontrolador utilizando uma linguagem de alto nível, o que viabiliza que iniciantes possam criar projetos mais complexos (McRoberts, 2011).

Conforme Bezerra (2019), o Arduino permite interagir com o mundo externo através de pinos digitais e analógicos. Os pinos digitais podem ser configurados como entrada ou saída, permitindo ler dados de sensores (como botões) e controlar dispositivos (como LEDs e motores). Os pinos analógicos, por sua vez, são utilizados para ler valores contínuos, como a intensidade de luz ou a temperatura. A família Arduino oferece diversas placas com diferentes características, como o uno, mega e nano, cada uma adequada a projetos específicos

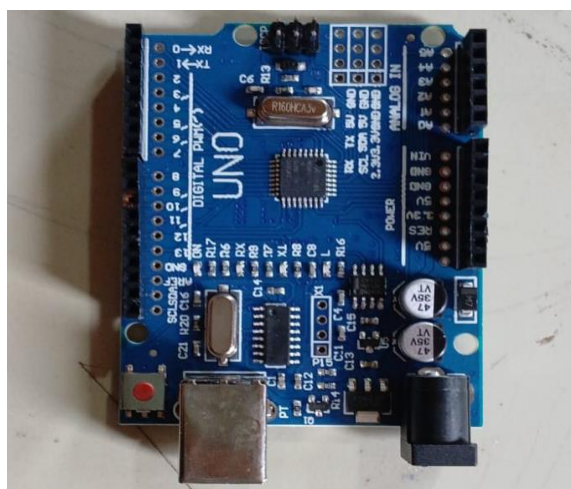
O Arduino uno, ilustrado na Figura 1, reconhecido por sua ampla aplicabilidade, é o modelo mais popular da linha Arduino e se destaca pela sua versatilidade em uma vasta gama de projetos. Este modelo é equipado com um processador ATMEGA328p e oferece uma gama de opções de conectividade, incluindo 6 portas analógicas e 14 portas digitais, das quais 6 suportam

saída PWM. Além disso, sua flexibilidade é acentuada pela capacidade de ser alimentado tanto por uma conexão USB quanto por um conector de alimentação externa, o que o torna ideal para uma variedade de aplicações e experimentos.

Os pinos digitais do Arduino funcionam com dois níveis lógicos: alto, com 5V, e baixo, com 0V. Esses pinos podem ser configurados como entrada para detectar os níveis de tensão de um botão (0V ou 5V), ou como saída para controlar o acendimento ou o desligamento de um LED. Já os pinos analógicos trabalham com valores de leitura de 0 a 1023, dividindo uma faixa de tensão de 0V a 5V em 1024 níveis (Bezerra, 2019). Nos pinos PWM (Pulse Width Modulation, ou Modulação por Largura de Pulso), é possível obter resultados analógicos por meio de um método digital.

Nesta dissertação foi utilizado a placa Arduino Uno R3 SMD, um modelo amplamente adotado no ensino por sua simplicidade e compatibilidade com diversos sensores. Essa versão possui o microcontrolador ATmega328 SMD é uma placa de desenvolvimento eletrônico que garante estabilidade e bom desempenho para experimentos escolares.

Figura 1- Arduino Uno R3 SMD



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A linguagem de programação utilizada na plataforma Arduino é baseada em C/C++, porém adaptada com funções simplificadas que facilitam o controle dos pinos digitais e analógicos, bem como a interação com componentes: sensores que captam informações do ambiente, e os atuadores que realizam ações como acender luzes ou mover peças. O Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino, apresentado na Figura 2, oferece uma interface acessível para a escrita, edição e envio do código à placa, permitindo que mesmo iniciantes possam programar de forma intuitiva e organizada.

2.6.1 Montagem do Arduino

O circuito foi montado em uma protoboard, que permite conexões entre os elementos sem a necessidade de soldagem. As ligações entre placa e Arduino, os sensores e os demais dispositivo foi realizada por meio de fios jumper, utilizados nos pinos digitais (para sinais binários) pinos analógicos (para leituras contínuas). Foram integrados aos sistemas componentes adicionais como resistores empregados para limitar a corrente elétrica e proteger os sensores de temperatura e de umidade (modelos DHT11), que captam os dados ambientais do experimento. Essa configuração permite a coleta, o processamento e o registro automatizado de dados térmicos durante a aplicação experimental do produto educacional. O detalhamento técnico, esquemas de montagem e instruções passo a passo estão apresentados no caderno do professor disponível como apêndice desta dissertação. O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo elaborado do Software IDE do Arduino



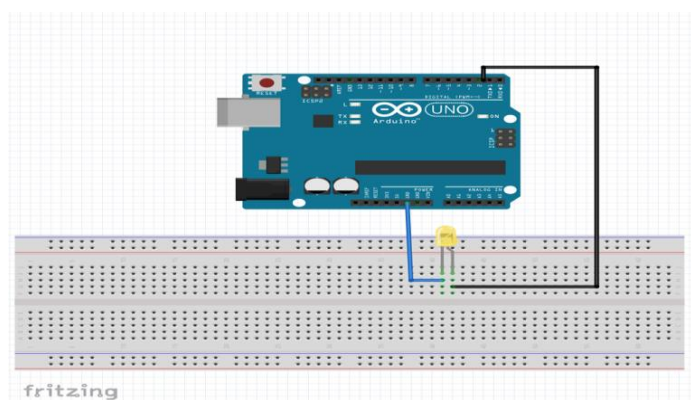
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

2.7 Fritzing

O Fritzing é uma plataforma gratuita e de código aberto, criada em 2008 pela Universidade de Ciências Aplicadas de Potsdam, Alemanha e ideal para estudantes, entusiastas e profissionais que desejam aprender a desenvolver projetos eletrônicos. Com sua interface intuitiva, o fritzing permite a criação de diagramas esquemáticos, layouts de placas de circuito

impresso e visualizações em 3D, o fritzing é uma ferramenta ágil para o *design* de protótipos eletrônicos, facilitando a criação de layouts de circuitos de forma descomplicada (Kenshima, 2020). Com esse software foi elaborado uma montagem do diagrama dos componentes do Arduino do produto educacional. Na figura 3 está um exemplo elaborado no software, esquema montando para a utilização do produto educacional nessa dissertação encontra- se no apêndice A, dentro do caderno do professor.

Figura 3 - Exemplo de circuito elaborado no Software Fritzing



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

2.8 Arduino como Ferramenta Educacional

Segundo (Moreira, Silva e Ferreira, 2017), “um dos grandes desafios dos professores contemporâneos é manter seus alunos interessados em sala de aula. Uma das formas de manter esse interesse é a utilização de tecnologia para potencializar o aprendizado”. O Arduino tem se destacado como uma ferramenta educacional eficaz no ensino de ciências exatas, permitindo que os alunos interajam diretamente com circuitos eletrônicos. Sua aplicação no ensino de física possibilita a realização de experimentos práticos de forma acessível, tornando os conceitos mais concretos e estimulando a aprendizagem ativa.

Silva e Lira (2022, p.2) afirmam que a utilização de plataformas tecnológicas no ensino de Física promove um maior engajamento dos alunos e possibilita a experimentação prática dos conceitos teóricos, tornando o aprendizado mais significativo. Para ilustrar isso, os autores aplicaram seu produto educacional utilizando a plataforma Arduino com o objetivo de ensinar eletrodinâmica. Esse método permitiu que os estudantes trabalhassem em grupo, interagindo de maneira colaborativa, conforme a teoria e os elementos da teoria de Vygotsky.

Chitolina e Santos (2024), diz que o uso didático da plataforma Arduino no ensino de Física tem demonstrado potencial para transformar o laboratório didático, facilitando a coleta

precisa de dados experimentais e tornando as aulas mais interativas e atrativas para os estudantes. Além disso, a ferramenta permite que os alunos atuem como agentes ativos em seu próprio processo de aprendizagem, o que pode colaborar positivamente para o seu estado motivacional.

Segundo Bezerra (2024), a utilização do Arduino como ferramenta educacional tem se mostrado promissora, pois permite maior interatividade e participação dos estudantes durante as aulas. Pensando em suas aulas de física, o autor desenvolveu uma bomba simulada para que os alunos trabalhassem o conceito de eletrodinâmica. Nesse experimento, os alunos foram divididos em grupos para desarmar a bomba, o que possibilitou testar o trabalho em equipe e também estimulou o raciocínio dos alunos ao calcular a forma correta para obterem sucesso na atividade.

De acordo com Corrêa, Moreira e Queiroz (2024), afirmam que, as ferramentas educacionais, especialmente as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC), não devem ser utilizadas apenas como aparatos para transmissão de informações, pois o uso puramente técnico carece de embasamento pedagógico. Para que uma ferramenta seja integrada com sucesso ao ensino de Física, é necessário que o professor desenvolva um referencial que une o domínio do conteúdo disciplinar, as estratégias pedagógicas e o conhecimento tecnológico.

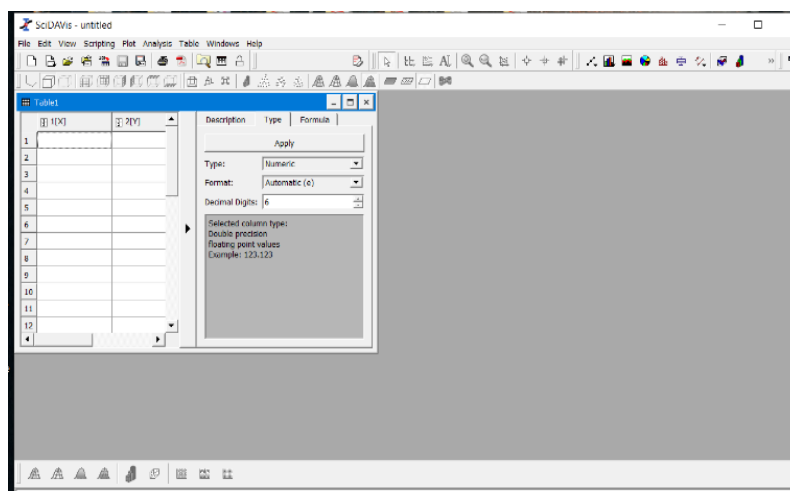
2.9 SciDAVis

SciDAVis é um programa de código aberto gratuito para análise de dados e criação de gráficos de alta qualidade. Ele se destaca por sua interface intuitiva, que o torna fácil de aprender e utilizar, além de oferecer recursos avançados, como scripts e extensões. O software está disponível para GNU/Linux, Windows e MacOS x, SciDAVis oferece uma alternativa aberta e amigável a programas pagos, como Origin e SigmaPlot, QtiPlot, Labplot e Gnuplot.

O que diferencia o SciDAVis dos outros é seu foco em oferecer um ambiente amigável e aberto (tanto no software quanto no projeto) para todos os níveis de experiência.

No presente trabalho, o software será utilizado para desenhar os gráficos para análise de variação de temperatura do ambiente externo e interno de diferentes matérias.

Figura 4 - Exemplo elaborado no Software SIDAVIS



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

3 INTRODUÇÃO TERMODINÂMICA

O estudo do calor representa uma das bases fundamentais da termodinâmica, ramo da física e as transformações de transferências de energia entre corpos e sistemas. Desde os primeiros experimentos sobre o comportamento térmico da matéria, os cientistas buscaram compreender como a energia térmica se manifesta e influencia os fenômenos naturais, como o aquecimento, a evaporação e as mudanças de estado físico. Com o avanço dos estudos, principalmente a partir das contribuições de Joule e da formulação das leis da termodinâmica, o calor passou a ser entendido não como uma substância material, mas como uma forma de energia em trânsito, que se transfere de um corpo a outro em virtude da diferença de temperatura.

Assim, compreender os conceitos de temperatura, calor, escalas termométricas, capacidade térmica e calor específico é essencial para a análise dos processos energéticos que ocorrem na natureza e nas aplicações tecnológicas, como os sistemas de refrigeração, aquecimento e controle térmico automatizado.

3.1 Temperatura

A temperatura é um dos conceitos centrais da termodinâmica e da física térmica. No senso comum, costuma ser associada às sensações de quente e frio; contudo, essa percepção não é um indicador confiável do estado térmico de um corpo. Um exemplo clássico é a sensação de que um objeto metálico parece mais frio ao toque do que um objeto de madeira, mesmo quando ambos se encontram à mesma temperatura. Essa diferença ocorre porque o metal conduz energia térmica mais rapidamente, retirando calor da pele em maior taxa.

Figura 5 - Comparação entre sensação térmica e temperatura real



Fonte: Fogaça [s.d.] adaptada pela autora.

Embora a maçaneta metálica e a porta de madeira estejam à mesma temperatura, a maçaneta é percebida como mais fria devido à maior condutividade térmica do metal, que transfere energia térmica da mão com maior rapidez do que a madeira. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2002) o conceito central do estudo da termodinâmica é a temperatura. Apesar de sua aparente simplicidade, a confiança excessiva nas percepções sensoriais de quente e frio pode levar a interpretações equivocadas sobre o estado térmico de um corpo.

Para compreender os fenômenos de temperatura, calor e evaporação, é essencial abordar previamente as grandezas físicas fundamentais da termodinâmica. Entre elas, destacam-se as escalas termométricas, os modos de transferência de calor, a capacidade térmica, as mudanças de fase e o calor latente (Halliday; Resnick; Walker, 2016). Além disso, a evaporação, os fatores que a influenciam, o calor latente de vaporização e o resfriamento evaporativo desempenham papéis centrais na análise desses processos.

Em um dia frio de inverno, por exemplo, um corrimão de ferro parece estar muito mais frio ao toque do que uma estaca de uma cerca de madeira, apesar de ambos estarem à mesma temperatura. Esse erro na nossa percepção ocorre porque o ferro remove energia dos nossos dedos mais rapidamente do que a madeira (Halliday; Resnick; Walker 2002, p.141).

Essa percepção ocorre por meio de comparações e é medida, no corpo humano, pelos termorreceptores terminações nervosas livres responsáveis por detectar variações de temperatura na pele.

Segundo Junior e Serway (2013), a “pele mede a taxa de transferência de energia por calor, em vez de medir a temperatura”.

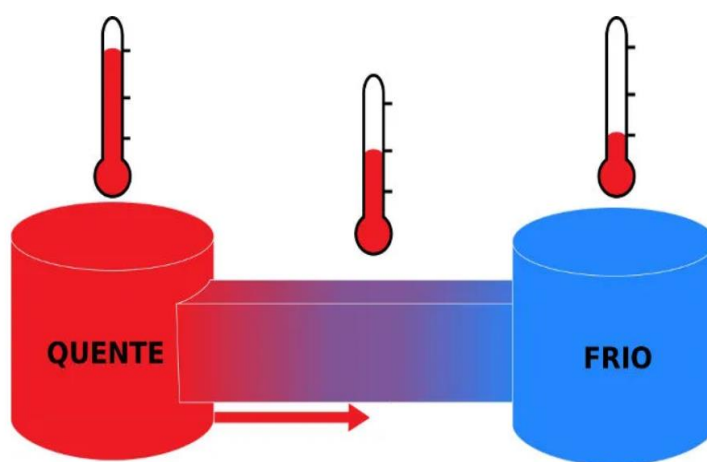
Dentre as sete grandezas físicas básicas do Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) destacamos, para esse estudo, a temperatura. Halliday, Resnick e Walker (2002), afirmam que “físicos medem temperaturas na escala Kelvin, que é marcada em unidades chamadas Kelvin (K).

Assim, podemos dizer que a temperatura é a medida da média das energias cinéticas das partículas que compõem o sistema. Para compreender os fenômenos de temperatura, calor e evaporação é essencial abordar previamente as grandezas físicas fundamentais da termodinâmica. Entre elas se destacam-se as escalas termométricas, os modos de transferência de calor, capacidade térmica, mudanças de fase e o calor latente. Além disso, a evaporação, os fatores determinantes o calor latente de vaporização e resfriamento evaporativo desempenham um papel central na análise desses processos.

A temperatura, no contexto da termodinâmica, é uma propriedade macroscópica fundamental de um sistema, que determina se este se encontra ou em equilíbrio térmico com outros sistemas. Dois sistemas estão em equilíbrio térmico quando, ao serem colocados em contato, não há troca de calor entre eles.

A temperatura é o fator que determina a direção de fluxo de calor: a energia térmica flui espontaneamente de corpo com maior temperatura para o corpo de menor temperatura.

Figura 6 - Representação esquemática do fluxo de calor entre dois corpos de diferentes temperaturas



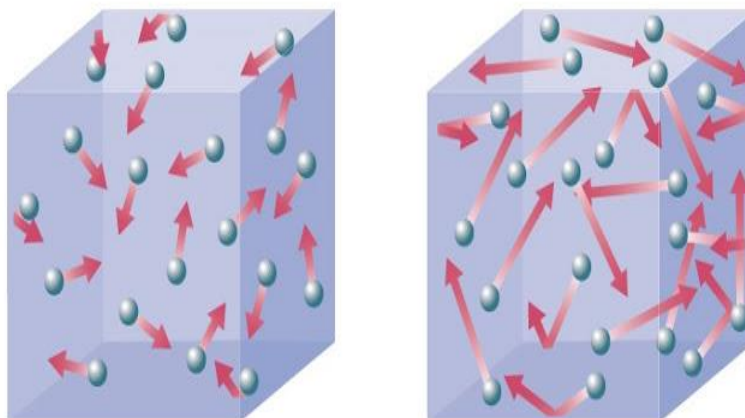
Fonte: Helerbrock [s.d.].

A Figura 6 representa a relação entre temperatura, agitação molecular e transferência de calor. Corpos a maiores temperaturas apresentam maior agitação molecular, o que corresponde a uma maior energia cinética média de suas partículas. Por outro lado, corpos a menor temperatura possuem menor agitação molecular e, conseqüentemente, menor energia cinética média.

Nessas condições, o calor é compreendido como energia em trânsito, transferida espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

O processo de transferência de calor prossegue até que se estabeleça o equilíbrio térmico, situação em que as temperaturas dos corpos se igualam e não há mais fluxo líquido de calor entre eles. Do ponto de vista físico, a temperatura é uma grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema e está relacionada, em nível microscópico, à energia cinética média das partículas que o constituem. Quanto maior a temperatura, maior é a agitação térmica média dessas partículas.

Figura 7 - Representação microscópica da relação entre temperatura e agitação térmica.



Fonte: Valim [s.d].

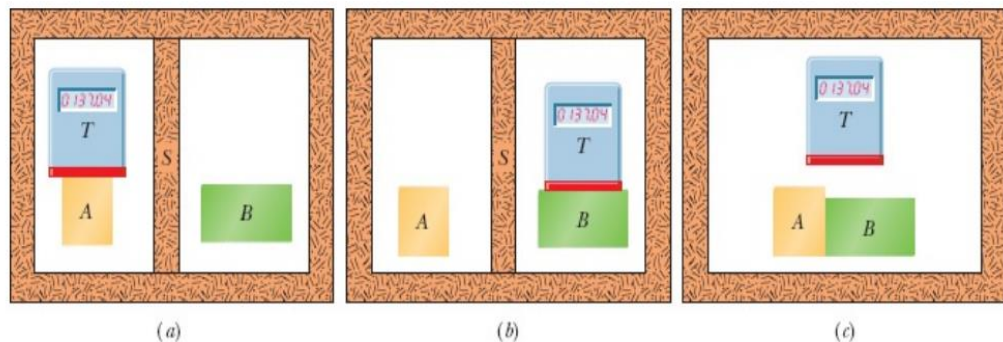
A figura 7 ilustra essa relação imagem (A) observa-se um sistema a menor temperatura, caracterizado por menor agitação das partículas, enquanto na imagem (B) observa-se um sistema a maior temperatura, com maior agitação térmica das partículas. No nível microscópico, a temperatura está diretamente relacionada à energia cinética média das partículas, átomos e moléculas, que compõem o sistema. Quanto maior a temperatura de um objeto, maior a energia cinética média das partículas e, conseqüentemente, mais agitadas elas estão. Essa relação é fundamental na teoria cinética dos gases onde a temperatura absoluta é proporcional à energia cinética média das moléculas do gás (Halliday; Resnick; Walker, 2002). A escala termodinâmica de temperatura, expressa em Kelvin (K), é definida a partir de princípios físicos fundamentais, tendo como referência o ponto triplo da água, estabelecido em 273,16 K, e o zero absoluto (0 K), estado no qual a energia cinética média das partículas tende ao mínimo possível (Nussenzveig, 2014). Outras escalas, como Celsius e Fahrenheit, são definidas a partir de pontos de referência práticos como os pontos de fusão e ebulição da água e relacionam-se à escala Kelvin por transformações lineares. A temperatura é variável de estado intensiva, o que significa que seu valor não depende da quantidade de matéria presente no sistema, e sim do seu estado de equilíbrio térmico. Ela desempenha um papel crucial em diversas leis da termodinâmica, incluindo a Lei Zero da Termodinâmica que estabelece transitividade do equilíbrio térmico e permite a definição de temperatura, a primeira lei da termodinâmica, conservação de energia, onde a variação interna está relacionada ao calor trocado e ao trabalho realizado. A temperatura influencia a energia interna e a segunda Lei da Termodinâmica que trata da direção dos processos espontâneos e introduz o conceito de entropia, fortemente ligado à temperatura.

3.2 A Lei zero da Termodinâmica

As demais leis da Termodinâmica, em especial a Primeira e a Segunda Lei, ampliam a compreensão dos processos de troca de energia e da direção dos fenômenos térmicos, sendo fundamentais para a análise de sistemas que envolvem calor, trabalho e processos irreversíveis (Halliday; Resnick; Walker, 2016). Antes, contudo, de aprofundar tais leis, é necessário compreender o conceito fundamental que sustenta a definição de temperatura e permite a análise das trocas térmicas entre sistemas. Nesse contexto, quando dois corpos a diferentes temperaturas são colocados em contato, ocorre uma transferência de calor entre eles até que ambos atinjam a mesma temperatura.

A esse fenômeno damos o nome de equilíbrio térmico. O equilíbrio térmico é o que chamamos de Lei Zero da Termodinâmica. *Se um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo B e este, está em equilíbrio térmico com um corpo C, então, A e C estão em equilíbrio térmico.* Esse enunciado resume a Lei Zero da Termodinâmica.

Figura 8 - Representação esquemática da Lei Zero da Termodinâmica.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker, 2012).

A lei zero da termodinâmica fundamenta a definição operacional de temperatura e a validade dos processos de medição. Conforme ilustrado na Figura 8, essa lei estabelece a transitividade da condição de equilíbrio térmico entre sistemas. Inicialmente, o sistema de referência **T** (termômetro) é colocado em contato com o sistema **A** até que se estabeleça o equilíbrio (a); o mesmo procedimento é realizado entre **T** e o sistema **B** (b).

Uma vez que **T** registra a mesma variável de estado para ambos, depreende-se que **A** e **B** possuem o mesmo nível energético térmico. Por conseguinte, ao promover o contato térmico direto entre **A** e **B** (c), verifica-se a ausência de fluxos de calor, o que ratifica que os sistemas já se encontram

em equilíbrio térmico mútuo. Essa propriedade de transitividade permite a definição da temperatura como uma função de estado compartilhada por sistemas em equilíbrio.

Em laboratório, aplicamos constantemente a lei zero da termodinâmica. Para verificarmos se dois líquidos contidos em dois recipientes estão à mesma temperatura, basta medir separadamente a temperatura de cada um com um termômetro. Não é necessário colocá-los em contato direto para observar se atingem o equilíbrio térmico.

A lei zero, que foi chamada de uma reflexão lógica tardia, veio à luz somente na década de 1930, bem depois da primeira e a segunda lei da termodinâmica terem sido descobertas e recebido uma numeração. Como o conceito de temperatura é fundamental para essas duas leis, a lei que estabelece a temperatura como um conceito válido deveria ter uma numeração mais baixa daí o zero ((Halliday; Resnick; Walker (, 2002, p.142).

Sendo assim, conclui-se que se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, eles estão em equilíbrio térmico entre si. Halliday, Resnick e Krane (2017) afirmam que:

Existe uma grandeza escalar chamada temperatura, que é uma propriedade de todos os sistemas termodinâmicos em equilíbrio. Dois sistemas estão em equilíbrio térmico se e somente se as suas temperaturas são iguais (Halliday; Resnick; Krane, 2017, p.207).

3.3 Escalas de Temperatura Centígrada e Fahrenheit

Qualquer propriedade que varie de maneira previsível com a temperatura pode servir de base para definir uma escala termométrica. O termômetro de mercúrio, por exemplo, que é formado por um bulbo de vidro conectado a um tubo estreito, ambos contendo mercúrio, baseia-se na dilatação de certa quantidade de mercúrio contido no bulbo que se expande até o tubo capilar, indicando uma variação de temperatura.

Um dos primeiros dispositivos desse tipo que foi criado é o termoscópio a ar inventado por Galileu Galilei em 1592 também chamado de Termoscópio de Galileu. Apesar de muito semelhante, esse instrumento não pode ser chamado de termômetro por não atribuir valores numéricos para a temperatura, ele apenas indica se um corpo está mais quente ou mais frio que o referencial utilizado.

Figura 9 - Termoscópio de Galileu.



Fonte: LABORATÓRIO DE DEMONSTRAÇÕES DA UFPA. Equipamento construído e doado por Claudio Hiroyuki Furukawa. Disponível em: <https://labdemon.ufpa.br/fisica-termica/termoscopio-de-galileu>. Acesso em: 3 fev. 2026.

A Figura 9 apresenta a aplicação prática dos conceitos discutidos, exibindo um instrumento de medição térmica baseado na expansão volumétrica. Observa-se que, ao atingir o equilíbrio térmico com uma fonte externa, o líquido termométrico altera seu volume, deslocando-se pelo tubo capilar. Este fenômeno exemplifica a definição operacional de temperatura estabelecida pela lei zero: o instrumento. O sistema T atua como o terceiro corpo que, ao equilibrar-se com o meio, permite quantificar o estado térmico do sistema através de uma propriedade escalar observável. Para se criar uma escala termométrica utilizando, por exemplo, um termômetro de mercúrio, pode-se proceder da seguinte maneira:

1. Escolhem-se dois sistemas que apresentam temperaturas distintas e que sejam invariáveis no decorrer do tempo e que possam ser facilmente reproduzidas quando se fizer necessário. A essas duas temperaturas dão-se o nome de pontos fixos. Pode-se, por exemplo, escolher o ponto de gelo temperatura de fusão do gelo sob pressão de 1 atm (1.10^5 N/m^2) e, nas mesmas condições de pressão, o ponto de vapor temperatura de ebulição da água.
2. O termômetro é colocado na presença desses dois sistemas que definem os pontos fixos, previamente estabelecidos. Ao entrar em equilíbrio térmico com esses sistemas, a coluna de mercúrio apresenta alturas diferentes. A cada uma dessas alturas atribui-se um valor numérico arbitrário que irá corresponder à temperatura na escala a ser criada. Naturalmente, atribui-se o menor valor ao ponto de gelo e o maior, ao ponto de vapor.
3. O intervalo entre os pontos fixos é dividido em partes iguais onde serão feitas as marcações das temperaturas. Cada uma dessas marcações define uma unidade dessa escala.

Figura 10 - Termômetro em contato com o gelo e com o vapor.



Fonte: Gerado por inteligência artificial (IA).

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016), a escala Celsius foi construída a partir de dois pontos fixos: 0 °C, correspondente ao ponto de fusão do gelo, e 100 °C, correspondente ao ponto de ebulição da água sob pressão atmosférica padrão.

3.4 Escalas Termométricas

Em 1742, Anders Celsius criou uma escala de temperatura que, originalmente denominada centígrada, passou a ser oficialmente chamada de escala Celsius em 1948, usando, justamente, os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água, aos quais atribuiu os valores 0 °C e 100 °C, respectivamente. Dividindo o intervalo entre esses pontos em 100 partes iguais. Cada uma dessas partes é a unidade da escala, o grau Celsius, cujo símbolo é o °C. Atualmente, a maioria dos países utilizam, como escala de temperatura, a escala Celsius.

Temperaturas Celsius são medidas em graus, e o grau Celsius possui o mesmo tamanho que o Kelvin. Entretanto, o zero da escala Celsius está deslocado para um valor mais conveniente do que o zero absoluto (zero kelvin) (Halliday; Resnick; Walker, 2002, p.143).

Segundo Halliday & Resnick, (2016), as escalas mais utilizadas para medição de temperatura mais utilizadas são: para representar a escala Celsius em função da temperatura Kelvin e sua relação:

$$T_c = T - 273,15 \quad (1)$$

Assim, damos a essa escala o nome de temperatura centígrada, pois o espaço entre as marcas de zero e 100 graus é dividido em 100 partes iguais. Para a construção de uma escala termométrica, assume-se que a variação da propriedade termométrica neste caso, a altura L da coluna de mercúrio ocorre de forma linear com a temperatura. Considerando a escala Celsius, estabelece-se uma relação de proporcionalidade entre a variação da altura e a variação da temperatura em relação aos pontos fixos do gelo e do vapor.

Seja L a altura da coluna de mercúrio em uma temperatura genérica T_c , L_0 a altura correspondente ao ponto do gelo fundente a (0°C) e L_{100} o comprimento da coluna no ponto do vapor d'água (100°C) sob a pressão normal. Utilizando a semelhança de intervalos temos que:

$$\frac{T_c - 0}{100 - 0} = \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} \quad (2)$$

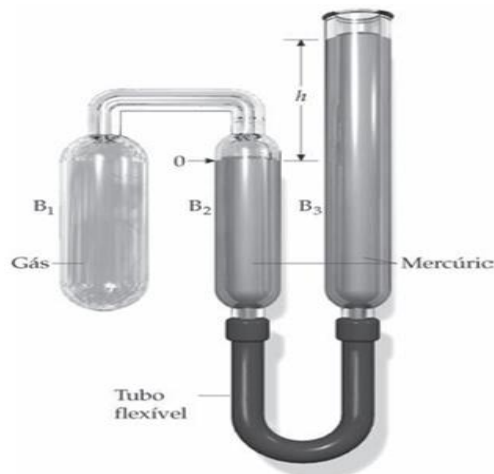
Ao isolar a temperatura T_c a expressão que define o valor térmico em função da altura da coluna de mercúrio a é dada por:

$$T_c = \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} \cdot 100^\circ \quad (3)$$

Segundo Tipler e Mosca (2009), “uma deficiência da escala centígrada é que ela depende da propriedade termométrica de algum material, como o mercúrio”. Uma forma de resolver esse problema é a utilização de termômetro de gás a volume constante, em que o volume do gás é mantido constante e as variações de pressão indicam as variações de temperatura. Assim, usando-se os mesmos parâmetros utilizados no termômetro de mercúrio, quando mergulhamos o termômetro de gás no gelo e no vapor temos que P_0 corresponde à pressão do ponto de gelo e P_{100} . A temperatura T_c em graus Celsius corresponde à pressão do ponto de vapor. Assim, a temperatura T_c , em graus, será dada por:

$$T_c = \frac{P - P_0}{P_{100} - P_0} \cdot 100^\circ\text{C} \quad (4)$$

Figura 11 - Termômetro de gás a volume constante.



Fonte: Tipler e Mosca, 2009

3.4.1 Escala Fahrenheit

Fahrenheit (°F): é a escala empregada principalmente nos Estados Unidos. Nessa escala, ao nível do mar e sob pressão atmosférica padrão, o ponto de fusão da água corresponde 32° F e entra em ebulição 212° F.

Em 1727 Daniel G. Fahrenheit (1686 – 1736) criou a escala Fahrenheit, que, originalmente, utilizou como primeiro ponto fixo, uma mistura de água, sal e gelo, em que ele atribuiu o valor zero e, como segundo ponto fixo, utilizou uma temperatura próxima à temperatura do corpo humano, para o qual atribuiu o valor 100 (cem).

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2002), “a escala Fahrenheit, usada nos Estados Unidos, emprega um grau menor que o da escala Celsius e um zero de temperatura diferente”. Ao se utilizar os pontos de gelo e de vapor para definir a escala Fahrenheit, obtemos os valores dos pontos fixos iguais a 32 °F e 212 °F, respectivamente.

A relação entre as duas escalas é dada por:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ\text{F} \quad (5)$$

Em que T_F é a temperatura em graus Fahrenheit e T_C é a temperatura em graus Celsius. Escalas Celsius (°C): é uma escala amplamente usada no cotidiano e adotada para fins práticos pela maioria dos países. É uma escala de temperatura cuja unidade é o grau Celsius(°C). Ao nível do mar, sob pressão atmosférica padrão, o ponto de fusão da água corresponde a (0 °C e o ponto de ebulição 100° C).

3.4.2 Escala Kelvin

Durante a primeira revolução industrial, no início do século XIX, as primeiras máquinas a vapor tomavam conta da Europa, principalmente da Inglaterra, França e Alemanha. Essas máquinas, movidas a carvão mineral e inventadas por James Watt foram aperfeiçoadas no decorrer dos anos, incrementando tanto a extração de carvão das minas, quanto as indústrias mecanizadas que estavam nascendo.

Em 1824, o jovem engenheiro francês Nicolas Sadi Carnot publicou seu trabalho sobre a potência motriz do fogo, usando um modelo de gás ideal para avaliar qual seria o rendimento máximo possível em uma máquina térmica, que seria a inspiração para uma escala universal.

A expansão do gás, à pressão constante, é medida por meio do coeficiente de dilatação volumétrica (γ), que é a razão entre a variação de volume e o produto entre o volume inicial e a variação da temperatura, isto é:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} \quad (6)$$

O fato é que a 0 °C, Carnot verificou que os gases em geral se comportavam como um gás ideal e que o coeficiente de dilatação volumétrica em relação à temperatura era de:

$$\gamma = \frac{1}{273,15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (7)$$

Diante disso, cerca de 20 anos depois, o cientista inglês Willian Thomson, percebeu que a escala do gás perfeito era aplicável aos corpos em geral. Ele percebeu que o limite inferior de temperaturas é de -272,15 °C e atribuiu a esse valor o zero absoluto. Por suas descobertas, Willian Thomson recebeu o título de nobreza de Lorde Kelvin, e sua escala ficou conhecida como escala Kelvin. A escala Kelvin é considerada uma escala termodinâmica absoluta porque tem como referência o zero absoluto, valor mínimo teoricamente possível de temperatura, no qual a energia cinética molecular é mínima. Comparativamente as três escalas termométricas, acima citadas, se relacionam através da equação:

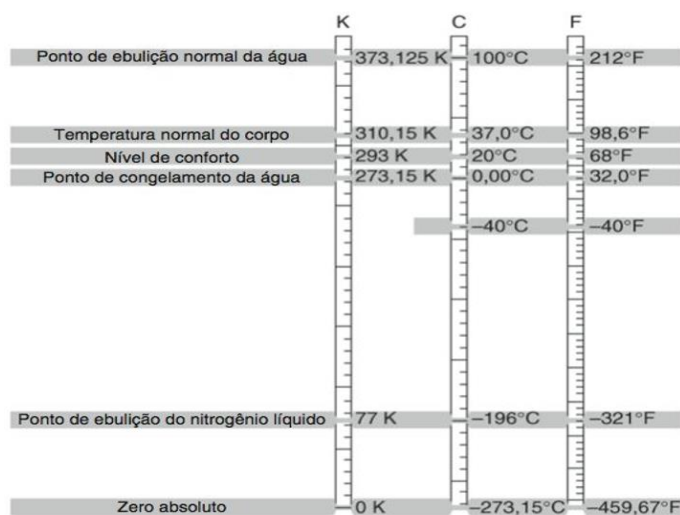
$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273,15}{5} \quad (8)$$

Embora a escala Celsius seja amplamente utilizada para fins práticos e cotidianos, a Termodinâmica exige uma referência que não dependa das propriedades específicas de uma substância como a dilatação do mercúrio. Surge, assim, a escala Kelvin (K), conhecida como escala absoluta.

Diferente das escalas relativas, o ponto de partida da escala Kelvin é o zero absoluto, um estado teórico no qual a energia cinética térmica das partículas seria mínima. Por ser fundamentada em princípios termodinâmicos universais, ela foi adotada como a unidade de base para a grandeza temperatura no Sistema Internacional de Unidades (SI).

Um ponto importante de conexão entre as duas escalas é a sua natureza centígrada: a variação de temperatura em Kelvin é equivalente à variação na escala Celsius. A variação de temperatura é equivalente à escala Celsius, de modo 1K corresponde a 1° C ($\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}C)$) em intervalo.

Figura 12- Comparação entre as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit.



Fonte: Halliday, Resnick e Krane, 2017.

3.5 Calor

A Termodinâmica, disciplina central da Física, estuda a energia e as transformações que ela sofre. Se o conceito de Temperatura estabelece a medida da agitação molecular média de um sistema, o Calor define a maneira pela qual a energia é trocada entre sistemas devido às diferenças nessa agitação.

3.5.1 O conceito de calor e equilíbrio térmico

O equilíbrio térmico é o estado para o qual tendem todos os sistemas em contato térmico. Segundo Hallyday, Resnick e Walker (2002), ao considerar um sistema com temperatura T_s e seu ambiente T_a observa-se que, se $T_s \neq T_a$, a uma variação de temperatura até que ambas se igualem. Essa variação decorre da transferência de energia térmica, denominada calor. O calor é uma forma de energia em trânsito, que é transferida de um corpo para outro em razão da diferença de temperatura. Esse fluxo ocorre sempre do corpo mais quente para o corpo mais frio, até que ambos alcancem o equilíbrio térmico, quando suas temperaturas se igualam.

A energia térmica é uma energia interna que é composta pelas energias cinética e potencial associadas com os movimentos aleatórios dos átomos, moléculas e outros corpos microscópicos no interior de um objeto (Halliday; Resnick; Walker, 2002, p.147).

Então, por definição:

Calor é a energia térmica em trânsito entre o sistema e o seu ambiente devido a uma diferença de temperatura existente entre eles.

Sob a ótica da transferência de calor, é fundamental distinguir a quantidade total de energia (Q , em Joules) da taxa de transferência de calor (Q' , em Watts). Conforme Çengel e Ghajar (2012), a taxa de variação de calor em um instante t é definida pela derivada da quantidade de calor em relação ao tempo:

$$Q' = \frac{dQ}{dt} \text{ [W ou J/s]} \quad (9)$$

3.5.2 Unidades de calor: do calórico ao Joule

Historicamente, acreditava-se que o calor era um fluido chamado “calórico”. Dessa concepção surgiu a caloria (cal), definida como a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C para 15,5 °C (Serway; Junior, 2013). Com a compreensão de que a energia térmica e a energia mecânica estão relacionadas, o Joule (J) tornou-se a unidade padrão do Sistema Internacional (SI).

3.5.3 Capacidade térmica e calor específico sob a ótica do cálculo

A quantificação do calor transferido é feita através da capacidade térmica (C) e do calor específico (c). De forma diferencial, a capacidade térmica é a razão entre a quantidade infinitesimal de calor dQ e a variação infinitesimal de temperatura dt :

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (10)$$

Para uma substância de massa m , define-se o calor específico como a capacidade térmica por unidade de massa ($c = \frac{C}{m}$). Assim, a quantidade total de calor transferida quando um corpo é aquecido ou resfriado de uma temperatura T_1 até T_2 é dada pela integral:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} m \cdot c(T) dT \quad (11)$$

Em casos onde a variação de temperatura é pequena, o calor específico c pode ser considerado constante, simplificando a integral para a expressão algébrica usual:

$$Q = m \cdot c (T_2 - T_1).$$

3.5.4 Calor molar

Define-se calor molar c' como a capacidade calorífica por mol (n). Analogamente à formulação anterior, a quantidade de calor trocada, particularmente em gases, pode ser expressa de forma diferencial e integrada:

$$dQ = n \cdot c' \cdot dT \rightarrow Q = \int_{T_1}^{T_2} n \cdot c' \cdot dT \quad (12)$$

3.5.5 A Lei de Fourier e o gradiente de temperatura

Para atender à análise matemática da transferência de calor por condução, utiliza-se a Lei de Fourier. Segundo Çengel e Ghajar (2012), o fluxo de calor é proporcional à variação da temperatura no espaço, ou seja, ao gradiente de temperatura. Em uma dimensão (x), a taxa de condução de calor é expressa pela derivada:

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (13)$$

Onde:

- k é a condutividade térmica do material;
- A é a área de seção transversal;

- dT/dx é o gradiente de temperatura na direção do fluxo.

3.5.6 Calor latente e mudanças de fase

A matéria pode apresentar-se em três fases ou estados de agregação principais: sólido, líquido e gasoso. Como descreve a teoria cinética, na fase sólida as forças de coesão limitam o movimento das partículas a vibrações em retículos cristalinos. Na fase líquida, a maior liberdade de movimento confere fluidez, mantendo o volume definido. Já na fase gasosa, a grande distância entre moléculas e a baixa força de coesão resultam na ausência de forma e volume definidos. As transições entre esses estados fusão, vaporização, sublimação e seus inversos ocorrem mediante a transferência de energia térmica sem que a temperatura do sistema se altere durante o processo, desde que a pressão permaneça constante.

Figura 13 - Mudanças de estado físico.



Fonte: Criado por inteligência artificial.

As mudanças de estado físico apresentados na figura 13 representam transformações naturais que ocorrem quando uma substância recebe ou perde energia térmica. Esses processos são reversíveis e fundamentais para compreender fenômenos cotidianos, como a evaporação da água, a formação de gelo e a condensação do vapor atmosférico. Cada mudança de estado está associada a variações nas interações entre as partículas da matéria, sem alterar sua composição química, permitindo que o mesmo material exista em diferentes estados conforme as condições de temperatura e pressão.

As principais mudanças são:

- Fusão: sólido $\rightarrow$ líquido

- Solidificação: líquido $\rightarrow$ sólido
- Sublimação: sólido $\rightarrow$ gasoso
- Sublimação inversa/cristalização: gasoso $\rightarrow$ sólido
- Liquefação ou condensação: gasoso $\rightarrow$ líquido
- Vaporização ou evaporação: líquido $\rightarrow$ gasoso

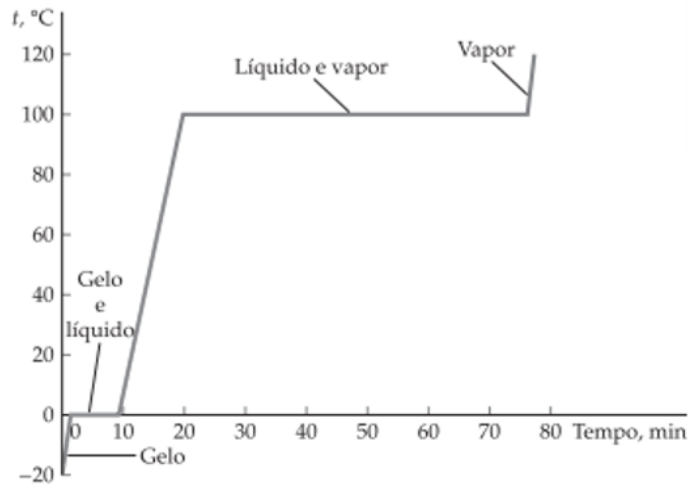
No contexto deste trabalho, o foco está na evaporação, que é o processo de vaporização lento que ocorre na superfície do líquido em qualquer temperatura, sendo o princípio físico por trás do resfriamento dos vasos cerâmicos. Caso a pressão do ambiente estudado se mantenha constante, as substâncias puras apresentam temperatura constante durante todas as mudanças de fase, embora estejam trocando calor com o ambiente.

3.5.7 Curva de aquecimento

Ao adicionar certa porção de gelo à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e colocá-lo em um calorímetro e fornecer calor a esse sistema, lentamente, verificamos que a temperatura do gelo vai aumentando até que atinja a temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Continuando a fornecer calor para esse sistema, o gelo começa a derreter passa para o estado líquido, porém, a temperatura se mantém em $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Continuando o fornecimento de energia após o derretimento total do gelo, sua temperatura aumenta até que atinja a temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Note que essas duas temperaturas são os pontos fixos da água ponto de fusão e de ebulição, em condições normais de pressão.

Fornecendo mais energia para o sistema, a água começa a passar do estado líquido para o estado gasoso, mantendo a temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se a taxa de fornecimento de calor continuar constante, nota-se que o tempo para vaporizar a água é maior que o tempo necessário para derreter o gelo.

Figura 14 - Curva de aquecimento.



Fonte: Tipler e Mosca, 2009.

Segundo Tipler e Mosca (2009), a mudança de fase à pressão constante, de uma substância pura, ocorre em uma temperatura específica. Como no caso da curva de aquecimento da água, observada na Figura 14 a água muda de sólido para líquido a 0 °C (a temperatura permanece constante durante o derretimento). Em seguida, a água líquida continua a ser aquecida e sua temperatura aumenta de 0°C até 100 °C. Quando a substância atinge 100° C ocorre outra mudança de fase à temperatura constante a vaporização.

3.5.8 Formalismo matemático e calor latente

Diferente do calor sensível, que envolve variação de temperatura a energia transferida durante uma mudança de fase é utilizada exclusivamente para romper ou formar ligações moleculares. Segundo Çengel e Ghajar (2012), a quantidade de calor (Q) necessária para a mudança de fase de uma massa (m) é dada por:

$$Q = m \cdot L \quad (14)$$

O parâmetro L representa o calor latente da substância, sendo específico para cada tipo de transição. Para o processo de fusão, o calor latente é denominado calor latente de fusão (L_f), enquanto para a transição do estado líquido para o gasoso, utiliza-se o calor latente de vaporização (L_v).

Conforme abordado por Çengel e Ghajar (2012), na engenharia térmica essa grandeza é frequentemente tratada como a variação da entalpia de mudança de fase. No caso da vaporização, essa propriedade é simbolizada por h_{fg} para vaporização representando a diferença de entalpia entre o vapor saturado e o líquido saturado. A seguir observa-se as temperaturas de mudança de fase e os calores latentes de algumas substâncias.

Tabela 1 – Propriedades Térmica das substâncias

SUBSTÂNCIA	PONTO DE FUSÃO (°C)	CALOR LATENTE DE FUSÃO (cal/g)	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)	CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO (cal/g)
ÁGUA	0,0	79,5	100	538,8
PRATA	961,9	25,1	2 050	555,6
OXIGÊNIO	-218,4	3,3	-182,8	50,9
MERCÚRIO	-39,2	2,7	357	70,7
HIDROGÊNIO	-259,2	13,9	-252,7	108,7
COBRE	1 082,9	49,4	2 595	1 129,7
CHUMBO	327,9	5,5	1 744	204,9

Fonte: Halliday, Resnick e Walker, 2002.

3.5.9 Análise diferencial da mudança de fase

Para a compreensão quantitativa dos processos de mudança de fase, é fundamental analisar as propriedades termofísicas intrínsecas de cada substância. Conforme apresentam Halliday, Resnick e Walker (2002) cada material possui pontos de fusão e ebulição específicos, acompanhados de seus respectivos calores latentes (Tabela 1).

Ao observar os dados, destaca-se o calor latente de vaporização da água (538,8 cal/g). Este valor é consideravelmente superior ao de substâncias como o chumbo (204,9 cal/g) ou o mercúrio (70,7 cal/g). Sob a perspectiva do protótipo desenvolvido, essa característica justifica a eficiência da água como agente refrigerante: para cada grama de água que evapora através dos poros da cerâmica, uma grande quantidade de energia térmica é removida do sistema.

Para modelar esse sistema dinâmico, onde a evaporação ocorre de forma contínua, utiliza-se a abordagem diferencial.

A taxa de calor (Q) necessária para sustentar a mudança de fase depende da velocidade com que a substância muda de estado, ou seja, da derivada da massa em relação ao tempo $\frac{dm}{dt}$:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot L \quad (15)$$

Nesta expressão, L representa o calor latente extraído da tabela de Halliday ou a entalpia h_{fg} de Çengel

Esta abordagem conecta os conceitos básicos da física com as aplicações de engenharia, permitindo modelar o resfriamento do vaso em função da sua "perda de peso massa de água ao longo do tempo.

3.5.10 Ebulição e evaporação

A passagem de um líquido para o estado gasoso, denominada vaporização, pode ocorrer de duas formas distintas: ebulição e evaporação. A ebulição é um fenômeno de massa que ocorre quando a pressão de vapor do líquido se iguala à pressão externa. Em condições normais (1 atm), a água entra em ebulição a 100 °C. Conforme discutido por Çengel e Ghajar (2012), a temperatura de ebulição é dependente da pressão; por exemplo, em altitudes elevadas, a menor pressão atmosférica reduz o ponto de ebulição, enquanto em panelas de pressão (autoclaves), o aumento da pressão eleva a temperatura de saturação, acelerando processos térmicos.

A evaporação, por sua vez, é um processo de superfície que ocorre em qualquer temperatura. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2002), em um líquido, as moléculas possuem diferentes níveis de energia cinética. Algumas partículas na superfície possuem energia suficiente para superar as forças de coesão e escapar para a fase gasosa. Como as moléculas que escapam são as que possuem maior energia, a energia cinética média das moléculas remanescentes diminui. Consequentemente, a temperatura do líquido restante cai, caracterizando o resfriamento evaporativo.

3.5.11 Taxa de evaporação e resfriamento do corpo

Este mecanismo é o princípio da termorregulação em seres vivos e em sistemas cerâmicos porosos. O suor, ao evaporar na pele, retira o calor latente necessário para a mudança de fase diretamente do corpo, resfriando-o.

Matematicamente, a taxa de resfriamento(m_{evap} ou dm/dt):

$$\frac{dQ_{evap.}}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot h_{fg} \quad (16)$$

Onde h_{fg} é a entalpia de vaporização (calor latente) da água. Esta derivada no tempo (dm/dt) é influenciada por fatores como a área da superfície, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento sobre a superfície do vaso cerâmico.

3.5.12 Evaporação e resfriamento evaporativo em meios porosos

A evaporação é um processo de mudança de fase no qual as moléculas da superfície de um líquido adquirem energia suficiente para vencer as forças intermoleculares e se desprendem para o estado gasoso. Segundo Çengel e Boles (2013), esse fenômeno ocorre mesmo em temperaturas inferiores ao ponto de ebulição, sendo fortemente influenciado pela temperatura, pressão e umidade relativa do ar.

Durante o processo, as moléculas com maior energia cinética escapam da superfície, resultando na redução da energia cinética média das partículas remanescentes. Esse fenômeno, conhecido como resfriamento evaporativo, é o princípio físico por trás do conforto térmico gerado pelo suor e da refrigeração natural em vasos cerâmicos porosos.

Para fins de modelagem nesta dissertação, a taxa de transferência de calor por evaporação Q_{evap} pode ser quantificada pela relação entre a taxa de variação da massa no tempo e a entalpia de vaporização:

$$\frac{dQ_{evap.}}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot h_{fg} \quad (17)$$

Onde:

h_{fg} é a derivada da massa em relação ao tempo (taxa de evaporação);

h_{fg} é o calor latente de vaporização da água na temperatura correspondente.

Essa aplicação evidencia como a água, ao migrar pelos microporos do material cerâmico e evaporar continuamente, retira calor do interior do recipiente, promovendo uma solução sustentável e de baixo custo para o resfriamento.

3.5.13 Propagação de calor

A termodinâmica estuda a transferência de energia na forma de calor entre corpos ou sistemas que se encontram em diferentes temperaturas. Essa transferência, ou propagação de calor, ocorre sempre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, seguindo o princípio fundamental da busca pelo equilíbrio térmico. Existem três mecanismos principais pelos quais essa energia pode ser transferida: condução, convecção e irradiação. A compreensão desses mecanismos é crucial para a análise do protótipo desenvolvido, pois cada material utilizado (cerâmica, plástico, isopor e alumínio) interage de maneira distinta com o calor, sendo a condução o mecanismo predominante na transferência de calor através das paredes dos vasos.

3.5.12.1 Condução e Lei de Fourier

Na condução, a energia flui através de um meio material sem que haja transporte de matéria. Ao aquecer uma barra de ferro, por exemplo, a agitação das partículas aumenta no local de contato e essa energia é transmitida partícula a partícula. Nos metais, como o alumínio do protótipo, esse processo é muito eficiente devido aos elétrons livres. Já em materiais isolantes ou semicondutores, como a cerâmica e o plástico, a condução ocorre de forma mais lenta através das vibrações da estrutura molecular.

Para quantificar esse fenômeno, utiliza-se a Lei de Fourier da condução térmica. Segundo (Çengel; Ghajar, 2012, p.18), a taxa de transferência de calor por condução através de uma camada plana é proporcional ao gradiente de temperatura e área da superfície normal à direção do fluxo. Matematicamente, essa relação é expressa pela derivada da temperatura em relação ao espaço.

$$\frac{dQ_{cond.}}{dt} = -\kappa A \frac{dT}{dx} \quad (18)$$

Onde:

- $\frac{dQ_{evap.}}{dt}$ representa a taxa de transferência de calor por condução [W ou $\frac{J}{s}$];
- κ é a condutividade térmica do material ($W/m.K$), uma propriedade que indica a habilidade do meio em conduzir calor.
- A é a área da seção transversal da qual o calor flui;
- $\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura, ou seja, a inclinação da variação de temperatura ao longo da espessura x do material.

O sinal negativo da equação indica que o calor flui na direção em que a temperatura diminui (gradiente negativo). No protótipo desenvolvido, essa lei explica por que o isopor é um excelente isolante: ele possui uma condutividade térmica (κ) extremamente baixa, reduzindo a taxa de entrada de calor externo, enquanto o alumínio possui uma condutividade térmica alta facilitando a troca térmica. Em contrapartida, na parede do vaso de cerâmica, a condução permite que o calor da água interna chegue à superfície externa para ser removido pela evaporação.

3.5.12.2 Convecção

A convecção ocorre exclusivamente em fluidos (líquidos e gases) e envolve o transporte de matéria. O fluido aquecido se expande, torna-se menos denso e sobe, enquanto o fluido frio, mais denso, desce. Esse movimento cria correntes de convecção que distribuem o calor. Este princípio explica por que o ar frio de um ar-condicionado é jogado para baixo e por que o aquecimento da água em uma panela é uniforme.

Conforme detalhado por (Çengel e Ghajar 2012.p.25 -27) a transferência de calor por convecção entre superfície sólida por exemplo como face externa do vaso e o fluido em movimento é expressa pela Lei de Resfriamento de Newton, apresentada na equação 18.

$$\frac{dQ_{conv.}}{dt} = h A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (18)$$

Onde:

- h é o coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/m^2.K$);

- A_s é a área da superfície de troca térmica;
- T_s é a temperatura da superfície sólida;
- T_∞ é a temperatura do fluido (ar) suficientemente longe da superfície;

Essa lei é fundamental para o projeto, pois explica como o ar ao redor do vaso ajuda remover o calor. Se houver uma corrente de ar (convecção forçada), o valor de h aumenta, tornando o resfriamento do vaso mais rápido eficiente.

3.5.12.3 Irradiação (ou radiação)

A irradiação é a propagação de calor por meio de ondas eletromagnéticas infravermelho, não necessitando de meio material. É como o calor do Sol atinge a Terra. Todos os corpos acima do zero absoluto emitem radiação térmica. No protótipo, esse mecanismo explica as trocas de calor entre as superfícies externas e o ambiente ao redor.

Diferente da condução e da convecção, a radiação térmica é a energia emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas ou fótons como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas. Segundo (Çengel e Ghajar 2012, p. 28), a taxa máxima de radiação que pode ser emitida por uma superfície em uma temperatura absoluta T_s é determinada pela Lei de Stefan-Boltzmann:

$$\frac{dQ_{rad.}}{dt} = \varepsilon \sigma A_s [T_s^4 - T^4] \quad (20)$$

Onde:

ε é a emissividade da superfície, um valor 0 e 1 que indica quão próxima uma superfície está de um radiador perfeito (corpo negro);

σ é a constante de Stefan – Boltzmann, cujo valor é $5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/ m}^2 \cdot \text{K}^4\text{)}$;

A_s é a área da superfície de emissão;

T_s é a temperatura absoluta da superfície em Kelvin;

$T_{vizinhan\text{ça}}$ é a temperatura das superfícies que cercam o protótipo;

No protótipo desenvolvido, esse mecanismo é particularmente relevante para entender como as superfícies externas (como o alumínio ou a cerâmica) trocam calor com as paredes da sala de aula com as paredes do laboratório, com a luz solar direta e demais objetos ao redor, influenciando o equilíbrio térmico final do sistema.

3.5.12.4 Balanço de energia no protótipo

Após a análise individual dos mecanismos de transferência de calor, é necessário compreender como esses fenômenos interagem simultaneamente no sistema. O comportamento térmico do protótipo é regido pelo princípio da conservação da energia. Segundo Çengel e Ghajar (2012), para um sistema em equilíbrio ou regime permanente, a soma das taxas de calor que entram e saem deve ser nula. Matematicamente esse balanço de energia na superfície do vaso pode ser expresso pela equação:

Onde:

$$Q_{evap} = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad} \quad (21)$$

No projeto em questão, o resfriamento ocorre porque a energia removida pela evaporação (Q_{evap}) compensa e supera o calor que o sistema recebe por condução (Q_{cond}), convecção Q_{conv} e radiação (Q_{rad}).

- Q_{evap} é a taxa de calor latente perdida pela água que atravessa os poros da cerâmica.
- Q_{cond} é o calor que atravessa as paredes dos vasos por contato direto.
- Q_{conv} é a troca de calor com o ar adjacente em movimento.
- Q_{rad} é a troca de calor de energia por ondas eletromagnéticas com a superfície ao redor.

Dessa forma, a temperatura interna do refrigerador cerâmico estabiliza – se no ponto em que o ganho de calor do ambiente é exatamente anulado pela perda de energia através da evaporação. Este balanço permite concluir que a água no interior do vaso cerâmico atinge temperaturas inferiores à temperatura ambiente devido à alta entalpia de vaporização da água (detalhada por Halliday na tabela 1) que atua como um dreno de energia constante. Após a fundamentação teórica sobre os princípios da Termodinâmica, as leis que regem a propagação de calor e o formalismo matemático da mudança de fase, torna-se possível compreender a física por trás do resfriamento evaporativo. Com base nesse embasamento, o capítulo seguinte apresenta a metodologia utilizada para a aplicação do produto educacional, conectando os

conceitos de condução, convecção e irradiação à prática experimental com o uso de sensores e materiais distintos

4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo dedica-se a análise e a avaliação do produto educacional. Inicialmente os estudantes irão responder a um questionário prévio, a fim de avaliar seu conhecimento sobre o conteúdo, sendo possível identificar as principais dificuldades e lacunas de aprendizado. Posteriormente, após a análise dos dados, será aplicada a aula de revisão de conteúdo cuja carga horária dependerá do resultado do questionário prévio utilizando exemplos práticos e situações reais para contextualizar os conceitos nas aulas e será realizado também experimentação com o uso do Arduino para coletar dados de temperatura de diferentes materiais.

4.1 Local da aplicação da Sequência Didática

O produto educacional foi aplicado em uma Escola Estadual no município de Juti, interior do Mato Grosso do Sul. A instituição é uma escola de ensino regular que oferece turmas do 6º ano do ensino fundamental até o 3º ano do ensino médio. Em 2024, a escola adotou um regime do ensino integral para uma turma do 6º ano do ensino fundamental, e atualmente o ensino integral foi estendido até 8º ano.

O ensino profissionalizante foi adotado em 2024, para algumas turmas de alunos do ensino médio, por ser a única Escola Estadual da cidade de Juti a instituição atende um total de aproximadamente 760 alunos matriculados que residem na zona urbana, na zona rural e nas aldeias indígenas próximas à cidade.

Para a aplicação do produto educacional, foi selecionada a turma C, vespertino, do 2º e 3º anos do ensino médio, conhecida como GNS. Essa turma é multisseriada (GNS), composta por alunos do 2º e do 3º ano do ensino médio, devido à falta de uma sala específica para o terceiro ano. No período vespertino, a turma possuía um total de 47 alunos matriculados. No início do ano, houve sete alunos que solicitaram a transferência para outras cidades, 11 alunos foram remanejados, conforme as informações da escola, devido principalmente a compromissos de trabalhos, e uma matrícula foi cancelada por falta de documentação. Durante a aplicação do produto educacional, a turma contava com 26 alunos frequentes, 12 meninos e 14 meninas, incluindo os sete alunos do terceiro ano do ensino médio.

É importante ressaltar que a aplicação do produto educacional enfrentou desafios e fatores externos. O fato de a aplicação ter ocorrido no 4º bimestre, quando muitos alunos já

havia sido aprovados, além do período de chuva, que dificultou o deslocamento de estudantes da zona rural, impediu que 26 alunos fossem reunidos em todas as atividades.

Nessa decorrência de fatores, houve uma falta de três a cinco alunos em cada encontro, o que exigiu um ajuste contínuo no planejamento para garantir que a maioria dos alunos pudesse participar do desenvolvimento do produto educacional.

4.2 Avaliação dos Conhecimentos Prévios

A etapa de avaliação dos conhecimentos prévios teve como objetivo identificar as concepções iniciais dos estudantes sobre os fenômenos térmicos envolvidos no funcionamento do refrigerador cerâmico, tais como temperatura, calor, evaporação e transferência de energia. Antes do início das atividades experimentais com o Arduino, foi aplicado um questionário diagnóstico, composto por questões abertas permitindo que os alunos expressassem seus conceitos espontâneos e relações cotidianas com o tema. Esse levantamento inicial possibilitou reconhecer noções alternativas frequentemente presentes no ensino médio, como a confusão entre temperatura e calor, ou a ideia de que a evaporação depende exclusivamente da temperatura. A partir desses dados, foi possível planejar intervenções mais precisas, articulando mediação docente, experimentação e metodologias ativas, de modo a favorecer a construção de novos significados durante a sequência didática.

4.3 Descrição do Experimento e Materiais Utilizados

Nesta seção, apresentam-se os materiais utilizados na construção do refrigerador cerâmico e a função pedagógica de cada componente dentro da proposta didática. E demonstrar a articulação entre os elementos físicos dos vasos cerâmicos, Arduino, sensores DHT11 e a teoria de Vygotsky, ocorre através da mediação técnica. Aqui, a tecnologia não é apenas uma ferramenta de medida, mas um instrumento mediador que permite ao aluno visualizar o invisível, a variação de temperatura e da umidade, facilitando a transição do conhecimento espontâneo para o científico no processo de ensino e aprendizagem. Este arranjo experimental constitui-se também como um recurso para a formação continuada, oferecendo aos docentes de Física uma alternativa metodológica de baixo custo e alta reprodutibilidade, capaz de modernizar a prática pedagógica em diferentes contextos escolares.

4.4 Procedimento Experimental

A presente pesquisa caracteriza-se, quanto à natureza, como uma pesquisa aplicada, uma vez que busca gerar conhecimentos para aplicação prática e resolução de problemas específicos no contexto do ensino de Física. Quanto à abordagem, adota-se uma perspectiva mista, combinando elementos quantitativos (análise de desempenho em questionários pré e pós-teste) e qualitativos (análise de concepções alternativas, observação de dinâmicas de grupo e discussões dialógicas). Em relação aos objetivos, o estudo é descritivo (ao caracterizar as concepções dos alunos) e explicativo (ao investigar as contribuições da sequência didática para a aprendizagem). Finalmente, quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa-desenvolvimento (pelo desenvolvimento do produto educacional) com características de pesquisa-ação (pela intervenção pedagógica e reflexão sobre a prática em sala de aula) e elementos quase-experimentais (pela aplicação de pré e pós-testes para avaliar o impacto da intervenção).

4.5 Objetivo do Experimento

O experimento, denominado refrigerador de cerâmica sem eletricidade, teve como objetivo proporcionar aos estudantes uma situação investigativa para observar e analisar os fenômenos físicos de transferência de calor e evaporação. Através da instrumentalização utilizando vasos de cerâmica com o Arduino, buscou-se promover a melhoria do ensino de Física ao substituir a observação puramente qualitativa pela interpretação quantitativa de dados.

Do ponto de vista pedagógico o artefato foi concebido para atuar na Zona de Desenvolvimento Proximal do estudante, É na atividade prática, ou seja, na coletividade que a pessoa se aproveita da linguagem e dos objetos físicos disponíveis em sua cultura, promovendo assim seu desenvolvimento, dando ênfase aos conhecimentos produzidos e já existentes em seu cotidiano” (Coelho & Pisoni, 2012).

Durante o desenvolvimento do produto educacional, buscou-se unir materiais acessíveis e de baixo custo com tecnologias digitais de medição e análise, proporcionando aos estudantes uma experiência prática, colaborativa e significativa.

4.6 Materiais Utilizados

Para a montagem de um sistema com Arduino para coletar dados automatizados e para investigar os conceitos de temperatura, calor e evaporação serão necessários materiais listados no quadro 1.

Quadro 1- Componentes para montar kit de Arduino e suas respectivas funções e descrições

Componente	Função	Descrição
Arduino uno	Controlar o sistema, processar dados dos sensores	Placa com microcontrolador programável. Executa o código, comunica-se com o computador e controla os sensores conectados.
Protoboard	Montar o circuito sem solda	Placas com furos interligados. Permite testes rápidos e a reutilização de componentes.
Fios jumper (macho-fêmea)	Uma ponta com pino (macho) e outra com encaixe (fêmea), conectam sensores que não são instalados na protoboard (ex: sensor DHT11)	Possuem uma ponta com pinos (macho) e outra com encaixe (fêmea). Usados para estender conexões.
Fios jumper (fêmea-fêmea)	Conectar pinos do Arduino a módulos com pino macho.	Ambas as extremidades possuem conectores tipo (fêmea) encaixados.
Fios jumper (macho-macho)	Ambas extremidades possuem pinos metálicos (macho), que se encaixam em protoboard ou diretamente nos conectores fêmea do Arduino.	Ambas as extremidades possuem pinos metálicos (macho)
Sensor DHT11	Medir temperatura e umidade do ambiente externo e interno.	Sensor digital que envia informações do ambiente ao Arduino.
Resistor (300 Ω) 10 k $\Omega \pm 5\%$.	Controla a corrente elétrica	Componente que limita o fluxo de corrente elétrica em circuitos. Protege LEDs e sensores de danos por excesso de corrente.
Cabo USB	Conectar o Arduino ao computador	Transfere o código IDE para o Arduino e alimenta a placa (fonte de energia)

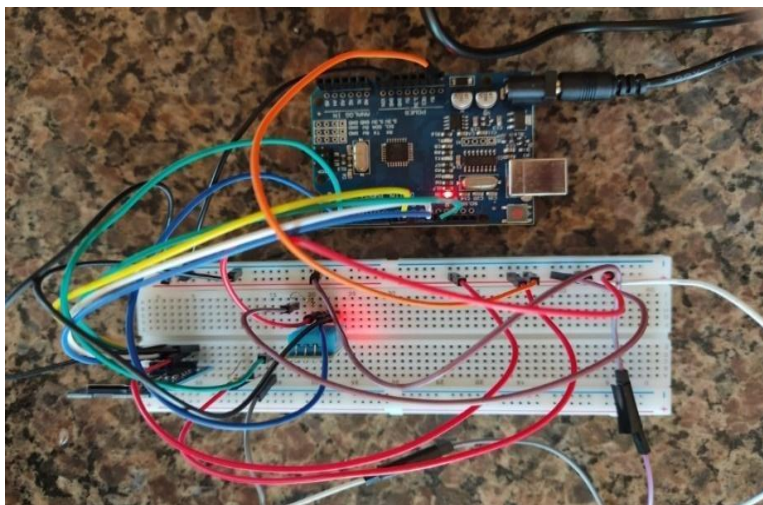
Módulo de leitor de cartão MicroSD	Armazenar dados registrados no Arduino.	Permite que o Arduino grave dados como temperatura e umidade, em tempo real em um cartão microSD. Ideal para experimentos de coletas de dados contínua de dados. Comunicação via interface SPI com pinos: GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS.
Cartão microSD (32GB) e adaptador SD	Armazenar dados dos sensores e transferências de dados dos sensores para o computador	O cartão microSD é inserido no modo leitor para registrar dados de coletados. E o adaptador permite encaixar o cartão microSD de cartão SD. Em entradas padrão de notebook ou leitor externo
Fonte de energia	Fonte de alimentação	Responsável por converter a tensão de rede elétrica para uma tensão contínua mais baixa, adequada para alimentar placa de Arduino e outros componentes eletrônicos do circuito. Essa fonte garante o funcionamento estável do sistema sem depender da energia do computador via USB

Fonte: elaborada pela autora.

4.6.1 Sistemas do Arduino montado.

A figura 15 apresenta a montagem experimental. O sistema foi construído com a placa Arduino uno R3 SMD, sensores e componentes eletrônicos conectados em uma protoboard, permitindo a coleta de dados em tempo real.

Figura - 15 Conjunto de componentes de Arduino conectado ao protoboard



Fonte: Elaborada pela autora,2025.

4.6.2 Vaso de cerâmica e sua finalidade pedagógica.

Quadro 2 - Montagem de um sistema de refrigeração natural com vasos de cerâmica, com coletas e dados automatizados, para investigar os conceitos de temperatura, calor e evaporação.

Item	Montagem
Vaso de cerâmica externo (maior)	Estrutura externa do sistema. Material poroso que permite a evaporação da água e a troca de calor com o ambiente.
Vaso de cerâmica interno (menor) Tipo material 1(cerâmica) Tipo material 2 (plástico) Tipo material 3 (isopor) Tipo material 4 (alumínio)	Onde ficará o sensor de temperatura. Recebe o resfriamento gerado pela evaporação do sistema.
Kit de Arduino (com sensor DHT11)	Realiza a leitura digital automatizada da temperatura e umidade dentro do vaso interno e no ambiente externo.
Pano de algodão	Umedecido e colocado em cima do vaso externo (maior), mantém a superfície úmida por mais tempo e aumenta a área de evaporação, intensificando o resfriamento.
Areia (terra)	Colocando entre vasos. Retém a água e mantém umidade constante, favorecendo a evaporação.

Balança digital	Para pesar a quantidade de areia.
água em temperatura ambiente	Será utilizada para umedecer a terra, fornecendo a condição inicial neutra para observar a eficiência do resfriamento.
Becker (para medir a quantidade de água)	Mede o volume de água.
Notebook com IDE Arduino e SciDAVis	Necessário para programar e visualizar os dados coletados e desenhar gráficos de análise.

Fonte elaborada pela autora.

4.6.3 Descrição dos vasos e física

Além de seu papel físico, os vasos assumem também uma função simbólica e pedagógica, pois representam um objeto cultural, presente em diversas comunidades e utilizadas há séculos para armazenar e conservar água fresca. Dessa forma, o experimento estabelece uma ponte entre saberes populares e científicos, favorecendo a contextualização do ensino de física e a valorização de práticas sustentáveis de um sistema experimental que foi inspirado no modelo conhecido como geladeira do deserto (pot- in -pot) amplamente estudado por Barros Filho et al. (2012), que descrevem a refrigeração evaporativa como uma alternativa sustentável e de baixo custo, capaz de reduzir a temperatura interna de um recipiente de Barro em relação ao ambiente externo.

Em concordância, Chemin et al. (2018) destacam que o funcionamento do pote em pote ocorre pela transferência de calor e resfriamento evaporativo, a água migra pelas paredes porosas do vaso externo e, ao evaporar, retira calor do sistema em função do calor latente de vaporização, provocando uma queda de temperatura do interior do vaso. Os autores demonstram que a diferença térmica pode variar entre 5°C e 20 °C graus Celsius, dependendo de fatores como umidade, ventilação e espessura de paredes.

O refrigerador de barro desenvolvido neste trabalho baseia-se nos mesmos princípios físicos descritos na literatura, adaptado com o uso de sensores e Arduino, possibilitando aos alunos coletar, analisar e interpretar dados experimentais.

Sob a ótica de Vygotsky (1984), o vaso de barro assume a função de instrumento mediador da aprendizagem, pois, ao ser manipulado e analisado, promove a interação social e a construção colaborativa dos saberes dentro da zona de desenvolvimento proximal (ZDP) espaço em que o aluno avança do nível de desenvolvimento real para o potencial, com a mediação dos colegas e do professor.

4.7 Procedimento experimental

O procedimento experimental teve como objetivo investigar o comportamento térmico de recipientes confeccionados com diferentes materiais, a fim de analisar como suas propriedades físicas influenciam um processo de troca de calor e resfriamento evaporativo e serão utilizados um vaso externo de cerâmica, responsável por manter a umidade e permitir a evaporação da água e quatro tipos de vasos internos: cerâmica, plástico, alumínio e isopor. Essa variação de materiais possibilitou comparar o desempenho térmico de cada combinação, observando ciência do resfriamento e a variação de temperatura interna em função do tempo. O arranjo experimental foi construído de forma a manter as mesmas condições de umidade e ambiente para todos os testes assegurando a confiabilidade dos resultados. O sistema foi instrumentado com sensores de temperatura DHT11 conectados a uma placa de Arduino uno R3, permitindo registro automático e contínuo dos dados durante o experimento. As informações coletadas foram posteriormente analisadas por meio de gráfico de temperatura e umidade, de modo identificar qual material apresentou melhor desempenho no isolamento térmico e o resfriamento natural.

4.7.1 Vaso de barro externo e interno vasos de cerâmica

O vaso de barro ou vaso cerâmica é um dispositivo de resfriamento evaporativo passivo que tem custo menor do que sistemas ativos, uma vez que não necessita de eletricidade. Este tipo de refrigerador é conhecido desde a antiguidade e também chamado de refrigerador de água. Segundo autores, “Um refrigerador pot-in-pot, refrigerador de panela de barro ou zeer, é simples e dispositivo de resfriamento evaporativo barato e sem eletricidade. Consiste em um recipiente externo poroso, no qual um recipiente impermeável menor um pote interno” (Chemin et al., 2018 p.206).

O vaso de cerâmica utilizado no experimento é confeccionado em argila cozida, material poroso que permite a migração da água através de suas paredes. O vaso externo, possui dimensões aproximadas de 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 cm de espessura. Essa estrutura possibilita a passagem de pequenas quantidades de água da região interna para a superfície externa, onde ocorre o processo de evaporação. A atividade experimental consiste em dois vasos de barros de tamanhos diferentes, um vaso maior externo e outro vaso menor interno, mostrados na figura 16.

Figura 16 - Vaso externo e interno.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O espaço entre os dois vasos será preenchido com areia, onde será colocada água para molhar a areia. A água passa por um processo de evaporação na superfície externa, retirando calor do sistema devido ao calor latente de vaporização. Esse processo provoca uma redução da temperatura interna, caracterizando o fenômeno de resfriamento por evaporação que pode ser observado empiricamente registrado com sensores de temperatura.

4.7.2 Vaso interno

O experimento consiste em centralizar o vaso menor no interior do vaso maior (externo). Para garantir a padronização entre os quatro conjuntos experimentais, utilizou-se um distanciamento médio de 2 cm entre as paredes dos recipientes, criando assim uma camada intermediária uniforme para o preenchimento com o material poroso. Essa configuração permite

a criação de um sistema de resfriamento passivo por evaporação, conforme o modelo pot-in-pot desenvolvido por Mohammed Bah Abba e analisado por Barros Filho et al. (2011).

4.7.3 Camada intermediária (areia)

A camada de areia é posicionada entre o vaso interno e externo. A areia atua como meio poroso que retém a água e distribui uniformemente a umidade nas paredes dos vasos externos. A evaporação dessa água consome energia térmica sob a forma de calor latente, reduzindo a temperatura no interior do sistema. Esse processo de transferência de calor e a massa é regido pelos princípios da condução térmica Lei de Fourier através das paredes dos vasos e pela convecção Lei de Resfriamento de Newton na superfície externa (Çengel; Ghajar, 2012). Conforme analisado por Barros Filho *et al.* (2011), essa remoção de calor é o que permite a manutenção de temperaturas inferiores à do ambiente externo.

A observação da importância da areia no processo reforça a compreensão de que as propriedades físicas influenciam os fenômenos naturais. Essa discussão favorece o desenvolvimento da curiosidade, do pensamento crítico e da capacidade de experimentação. Sob a perspectiva de Vygotsky, a camada de areia atua como um instrumento mediador técnico, permitindo que o estudante manipule uma variável física concreta para observar o fenômeno abstrato do calor latente de vaporização. A inserção deste componente no experimento justifica-se pelos seguintes pilares da teoria:

Mediação técnica: A areia não é um fim em si mesma, mas uma ferramenta que potencializa a ação do sujeito sobre o objeto de estudo, funcionando como o meio físico que viabiliza a troca térmica descrita matematicamente pela constante de proporcionalidade κ .

Transformação de conceitos: A observação da areia úmida resfriando o sistema auxilia na transição do conceito espontâneo (o senso comum de que a água apenas molha) para o conceito científico, onde a água é entendida como massa que transporta energia ao mudar de fase.

Zona de desenvolvimento proximal: Através da experimentação orientada e da mediação docente, o aluno alcança a compreensão de gradientes de temperatura ($\frac{dx}{dt}$) e coeficientes de convecção (h), níveis de abstração que dificilmente seriam atingidos apenas com a leitura teórica.

Figura 17 - Vaso externo e interno com areia



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Na montagem proposta neste trabalho, dentro do vaso externo foi colocado 1,4kg de areia seca, espalhada uniformemente, conforme a figura 17.

Com auxílio do béquer, meça a quantidade de água necessária e despeje a água lentamente sobre a areia, até que ela fique bem molhada. A umidade deve ser suficiente para permitir a evaporação gradual da água através das paredes do vaso de barro.

Para molhar a areia foi utilizado 900 ml de água e o sistema foi deixado em repouso, com monitoramento de sua temperatura interna e externa ambiente para que ocorra o processo de evaporação, conforme a figura 18.

Figura 18 - Vaso interno e externo com areia molhada.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Após o processo de preparação dos vasos, colocar-se areia entre eles e umedecer o espaço, um sensor de temperatura e umidade foi inserido no interior do vaso interno. Este sensor terá a função de coletar dados precisos sobre a temperatura e a umidade do ambiente interno do vaso. Paralelamente, um segundo sensor de temperatura e umidade será conectado ao protoboard para medir e registrar as condições ambientais externas, como temperatura e umidade do ar.

Fisicamente, o vaso atua como um condutor de calor e meio evaporativo. A água presente na camada de areia entre os vasos é absorvida pelas paredes do vaso externo e evapora em sua superfície. O processo de evaporação consome energia térmica (calor latente de vaporização), retirando calor do sistema e provocando redução da temperatura interna. Esse fenômeno caracteriza o resfriamento evaporativo, princípio também descrito em estudos sobre o pot-in-pot cooler (Chemim et al., 2018; Barros Filho et al., 2011).

A seguir, a Figura 19 apresenta o sistema experimental instalado no ambiente de testes, composto pelo conjunto de vasos cerâmicos e pelo circuito eletrônico baseado na placa Arduino Uno R3 SMD. Essa configuração permite o monitoramento em tempo real, por meio da conexão com um notebook, utilizando o software Arduino IDE. Assim, é possível visualizar as temperaturas e umidades interna e externa do protótipo, possibilitando a análise dos efeitos da evaporação e do resfriamento evaporativo ao longo de toda a aplicação do experimento.

Figura 19 - Um sistema completo com vasos e Arduino



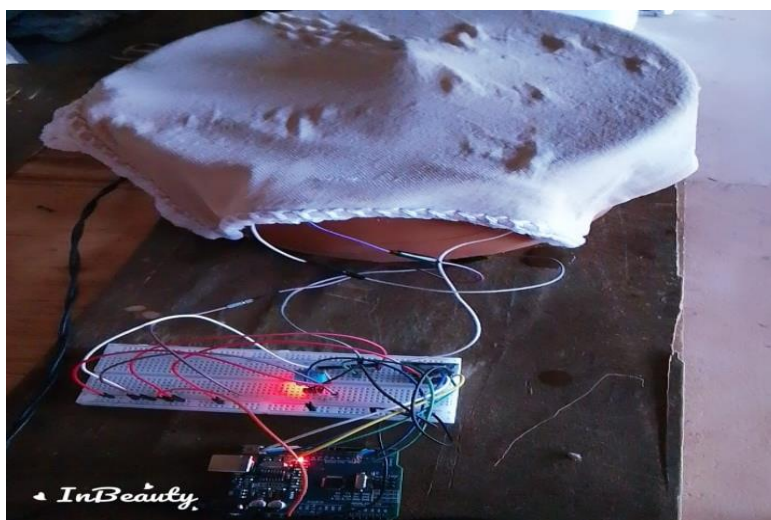
Fonte: Elaborada pela autora 2025.

Continuando a montagem do experimento posicione o sensor de temperatura e umidade (DHT11) próximo a parede interna do vaso de barro, de forma que ele possa captar as variações dentro do recipiente.

Após a instalação do sensor, tampe o vaso interno cuidadosamente com a tampa do vaso como mostra a figura 19, garantindo que o sistema fique isolado, sem interferências nas medições internas.

O pano de algodão umedecido aumenta a área de evaporação do sistema quando a água presente no pano evapora, retirando o calor da superfície do vaso de cerâmica e intensificando a queda de temperatura dentro do sistema. Esse é o mesmo princípio usado o sistema tradicional de refrigeração pote em pote. Essa etapa é essencial para que os alunos compreendam como a evaporação está diretamente relacionada a troca do calor e a redução de temperatura, estabelecendo um vínculo entre o fenômeno físico e a sua aplicação prática. A figura 20 mostra o pano de algodão umedecido, que potencializa ainda mais esse processo, aumentando a área de evaporação.

Figura 20 - Conjunto do protótipo do vaso externo e interno de cerâmica com Arduino coberto com pano de algodão



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A integração do sensor DHT11 ao protótipo, conforme ilustrado na Figura 20, permite a coleta de dados em tempo real sobre a eficácia do resfriamento evaporativo. Observa-se que a utilização do pano úmido amplia a superfície de contato com o ar seco, favorecendo a extração do calor latente de vaporização. Esse arranjo demonstra a transferência de calor e massa, onde a energia térmica é removida do interior do sistema para promover a mudança de fase da água.

De acordo com Barros Filho *et al.* (2011), sistemas baseados no resfriamento evaporativo possuem a capacidade de manter a temperatura interna entre 10 °C e 15 °C abaixo da temperatura ambiente, fenômeno monitorado em tempo real pelo sensor instalado no compartimento interno.

4.8 kits- 2: Vaso de cerâmica e caixa de isopor interno

No roteiro experimental também foi montado um sistema utilizando vaso externo de cerâmica e caixa de isopor interno, conforme mostra a figura ilustrada 21. A caixa de isopor utilizada neste experimento tem a capacidade de 500ml, medindo aproximadamente 8 cm de altura, 15 cm de comprimento e 12 cm de largura.

De acordo com Ademović *et. al* (2017), o isopor é um material composto por poliestireno expandido (EPS), caracterizado por sua baixa condutividade térmica, que é utilizado como material isolante em construção civil e em diversas indústrias como embalagem e produtos alimentícios.

Figura 21 - Vaso externo de cerâmica e caixa interno de isopor



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Neste roteiro experimental o isopor foi escolhido por ser um material de baixa condutividade térmica, atuando como isolante. Dessa forma, foi um dos materiais selecionados para analisar diferentes propriedades físicas no resfriamento e na eficiência do processo. A substituição do vaso interno de cerâmica por um recipiente de poliestireno expandido (isopor) visa analisar o comportamento do sistema quando um dos meios possui uma resistência térmica

elevada. Enquanto a cerâmica porosa permite a condução e a troca de massa, o isopor atua como uma barreira ao fluxo de calor, minimizando a transferência térmica entre a camada de areia úmida e o interior do recipiente Çengel; Ghajar, (2012). Esse arranjo experimental permite que os alunos comparem a eficiência do resfriamento evaporativo em materiais com diferentes propriedades de condutividade térmica, reforçando os conceitos de isolamento e condução discutidos anteriormente com base na Lei de Fourier Çengel e Ghajar (2012). Além disso, essa variação do experimento permite validar os limites do resfriamento passivo discutidos por Barros Filho *et al.* (2011), ao observar como o isolamento do vaso interno afeta a manutenção das baixas temperaturas.

4.9 kits 3: Vaso de cerâmica e recipiente de plástico interno

Neste roteiro experimental foi utilizado um recipiente interno de plástico que possui capacidade de aproximada de 700 ml, medindo cerca de 8 cm de altura e 15 cm de diâmetro. Trata-se de um material plástico polimérico impermeável e de baixa condutividade térmica, que impede a passagem de água pelas paredes e não permite a ocorrência de evaporação, mas permite que o processo de resfriamento aconteça pelas paredes internas. Esse material foi escolhido para comparar a eficiência térmica em relação aos vasos de cerâmica.

Figura 22 - Vaso externo de barro e recipiente interno de plástico



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

A utilização de um recipiente interno de material polimérico atua como um grupo de controle, servindo como ponto de referência para contrastar com o modelo de cerâmica porosa. Essa escolha fundamenta-se na análise dos mecanismos de transferência de calor e massa descritos por Barros (2020), uma vez que a baixa condutividade térmica dos polímeros impõe uma resistência ao fluxo de calor, permitindo isolar a contribuição da porosidade da cerâmica no processo de resfriamento evaporativo.

5.0 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No capítulo 5 apresenta-se o desenvolvimento da sequência didática (SD) e a aplicação do produto educacional. O planejamento da SD foi fundamentado na teoria de Vygotsky para a prática experimental da Termodinâmica.

O capítulo detalha cada etapa da aplicação, fornecendo a análise das atividades realizadas, a mediação docente e os resultados alcançados durante a intervenção pedagógica.

5.1. Estrutura e Justificativa do Questionário Diagnóstico

O planejamento da sequência didática foi estruturado de acordo com os resultados obtidos na análise do questionário de conhecimentos prévios. Este instrumento foi composto por 11 questões dissertativas. Dentre essas questões aplicadas, destacam-se aquelas que abordavam a distinção entre o que é calor, temperatura e o processo físico de resfriamento, organizadas de forma que os estudantes pudessem expressar livremente seus conceitos espontâneos. A opção por questões abertas justifica-se pela necessidade de identificar não apenas o acerto pontual, mas o processo de raciocínio do aluno, permitindo mapear com precisão as lacunas de aprendizado antes da mediação docente.

Dentre as questões aplicadas disponíveis na íntegra no Apêndice A – Caderno do Professor, destacam-se os conceitos.

Fundamentos físicos: A distinção entre os conceitos de calor e temperatura e a compreensão dos mecanismos de troca térmica. Nesta etapa, busca-se identificar a base dos conhecimentos já internalizados para que o professor possa atuar na zona de desenvolvimento proximal do aluno.

Resfriamento em meios porosos: O funcionamento específico do vaso de cerâmica, conectando a teoria física à prática cotidiana. Aqui, o vaso de barro é utilizado como um objeto cultural mediador, facilitando a transição do saber cotidiano para o saber científico.

Sustentabilidade e meio ambiente: A análise do protótipo como uma alternativa de baixo impacto ambiental incentiva a preservação do meio ambiente ao utilizar o resfriamento evaporativo em vez de gases refrigerantes poluentes. Essa abordagem insere a física em um contexto social e histórico, reforçando a dimensão socio-cultural da aprendizagem, onde o estudante compreende a ciência como prática humana voltada à solução de problemas práticos.

Esta abordagem investigativa visou criar um conflito cognitivo, preparando o terreno para a intervenção pedagógica e para a experimentação com o Arduino. Na perspectiva Vygotskyana, o Arduino e os sensores atuam como instrumentos de mediação técnica, permitindo que os dados coletados sirvam para validar ou refutar as hipóteses levantadas pelos alunos. Esse processo facilita a internalização de conceitos científicos complexos, transformando a experiência prática em conhecimento estruturado.

Além do diagnóstico inicial, serão aplicados questionários ao final das atividades, configurando uma avaliação formativa contínua que permite monitorar o desempenho e o engajamento dos alunos durante o desenvolvimento da SD. A aplicação do questionário pré e pós teste é essencial para mensurar a efetividade do produto educacional, permitindo uma análise comparativa do progresso individual e coletivo do desenvolvimento da SD.

A comparação entre o nível de conhecimento apresentado pelos estudantes no questionário prévio e o nível que será alcançado após a aplicação das atividades na sequência didática fornecerá a base necessária para verificar a progressão conceitual dos alunos. Essa análise de dados visa avaliar o impacto do produto educacional na aprendizagem de conceitos de física: calor, temperatura e evaporação, para validar a eficácia da sequência didática proposta.

5.2 Apresentação do Produto Educacional e Entrega dos Documentos (TCLE) e (TALE)

No dia 20 de outubro de 2025, foi realizado o primeiro encontro com os alunos, foi dedicado à apresentação do projeto de pesquisa e do produto educacional. Nesta ocasião, os alunos foram informados sobre o objetivo da pesquisa e sua importância, a sequência didática que seria aplicada, os materiais que seriam utilizados durante as aulas, os experimentos e a participação na pesquisa, que envolveria responder aos questionários prévios e final e que seriam avaliados por meio de um diário de bordo ao final de cada atividade. Foi esclarecido também o direito de desistência, sendo garantido ao aluno que ele poderia se retirar da pesquisa a qualquer momento caso não se sentisse à vontade durante as aulas e que ele não seria prejudicado de forma alguma.

Nesta mesma aula, foram entregues os documentos obrigatórios para a coleta de dados que haviam sido previamente aprovados pelo comitê de ética em pesquisa (CPE) da (UFGD). Os documentos que foram entregues aos alunos foram os termos de consentimento livre e esclarecido, (TCLE), documento destinado aos alunos maiores de 18 anos, solicitando sua

assinatura para a participação nos estudos. Foi entregue também o termo de consentimento livre esclarecido (TALE), destinado aos alunos menores de 18 anos, solicitando sua concordância em participar da pesquisa e exigindo a autorização por escrito, pelos seus pais ou responsáveis. Ambos os termos continham informações detalhadas quanto à quantidade de aulas, as atividades experimentais e o uso de substâncias químicas como a acetona e o álcool. Foi explicitamente informado que o manuseio dessas substâncias seria realizado exclusivamente pela pesquisadora/professora responsável pela pesquisa e não pelos alunos. Portanto, a aula de apresentação foi para fornecer todas as informações necessárias e para que os documentos fossem lidos e levados para a coleta de assinatura dos responsáveis ou dos próprios alunos, antes do início da pesquisa que seria na próxima aula. Esses documentos se encontram no anexo I (TALE) e II (TCLE). A figura 23 registra a sala de aula nesta ocasião.

Figura 23 - Estudantes lendo o documento TALE e TCLE



Fonte: Elaborada pela autora.

No dia da apresentação do projeto havia apenas 18 alunos presentes na sala de aula. Para os alunos ausentes, os documentos de consentimento e assentimento (TCLE) e (TALE) foram entregues no dia seguinte, para garantir que todos os alunos tivessem acesso às informações e os termos antes do início da pesquisa.

5.3 Aplicação do questionário prévio. (1º aula)

A aplicação do questionário prévio ocorreu no dia 22 de outubro de 2025, contando com a participação de 21 alunos. Essa avaliação inicial teve a duração de uma aula está ilustrada na figura 24.

Figura 24 - Estudantes respondendo o questionário prévio



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A elaboração das 11 questões dissertativas pautou-se na transposição didática de conceitos fundamentais da termodinâmica sobre calor, temperatura e evaporação. Para garantir o rigor técnico e a adequação ao nível médio, as questões foram formuladas com base em situações-problema e definições selecionadas das obras de Ramalho, Nicolau e Toledo (2009) e Newton, Helou e Gualter (2016).

A escolha desses manuais didáticos como referência permitiu alinhar o conteúdo do questionário aos conceitos científicos esperados para a etapa escolar, servindo como parâmetro de comparação para o que os alunos já sabiam e o que ainda precisavam internalizar.

5.3.1 A Perspectiva vygotskyana no diagnóstico

Neste contexto, a teoria de Vygotsky (2001) insere-se como o alicerce metodológico para a interpretação deste questionário. O instrumento não visa uma correção punitiva de erros e acertos, mas atua em três frentes teóricas:

1. Identificação de conceitos espontâneos: O questionário identifica as concepções iniciais dos estudantes, que Vygotsky define como o conhecimento construído na experiência cotidiana, muitas vezes fragmentado e intuitivo.

2. Mapeamento da zona de desenvolvimento proximal: Ao diagnosticar lacunas de aprendizagem sobre trocas de calor, variação de temperatura e evaporação, o professor identifica o nível de desenvolvimento real do aluno. Isso possibilita ajustar o planejamento para que a mediação docente ocorra exatamente na ZDP, conduzindo o estudante ao nível de desenvolvimento potencial.
3. Realidade cognitiva e mediação: A análise das respostas permite que o professor organize uma abordagem mais coerente com a realidade da turma. Assim, a intervenção didática deixa de ser uma transmissão passiva de fórmulas e passa a ser um processo de mediação, transformando o saber espontâneo do aluno em saber científico estruturado, como o detalhado nas leis de condução e resfriamento.

5.3.2 Justificativa metodológica de aplicação entre conceitos espontâneos e científicos

A análise do questionário prévio, aplicado a 21 estudantes (totalizando 231 registros de respostas), revela um cenário típico de turmas que ainda não passaram por uma instrução formal sobre termodinâmica, onde o senso comum e a ausência de resposta predominam sobre o rigor científico.

A análise dos conhecimentos prévios aqui apresentada fundamenta-se na perspectiva histórico-cultural de Lev Vygotsky (2001), especificamente na distinção entre conceitos espontâneos e conceitos científicos. Segundo Vygotsky, os conceitos espontâneos são aqueles construídos a partir da experiência imediata e assistemática da criança em seu cotidiano, enquanto os conceitos científicos são adquiridos por meio da instrução formal, caracterizando-se por serem conscientes e fazerem parte de um sistema hierárquico de generalização.

A categorização por cores adotada nesta pesquisa (verde, amarelo, laranja, vermelho e cinza) para o quadro 3 e a tabela 2, visa identificar em que estágio de desenvolvimento o estudante se encontra em relação ao objeto de estudo. Sob a ótica vygotskyana, as concepções alternativas (laranja) representam os conceitos espontâneos, muitas vezes baseados na percepção sensorial imediata. As concepções científicas parciais (amarelo) sinalizam a zona de desenvolvimento proximal, onde o estudante já começa a internalizar a linguagem científica, mas ainda não domina a estrutura sistêmica do conceito.

O uso da cor cinza (A) para "Não soube responder" e vermelho (B) para "em branco" justifica-se pela necessidade de identificar lacunas onde o conceito científico ainda não encontrou uma análise conceitual no pensamento do aluno. Conforme Vygotsky defende, o

conceito científico não é aprendido por memorização, mas por um processo complexo de desenvolvimento; assim, o silêncio do aluno (cinza/vermelho) ou sua fala intuitiva (laranja) são os pontos de partida reais para a intervenção pedagógica proposta nesta dissertação.

5.3.3 Justificativa metodológica e categorização de dados

A categorização por cores adotada nesta pesquisa visa identificar em que estágio de desenvolvimento o estudante se encontra em relação ao objeto de estudo. À luz da perspectiva histórico-cultural de Vygotsky, e em consonância com as discussões apresentadas por Camico (2025) “os conceitos espontâneos são aqueles formados a partir do conhecimento do próprio indivíduo e os produzidos a partir da aprendizagem são os conceitos científicos”, evidenciando a importância da mediação pedagógica para a construção do conhecimento científico no contexto escolar. Conforme afirmam Leão; Kalhil (2015) “o segundo processo está relacionado com a formação de conceitos científicos, que acontecem na escola, onde devem ser trabalhados de forma correta, pelos professores, pois se isso não acontece, o processo de formação de conceitos científicos não ocorrerá.” (Leão; Kalhil, 2015, p. 4601).

Quadro 3 - Estrutura de cores para análise dos conhecimentos prévios

Concepção científica	 CC (Verde)	O estudante demonstra domínio do conceito sistêmico e uso correto da terminologia física
Concepção científica Parcial	 CCP (Amarelo)	Estágio de transição; o aluno reconhece o fenômeno, mas a explicação técnica é incompleta ou assistemática.
Concepção Alternativa	 CA (Laranja)	Predomínio de conceitos espontâneos e percepções do senso comum/intuitivas.
Não soube responder	 A (Cinza)	O aluno expressa desconhecimento sobre o tema.
Branco	 B (Vermelho)	Ausência total de registro (omissão de resposta).
Ausente	 AU (cinza claro)	Aluno ausente que não veio a aula.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

As questões do questionário prévio foram as seguintes:

1. O que você entende por calor?
2. Qual a diferença entre calor e temperatura?
3. Cite exemplos do dia a dia onde você observa o processo de evaporação?
4. Cite exemplos do cotidiano em que ocorre a troca de calor entre corpos?
5. O que é evaporação? Dê um exemplo?
6. Quais fatores podem influenciar na velocidade da evaporação de um líquido?
7. Você já ouviu falar sobre o uso de vasos de cerâmica para conservar alimentos ou água? Como você acha que eles funcionam?
8. Você já ouviu falar em sistemas de refrigeração que não utilizam energia elétrica?
9. Como você acha que os conceitos de calor e evaporação podem ser aplicados na construção de sistemas de conservação de alimentos?
10. Por que a água evapora?
11. Considerando o conceito de sustentabilidade, como o uso de vasos de cerâmica para conservação pode contribuir para a preservação ambiental em comunidades rurais?

Tabela 2: Análise conceitual do questionário prévio

Aluno	Q1:	Q2:	Q3:	Q4:	Q5:	Q6:	Q7:	Q8:	Q9:	Q10:	Q11:
1.	CA	CA	CCP	CA	CCP	CA	A	A	CA	CA	CA
2.	CCP	CC	CCP	CC	CA	CCP	CC	CCP	CCP	CC	CCP
3.	A	A	CCP	CC	CCP	CCP	CCP	A	A	A	CCP
4.	CCP	CCP	CCP	CC	CA	CA	A	CA	A	CA	A
5.	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
6.	A	A	CCP	A	A	CA	A	A	A	CA	CA
7.	A	A	A	A	CCP	A	A	CA	A	A	A
8.	CA	CCP	CCP	CC	CCP	A	A	CA	A	CA	CA
9.	CCP	CA	CCP	CC	CCP	A	A	CA	A	CA	CA
10.	CC	CCP	CCP	A	CCP	CA	CCP	CCP	A	CA	A
11.	CA	CA	CCP	CC	CCP	A	A	CA	A	CA	A
12.	CCP	CCP	CCP	CCP	CA	CA	A	A	CA	CA	A
13.	CA	CA	A	CA	CCP	CA	CA	CA	A	CA	A
14.	CCP	CA	CA	CA	CA	CA	A	A	A	CA	A
15.	CCP	CCP	CCP	A	CA	CCP	A	A	A	CA	A
16.	CA	A	CCP	A	A	A	CA	CA	A	A	A
17.	CA	CA	A	CCP	CA	A	A	A	A	A	A
18.	CCP	CA	A	A	CCP	B	B	B	B	B	B
19.	CCP	CA	CCP	CC	CC	A	A	A	A	A	A
20.	CA	A	CCP	A	A	CA	A	A	A	A	A
21.	CA	A	CCP	CA	CC	CA	A	A	A	CA	A
22.	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU
23.	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU
24.	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU
25.	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU	AU

Fonte: elaborada pela autora, 2026.

5.3.4 Síntese análise e discussão dos resultados

A análise do questionário mostra que o senso comum e a ausência de posicionamento predominam sobre o rigor científico entre os participantes. Os dados compilados na Tabela 2 demonstram a seguinte distribuição de respostas em cores:

- Concepções científicas (verde 5%): representam a menor parcela dos resultados, evidenciando uma lacuna no domínio técnico do conteúdo.
- Não soube responder (cinza 39%): categoria predominante, indicando incerteza ou desconhecimento sobre o tema proposto.
- Concepções alternativas (laranja 23%): respostas baseadas em explicações do cotidiano ou intuições que divergem do modelo científico formal.
- Alunos ausentes (cinza claro 12%): composto por alunos ausentes que não veio na aula.
- Questões deixadas em branco (vermelho 2%).

A disposição cromática da tabela 2 permite uma visualização imediata do perfil conceitual da turma. Observa-se que a configuração predominante oscila entre o laranja (Concepções Alternativas - CA) e o cinza (Ausência de Resposta - A), evidenciando que a maioria dos estudantes se encontra no domínio dos conceitos espontâneos ou em uma zona de desconhecimento total sobre os fenômenos físicos da termodinâmica. A predominância de concepções alternativas e altos índices de "não soube responder" reforça a necessidade de intervenções pedagógicas, como o experimento do refrigerador cerâmico, para transpor o obstáculo do senso comum. Como aponta Barros (2020), a experimentação é uma ferramenta fundamental para que o aluno compreenda os mecanismos de transferência de calor e massa, saindo da dúvida para a compreensão física.

5.3.5 Interpretação por categorias

- Concepções Científicas (verde): Concentradas na Q4, indicando que os alunos reconhecem a troca de calor no cotidiano, mas têm dificuldade em explicá-la teoricamente.

- **Concepções Científicas Parciais (amarelo):** Com 19%, destacam-se nas questões sobre evaporação (Q3 e Q5), onde o aluno identifica o processo, mas não usa a linguagem da física.
- **Concepções Alternativas (laranja):** Fortes na Q1, onde o calor ainda é tratado como um "fluido", confundindo-o com temperatura.
- **Lacunas Técnicas (cinza e vermelho):** A alta incidência de cinza da Q7 à Q11 demonstra que, diante de aplicações técnicas como os vasos de cerâmica, os alunos perdem a base do senso comum e optam pelo silêncio pedagógico.

5.3.6 Destaques da análise

- **Obstáculos epistemológicos (laranja - CA):** As questões Q1 (conceito de calor) e Q6 (fatores de evaporação) apresentam uma alta densidade de Concepções Alternativas. Isso sugere que os estudantes possuem explicações intuitivas muito fortes, o que, segundo Camico (2025), pode atuar como um obstáculo à apreensão do conceito científico.
- **Zona de desenvolvimento proximal (amarelo - CCP):** As questões Q3 e Q5 mostram um volume significativo de concepções parciais. Nestes pontos, o amarelo indica que os alunos já reconhecem o fenômeno da evaporação no cotidiano, mas ainda carecem da sistematização teórica necessária para atingir o nível científico (verde).
- **O "vazio" de aplicação (cinza - A):** Nota-se um aumento expressivo das células cinzas e vermelhas a partir da Q7. (vermelho). Esse bloco de questões exige a aplicação técnica do resfriamento evaporativo com vasos de cerâmica. A ausência de respostas indica que não há um conceito espontâneo prévio que dê suporte a essa aplicação tecnológica, tornando está a área de maior necessidade de intervenção didática.
- **Indícios de sucesso (verde CC):** A Q4 destaca-se por possuir o maior número de respostas científicas. Isso demonstra que a ideia de "troca de calor" é mais palatável e próxima da realidade dos alunos do que a definição abstrata de calor em si.

5.3.7 Discussão dos dados: o vaso de cerâmica e a sustentabilidade (Questões 7 e 11)

A análise detalhada da Questão 7 ("Como você acha que os vasos de cerâmica funcionam?") e da Questão 11 ("Como o uso desses vasos pode contribuir para a preservação

ambiental?") revela o maior desafio diagnóstico desta pesquisa. Destacam – se os aspectos a seguir:

- O Vazio conceitual e a transição (cinza): observa-se na tabela 2 uma predominância de respostas cinza (A) e laranja (CA) na Q7, indicando que, embora o vaso de cerâmica seja um objeto comum em comunidades rurais, o seu princípio de funcionamento é desconhecido pela maioria dos estudantes. Os poucos alunos classificados como amarelo (CCP) reconhecem que o vaso "mantém a água fria", mas não conseguem explicar o processo físico de porosidade e troca de calor latente.
- A Interdisciplinaridade na Q11: Na Questão 11, o objetivo foi verificar se o estudante consegue articular o fenômeno físico do resfriamento evaporativo com o conceito de sustentabilidade. A ausência quase total de respostas verdes (CC) nesta questão demonstra que a visão de ciência dos alunos ainda está desconectada de soluções socioambientais.
- Potencial pedagógico: Segundo a perspectiva de Vygotsky, este cenário é ideal para a intervenção, pois o "vazio" de respostas permite introduzir o conceito de tecnologia social. A proposta didática utilizará o vaso de cerâmica como um "objeto mediador" para transformar o desconhecimento (cinza) em um conhecimento científico (verde) que possui valor social: a refrigeração de baixo custo e baixo impacto ambiental para comunidades sem acesso à energia elétrica.

A convergência entre a falta de explicação física (Q7) e a dificuldade de visão sustentável (Q11) justifica a necessidade de uma sequência didática que não apenas ensine física, mas que promova a alfabetização científica. O objetivo é que, ao final da intervenção, o aluno compreenda que a evaporação na superfície porosa do vaso é uma solução sustentável viável, unindo o saber tradicional à termodinâmica.

5.3.8 Síntese do questionário prévio

A análise desse questionário permitiu quantificar o nível de compreensão dos estudantes antes da intervenção pedagógica e identificar suas principais dificuldades conceituais. De acordo com Vygotsky (1998), o conhecimento prévio do estudante formado nas interações sociais e experiências cotidianas constitui a base sobre a qual novos significados científicos podem ser construídos. No entanto, esses conhecimentos espontâneos nem sempre

correspondem ao conceito científico adequado, o que gera obstáculos na aprendizagem de temas abstratos, como os fenômenos termodinâmicos.

Vygotsky (2001) afirma que “os conceitos científicos se desenvolvem para baixo, através dos conceitos espontâneos; os conceitos espontâneos desenvolvem-se para cima, através dos conceitos científicos”. O aprendizado eficiente ocorre na interação dinâmica entre esses dois sistemas, em que a organização lógica dos conceitos científicos reorganiza a estrutura dos conceitos cotidianos, permitindo que o aluno alcance níveis mais elevados de abstração e pensamento reflexivo. Castro (2019) complementa essa análise ao afirmar que os conceitos científicos não têm relação direta com o desenvolvimento natural dos conceitos espontâneos.

Nesse sentido, dificuldades como distinguir calor de temperatura, compreender o papel da energia cinética das moléculas ou explicar a evaporação em nível microscópico estão diretamente relacionadas ao fato de que esses conceitos requerem um elevado nível de generalização e pensamento teórico, que não se desenvolvem espontaneamente no cotidiano. Além disso, Vygotsky destaca que os conceitos espontâneos, embora se formem antes dos conceitos científicos, não são suficientes para o domínio sistemático dos conteúdos escolares, pois carecem de organização lógica e de consciência reflexiva.

Vygotsky (2009) elabora essa distinção ao diferenciar os conceitos cotidianos espontâneos, ricos em experiência imediata, dos conceitos científicos (sistematizados), que exigem níveis superiores de abstração e consciência para serem internalizados, justificando a dificuldade dos estudantes em lidar com temas como calor e temperatura.

Dessa forma, os resultados obtidos e analisados graficamente nesta seção evidenciam a necessidade de práticas pedagógicas mediadas, que promovam o desenvolvimento de funções psicológicas superiores, como generalização, comparação e análise conceitual. Isso implica a criação de situações de aprendizagem que conectem os fenômenos físicos do cotidiano a modelos científicos mais complexos.

5.4 Aplicação da Sequência Didática – Plano de Aula (2ª e 3ª Aula)

Título da Aula: Conceito de temperatura, calor e evaporação

Duração Prevista: 100 minutos (duas aulas/50 minutos)

5.4.1-Objetivo da aula: Aplicação da sequência didática (2ª e 3ª Aula)

Objetivo da aula: Promover a compreensão dos conceitos de temperatura, calor e evaporação por meio da leitura orientada e da reflexão individual registrada no questionário pós teste.

Aula 2: organização do grupo e leitura de apostila

Nesta etapa da aplicação da sequência didática, conforme mostra a imagem da aula 2 foi realizada no dia 27 de outubro de 2025. A turma foi organizada em quatro grupos, cada grupo foi composto por 6 ou 7 estudantes. Cada grupo recebeu capítulos selecionados de livros didáticos de física impressos: Ramalho, Nicolau e Toledo (2009); Newton, Helou e Gualter (2016); Bonjorno et al. (2016), contendo os conceitos fundamentais de temperatura, calor e evaporação.

Figura 25 - Imagem da divisão de grupos em estudos



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A proposta consistiu em promover uma leitura ativa e colaborativa, com foco na construção conjunta do conhecimento científico e na apropriação dos conceitos necessários para o desenvolvimento das atividades experimentais posteriores. Nesta atividade participaram 22 alunos e o objetivo foi de favorecer a compreensão dos conceitos de temperatura, calor e evaporação por meio da leitura orientada e da reflexão individual.

5.4.2 Aula 3: estudo em grupo e aplicação de questionário pós - teste

A aula 3, por sua vez, foi aplicada no dia 29 de outubro de 2025 e 19 alunos responderam ao questionário pós – teste. As 5 perguntas extraídos das apostilas que os grupos

estavam estudando, as questões abaixo foram as seguintes e se encontra disponível dentro do caderno do professor na Apêndice A na aula 3:

1. Explique com suas palavras o que é temperatura. Como ela difere do conceito de calor?
2. Por que dizemos que o calor “passa” de um corpo para outro? Em que condições isso acontece?
3. Explique o fenômeno da evaporação e dê um exemplo cotidiano.
4. Qual é a relação entre evaporação e calor? A evaporação absorve ou libera calor? Justifique.
5. Durante um experimento, dois copos com a mesma quantidade de água são deixados ao sol: um coberto e o outro descoberto. Qual deles evapora mais rápido? Explique o motivo com base nos conceitos estudados.

Durante todo o processo, a professora acompanhou os grupos, observando as interações e levantando questionamentos sobre os conceitos presentes nos textos estudados. Tanto na aula 2 quanto na aula 3, observou-se uma preocupação significativa com os resultados, especialmente devido ao desinteresse de parte dos estudantes em relação à leitura da apostila. Alguns alunos demonstraram engajamento, realizando a leitura e discutindo o conteúdo com os colegas do grupo; porém, outros mostraram pouca motivação para a atividade, o que exigiu maior mediação docente.

Na aula 3, conforme ilustrada na figura 26, a aplicação da atividade teve a duração de 30 minutos antes de finalizar a aula. Foi aplicado um questionário pós-teste, cuja finalidade principal foi a de verificar se os estudantes realizaram a leitura proposta e compreenderam os conceitos fundamentais de temperatura, calor e evaporação. Essa verificação é essencial, uma vez que a sequência didática está estruturada com base na metodologia de ensino por investigação, a qual exige que os alunos dominem certos conceitos iniciais para que possam formular hipóteses, levantar problemas e construir explicações durante as atividades experimentais.

Figura 26 - Aplicação do questionário pós - teste



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O questionário foi aplicado individualmente, embora as discussões entre os integrantes dos grupos tenham sido permitidas a fazer em grupo, considerando que a leitura havia sido realizada de forma colaborativa. Dessa forma, esperava-se que cada estudante respondesse com base em sua própria compreensão, ainda que pudesse dialogar com seus colegas para esclarecer dúvidas pontuais. Contudo, foi possível observar que alguns alunos não se envolveram plenamente com a atividade de leitura em alguns casos, não leram sequer uma linha do material proposto e acabaram recorrendo às respostas dos colegas para completar o questionário. Esse comportamento evidenciou diferenças significativas no engajamento dos estudantes, bem como a necessidade de maior acompanhamento e mediação docente para garantir a participação efetiva de todos.

Segundo Vygotsky (2001), o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando o estudante é mediado por instrumentos culturais como textos, linguagem e símbolos e por outras pessoas mais experientes, como o professor e os colegas. É fundamental que o aluno possua uma base mínima de conhecimentos prévios sobre o tema estudado; a aplicação do questionário, portanto, permite verificar se essa base foi construída, exercendo uma função transitória

5.4.3 Análise do questionário pós – teste Aula 3.

A análise dos dados da Aula 3 tem como propósito compreender como os estudantes interagem e transformam seus conhecimentos sobre o capítulo do livro que foi fornecido. As respostas dos alunos foram organizadas em três categorias de compreensão: concepções alternativas, concepções parcialmente científicas e concepções científicas, permitindo observar como cada estudante se posiciona nesse processo interativo que caracteriza a construção social do conhecimento. Conforme afirma Camico (2025):

A termodinâmica é um dos pilares da física e desempenha um papel fundamental na compreensão de fenômenos naturais e tecnológicos. No entanto, o ensino desse tema apresenta desafios significativos devido às concepções alternativas que os estudantes trazem consigo. Essas concepções, frequentemente baseadas em experiências cotidianas e interpretações intuitivas, podem dificultar a aprendizagem e a construção de um conhecimento mais aprofundado e cientificamente embasado (Camico, p. 47, 2025).

Ao final da Aula 3, após o estudo colaborativo sobre calor, temperatura e evaporação, aplicou-se um questionário individual. Embora a resolução fosse pessoal, a orientação foi para que os estudantes trocassem ideias; observou-se, então, uma interação espontânea entre os pares, fruto da dinâmica de grupo das aulas anteriores. Essa troca permitiu a negociação de significados, na qual cada estudante registrou sua resposta final conforme seu entendimento individual.

Essa abordagem busca evidenciar os processos psicológicos superiores envolvidos no aprendizado, destacando o papel do ensino como promotor do desenvolvimento. Assim, o questionário cumpriu sua função de verificar a compreensão dos conceitos fundamentais e fornecer indícios de como esses conhecimentos foram apropriados no contexto colaborativo, antes da realização das atividades experimentais.

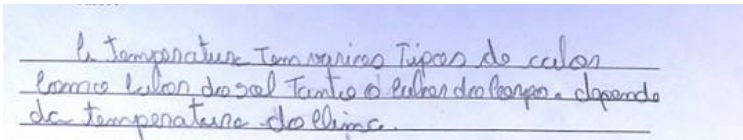
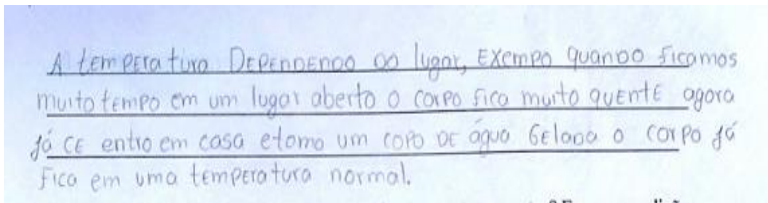
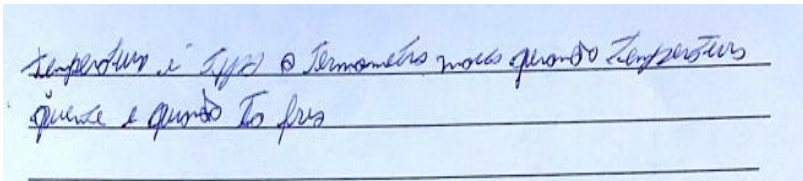
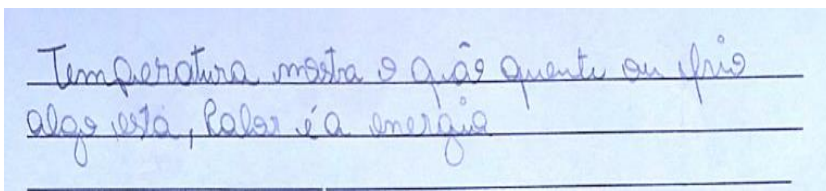
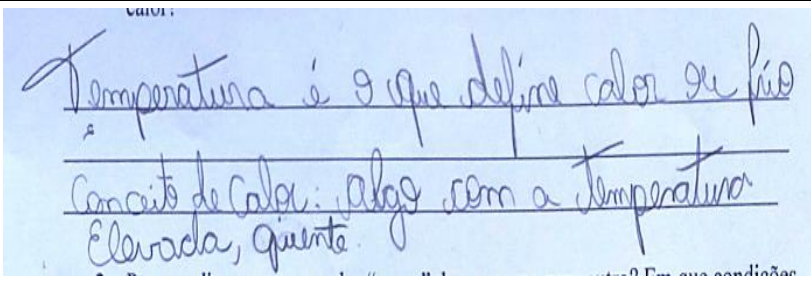
5.4.3.1 Questão 1.

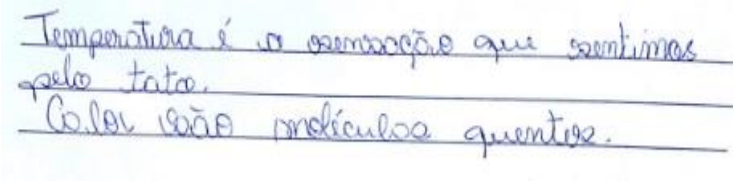
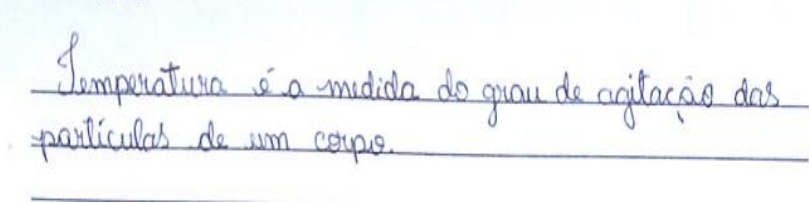
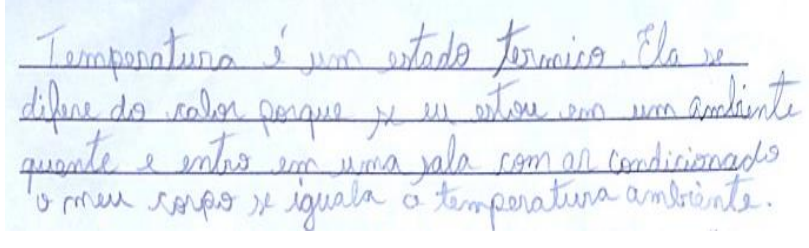
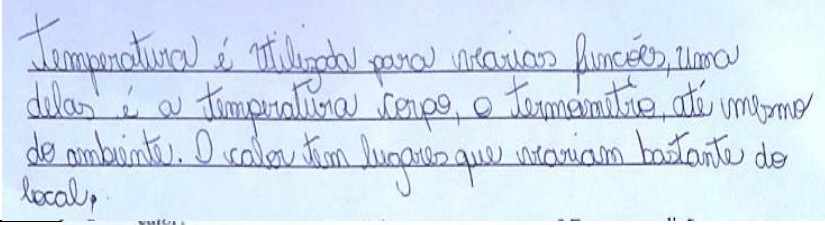
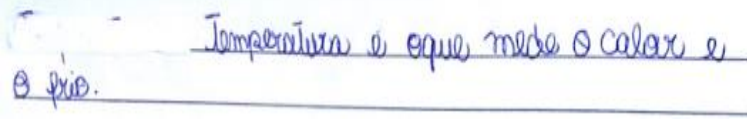
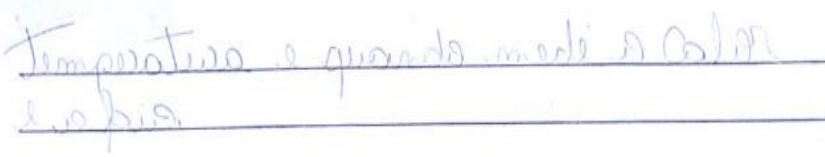
Explique com suas palavras o que é temperatura. Como ela difere do conceito de calor?

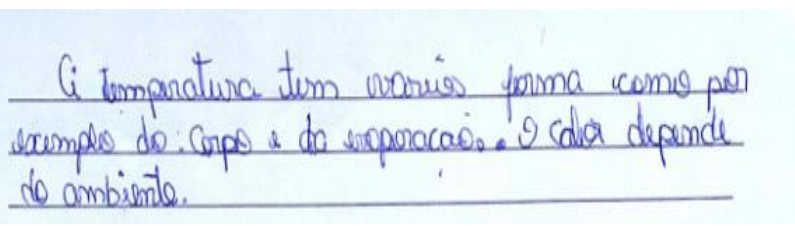
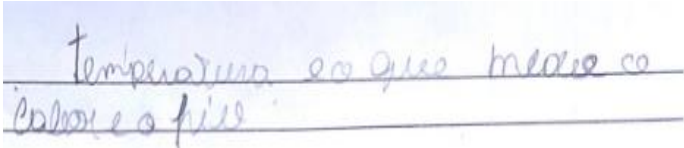
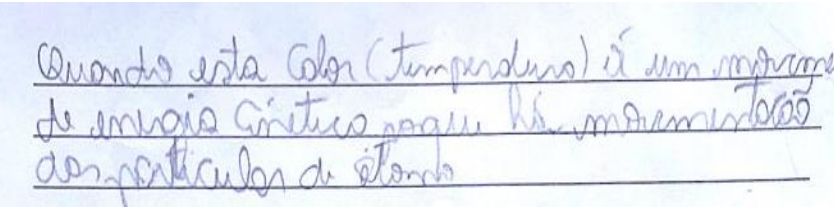
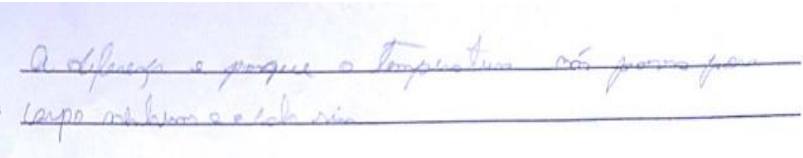
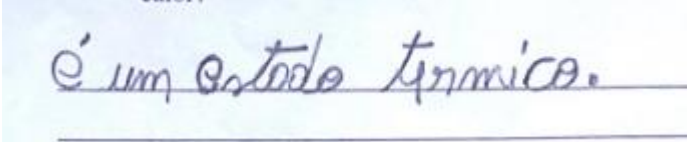
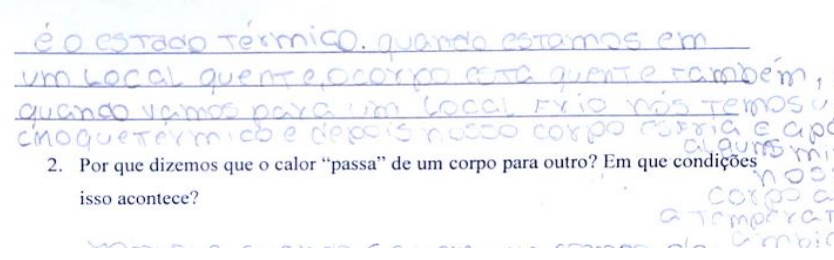
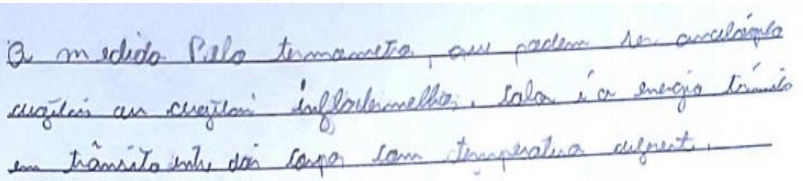
A Questão 1 tem como objetivo verificar se, após as atividades colaborativas das Aulas 2 e 3, os estudantes conseguem diferenciar os conceitos de temperatura e calor à luz do conhecimento científico. Busca-se identificar indícios de avanço conceitual decorrentes das interações em grupo, especialmente no que se refere à compreensão da temperatura como

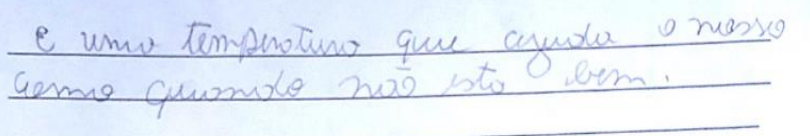
grandeza física e do calor como energia em trânsito, aspectos fundamentais para a abordagem dos fenômenos de evaporação. Os resultados aparecem no quadro 4.

Quadro 4 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas, concepções científicas parciais e concepções científicas

Questão 1	Resposta do aluno	Classificação
Aluno 1		Concepções alternativas
Aluno 2		Concepções alternativas
Aluno 3		Concepções alternativas
Aluno 4		Concepções científicas parciais
Aluno 5		Concepções alternativas

Aluno 6	 Temperatura é a sensação que sentimos pelo tato. Calor são moléculas quentes.	Concepções alternativas
Aluno 7	 Temperatura é a medida do grau de agitação das partículas de um corpo.	Concepções científicas
Aluno 8	 Temperatura é um estado térmico. Ela se difere do calor porque se eu estou em um ambiente quente e entro em uma sala com ar condicionado o meu corpo se iguala a temperatura ambiente.	Concepções científica parciais
Aluno 9	 Temperatura é utilizada para várias funções, uma delas é a temperatura do corpo, o termômetro, até mesmo do ambiente. O calor tem lugares que variam bastante do local.	Concepções alternativas
Aluno 10	 Temperatura é que mede o calor e o frio.	Concepções alternativas
Aluno 11	 Temperatura é quando mede o calor e o frio.	Concepções alternativas

Aluno 12		Concepções alternativas
Aluno 13		Concepções alternativa
Aluno 14		Concepções científicas
Aluno 15		Concepções alternativas
Aluno 16		Concepções Científica parciais
Aluno 17		Concepções alternativas
Aluno 18		Concepção científicas

Aluno 19		Concepções Alternativas
----------	--	-------------------------

Fonte: elaborada pela autora, 2025

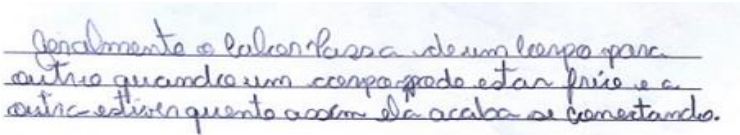
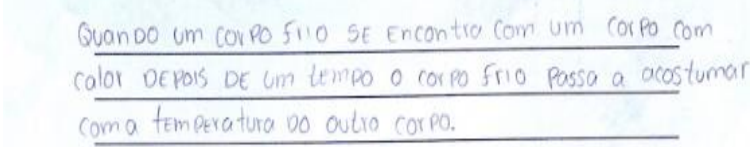
Os resultados do quadro 4 indicam que, mesmo após as atividades colaborativas, a maioria dos estudantes ainda apresenta dificuldades em diferenciar os conceitos de temperatura e calor, mantendo explicações baseadas em ideias intuitivas, como a associação da temperatura à sensação corporal. Esses dados evidenciam que os alunos se encontram em um processo de transição entre conceitos espontâneos e conceitos científicos, o que reforça a necessidade de continuidade da mediação pedagógica e de novas situações didáticas que favoreçam a reorganização conceitual desses conhecimentos.

5.4.3.2 Questão 2:

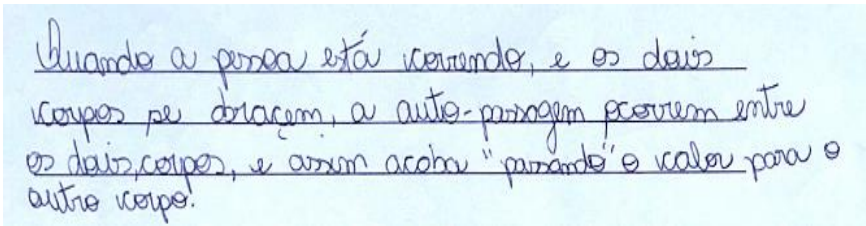
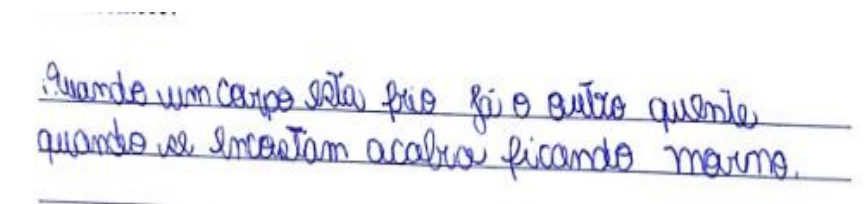
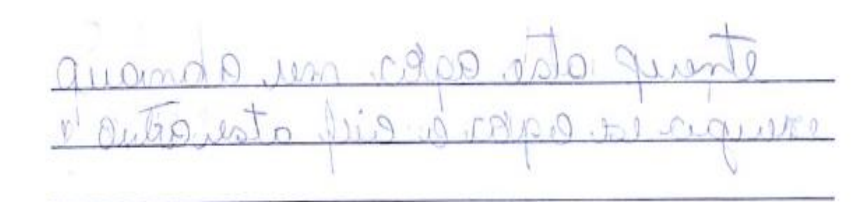
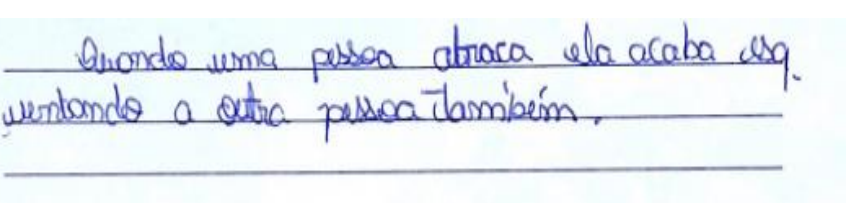
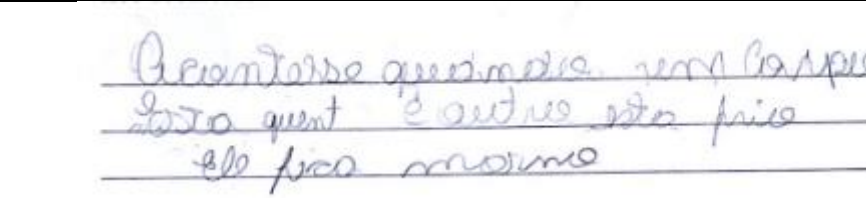
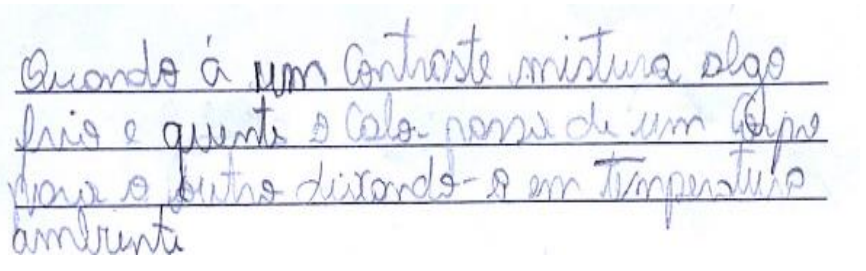
Por que dizemos que o calor “passa” de um corpo para outro? Em que condições isso acontece?

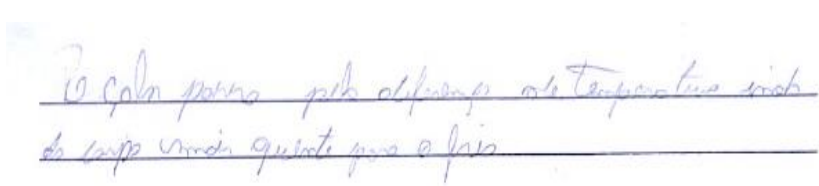
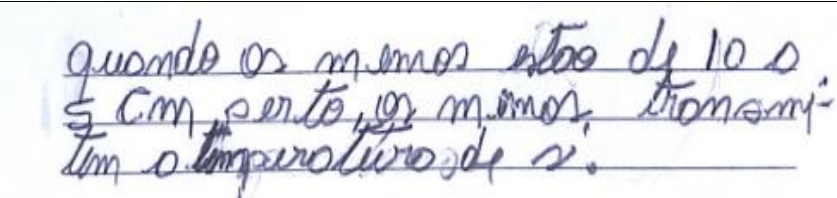
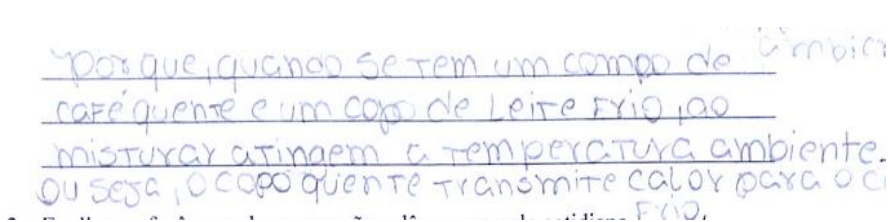
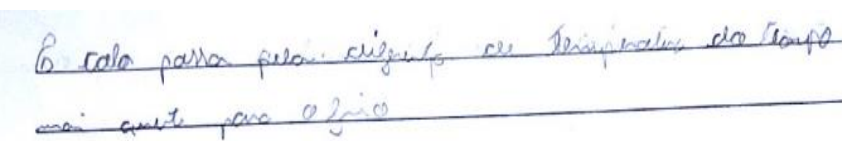
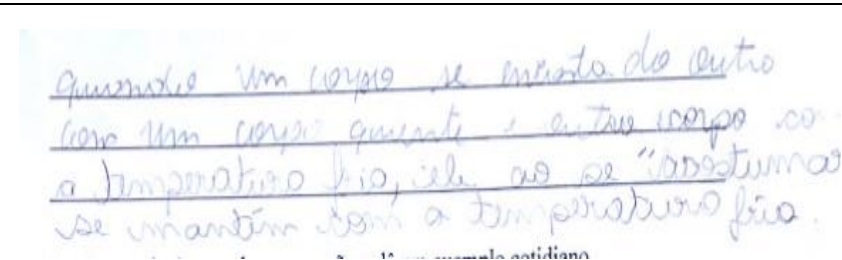
A Questão 2 teve como objetivo verificar se os estudantes compreenderam o princípio da transferência de calor após as leituras orientadas e o estudo colaborativo realizados nas Aulas 2 e 3. Buscou-se identificar se os alunos reconhecem o calor como energia em trânsito, associada à diferença de temperatura entre corpos, e se conseguem explicar as condições em que esse processo ocorre em situações do cotidiano.

Quadro 5 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas, concepções científicas parciais e concepções científicas

Questão 2	Resposta do aluno	Classificação
Aluno 1		Concepções alternativas
Aluno 2		Concepções científicas parciais

Aluno 3		Concepções científicas parciais
Aluno 4		Concepções científicas
Aluno 5		Concepções científicas parciais
Aluna 6	isso acontece?	Concepções científicas parciais
Aluno 7		Concepções científicas parciais
Aluno 8		Concepções científicas

Aluno 9	 Quando a pessoa está correndo, e os dois corpos se chocam, a auto-pressão provém entre os dois corpos, e assim acaba "passando" o calor para o outro corpo.	Concepções alternativas
Aluno 10	 Quando um corpo está frio e o outro quente, quando se chocam acaba ficando mesmo.	Concepções científicas parciais
Aluno 11	 quando um corpo está quente e outro está frio o corpo se aquece.	Concepções científicas parciais
Aluno 12	 Quando uma pessoa abraça ela acaba esfriando e a outra pessoa também.	Concepções científicas parciais
Aluno 13	 Quando se chocam um corpo está quente e o outro está frio ele fica mesmo.	Concepções científicas parciais
Aluno 14	 Quando há um contraste mistura algo frio e quente e logo passa de um corpo para o outro deixando-o em temperatura ambiente.	Concepções científicas parciais

Aluno 15		Concepções Alternativas
Aluno 16		Concepções Alternativas
Aluno 17		Concepções científicas parciais
Aluno 18		Concepções alternativas
Aluno 19		Concepções científicas parciais

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Os resultados do quadro 5 indicam que, mesmo após o estudo colaborativo, muitos estudantes ainda apresentam dificuldades na compreensão da transferência de calor, mantendo explicações intuitivas e pouco generalizáveis. A predominância de respostas parcialmente corretas sugere que as atividades em grupo favoreceram avanços conceituais iniciais, porém insuficientes para a plena internalização dos conceitos científicos formais. Esses dados evidenciam que os alunos

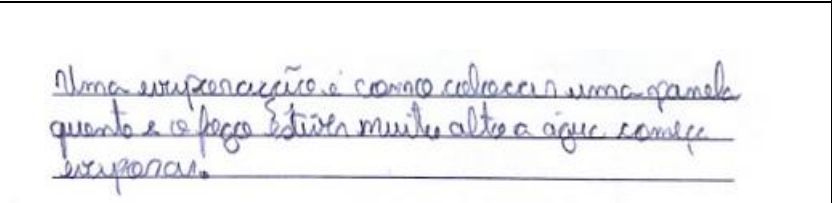
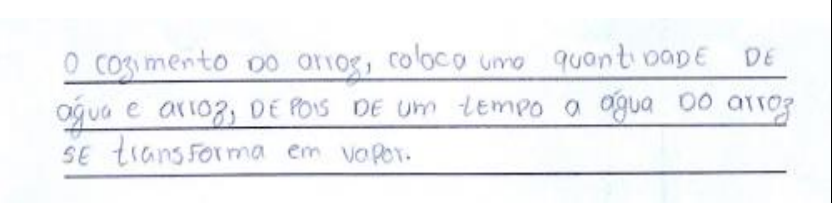
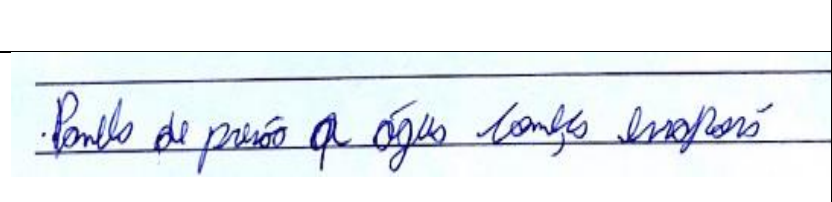
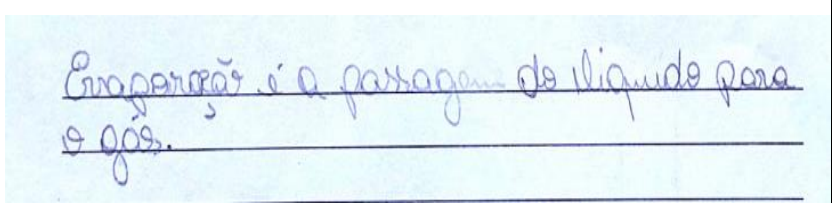
se encontram em processo de transição entre conceitos espontâneos e científicos, o que reforça a necessidade de mediação pedagógica contínua e de novas situações experimentais orientadas.

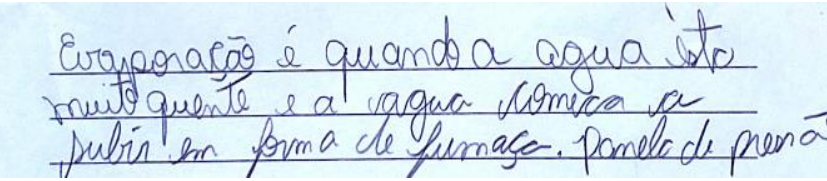
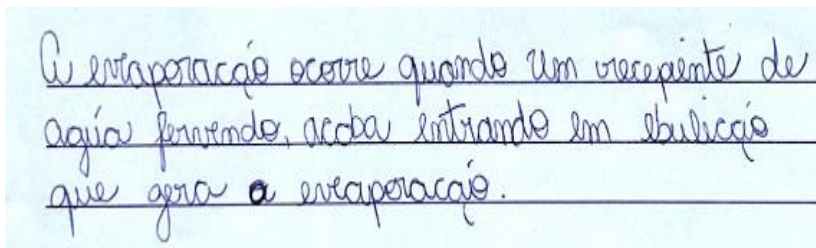
5.4.3.3 Questão 3.

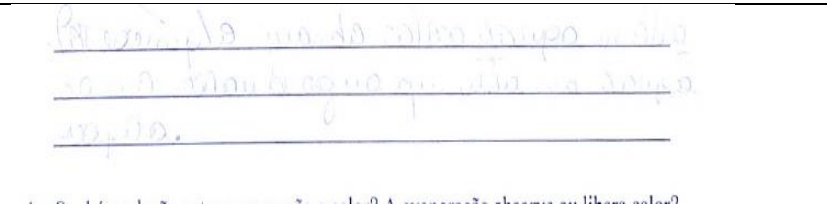
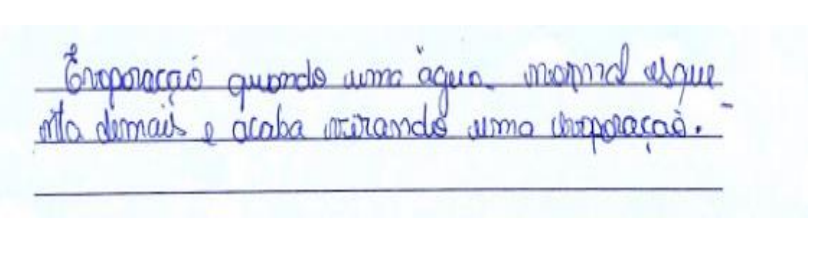
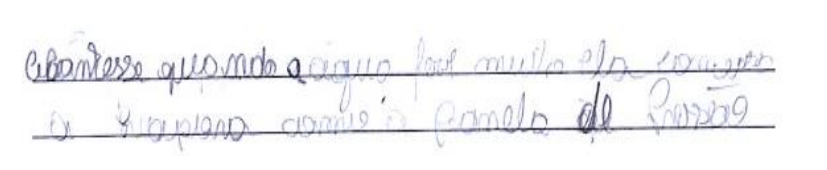
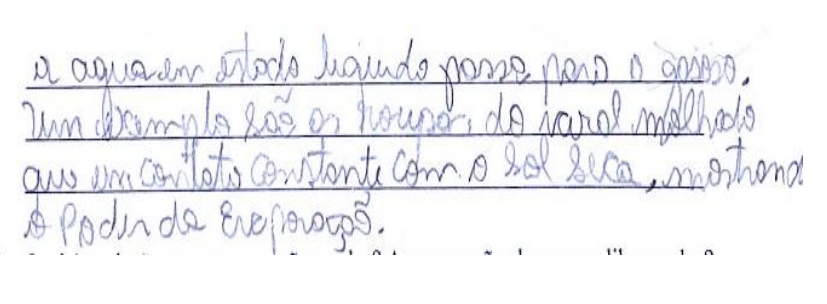
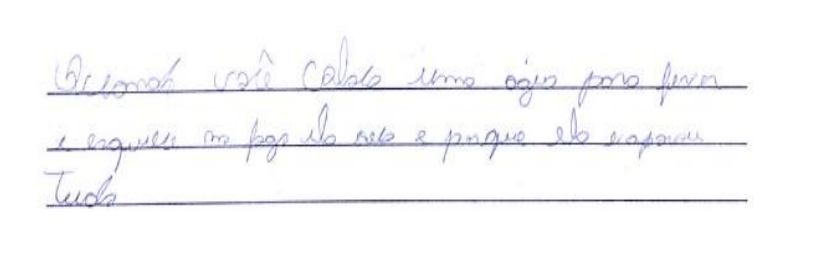
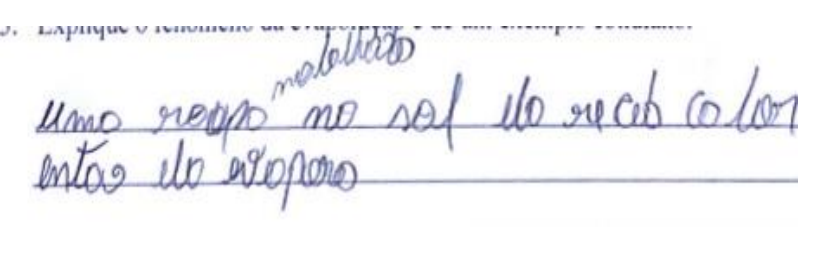
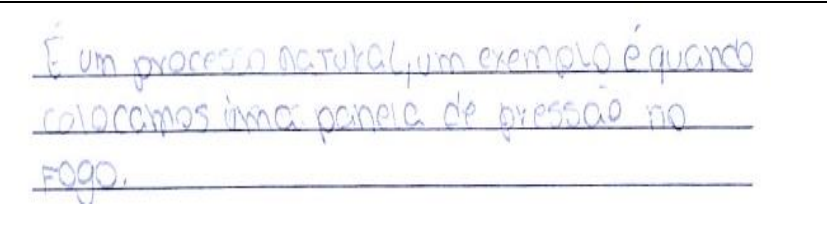
Qual é a relação entre evaporação e calor? A evaporação absorve ou libera calor? Justifique.

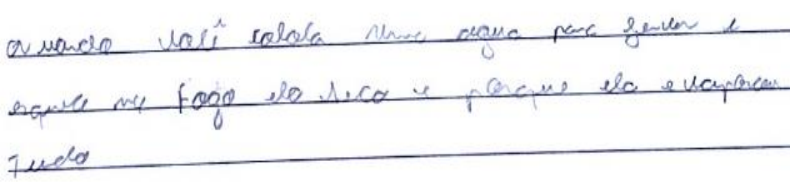
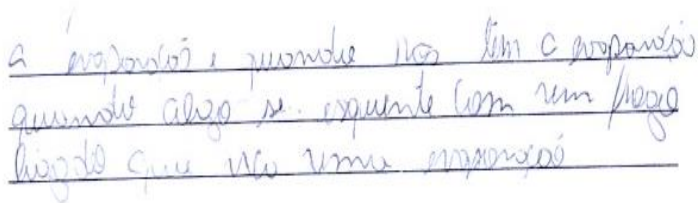
A questão 3 teve como objetivo investigar a compreensão dos estudantes sobre a relação entre evaporação e calor, em especial se reconhecem a evaporação como um processo endotérmico que absorve calor do ambiente. Buscou-se identificar se os alunos conseguem justificar esse fenômeno para além da percepção sensorial, articulando explicações científicas relacionadas à troca de energia térmica. Os resultados encontram-se no quadro 6.

Quadro 6 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Questão 3	Resposta do aluno	Classificação
Aluno 1		Concepções alternativas
Aluno 2		Concepções científica parciais
Aluno 3		Concepções alternativas
Aluno 4		Concepções científica parciais

Aluno 5		Concepções alternativas
Aluno 6	Evaporação é quando está muito quente e a água (líquido) evapora. Por exemplo numa chaleira com água fervendo quando passa muito tempo no fogo começa a evapora. Qual é a relação entre evaporação e calor? A evaporação absorve ou libera calor?	Concepções alternativas
Aluno 7	Evaporação é o processo em que um líquido se transforma em vapor (gás) sem precisar ferver.	Concepções alternativas
Aluno 8	Evaporação é algo que acontece naturalmente em uma superfície ou corpo com água, um exemplo é a água do regimento do arroz.	Concepções científicas parciais
Aluno 9		Concepções alternativas
Aluno 10	Logo de fazer fumaça, pois a água esquenta e vira vapor quente.	Concepções alternativas

Aluno 11		Concepções Parcial científicas
Aluno 12		Concepções alternativas
Aluno 13		Concepções alternativas
Aluno 14		Concepções científicas
Aluno 15		Concepções alternativas
Aluno 16		Concepções científica parciais
Aluno 17		Concepções alternativas

Aluno 18		Concepções alternativas
Aluno 19		Concepções alternativas

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.¹

A análise do quadro 6 evidencia o predomínio de concepções alternativas sobre a relação entre evaporação e calor, indicando que a maioria dos estudantes ainda apresenta dificuldades em compreender a evaporação como um processo endotérmico associado à absorção de energia térmica. Esse resultado sugere que os alunos se encontram em um estágio de transição entre conceitos espontâneos e conceitos científicos, conforme discutido por Vygotsky (2009), o que reforça a necessidade de mediação pedagógica contínua para a consolidação desse conceito.

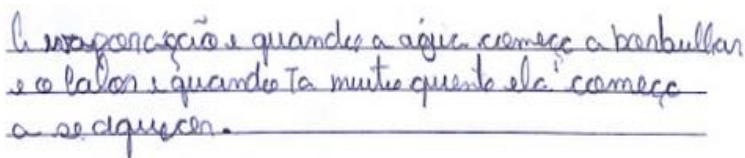
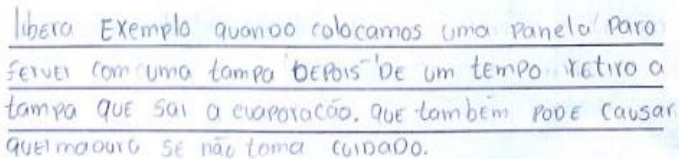
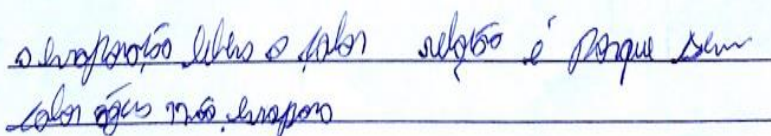
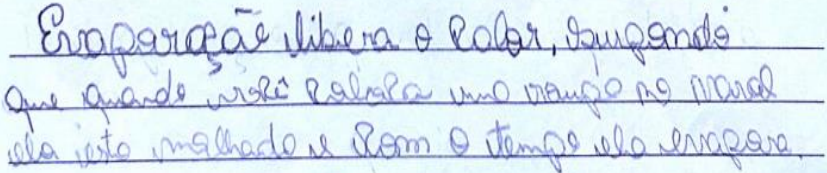
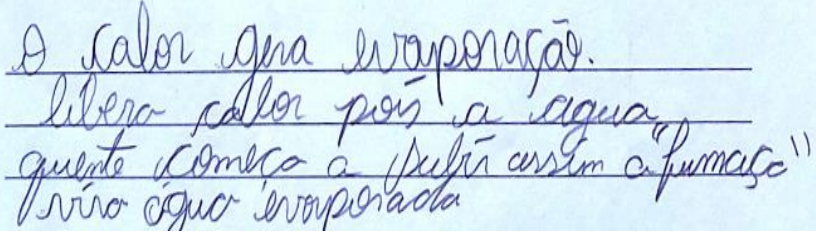
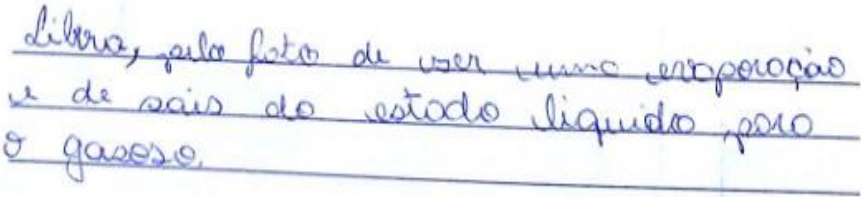
5.4.3.4 Questões 4.

Qual é a relação entre evaporação e calor? A evaporação absorve ou libera calor? Justifique.

A questão 4 tem como objetivo avaliar se os estudantes compreendem a relação entre evaporação e calor, identificando se reconhecem que a evaporação é um processo endotérmico que absorve calor do ambiente para ocorrer. Ao solicitar a justificativa, a questão permite verificar se os alunos conseguem explicar o fenômeno para além da observação cotidiana, articulando elementos do modelo científico, como a necessidade de energia para que as moléculas mais energéticas deixem o líquido. Assim, esta questão possibilita identificar o nível de elaboração conceitual dos estudantes, classificando suas respostas em concepções alternativas, parcialmente científicas ou científicas.

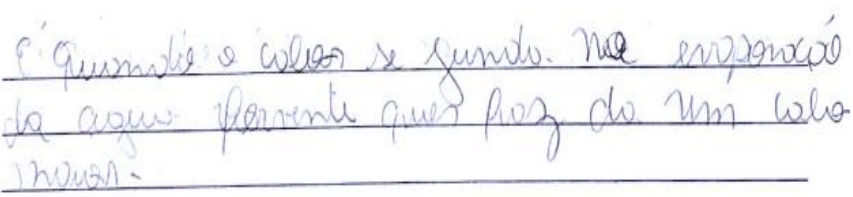
¹ Observação: o aluno 11 escreveu sua resposta a lápis não tem como adicionar uma imagem melhor.

Quadro 7 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Questão 4	Resposta do aluno	Classificação
Aluno 1		Concepções alternativas
Aluno 2		Concepções científica parciais
Aluno 3		Concepções alternativas
Aluno 4		Concepções alternativas
Aluno 5		Concepções científica Parciais
Aluna 6		Concepções alternativas

Aluno 7	O calor é uma forma de energia que passa de um corpo para o outro e já a evaporação é o processo que passa de líquido para o gasoso. A evaporação libera libera o calor.	Concepções alternativas
Aluno 8	Porque quanto mais quente a temperatura mais rápido ocorre o processo de evaporação. Ela libera o calor atingido.	Concepções alternativas
Aluno 9	A relação entre os dois envolve pois o calor aquece a água e acaba quando a evaporação. A evaporação libera o calor.	Concepções alternativas
Aluno 10	Libera, pois quando tem uma roupa no varal molhada ela libera a água.	Concepções alternativas
Aluno 11	a evaporação libera calor	Concepções alternativas
Aluno 12	O calor é o principal causa da evaporação, porque ela aquece para a água evaporação. Ela libera o calor do vapor.	Concepções alternativas

Aluno 13	É Evaporação libera o calor e a relação é porque sem o calor a água não evapora	Concepções alternativas
Aluno 14	quanto mais calor em um corpo, mais rápido de evaporação. Imagino que libera calor, e evaporação é um calor de calor atingido liberado por um corpo.	Concepções científica Parciais
Aluno 15	libera o calor porque quando uma água tá mais quente ela vai evaporar liberando o calor	Concepções alternativas
Aluno 16	A Evaporação libera, porque quando o calor atinge o corpo ou o que seja ele libera calor.	Concepções científica parciais
Aluno 17	Pois, quanto mais quente a temperatura mais rápido ocorre o processo de evaporação. quando o calor atinge ela, ela libera a evaporação	Concepções científica parciais
Aluno 18	LIBERA O CALOR PORQUE QUANDO UMA ÁGUA TÁ MUITO QUENTE ELA VÁ EVAPORANDO	Concepções alternativas

Aluno 19		Concepções alternativas
----------	--	-------------------------

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

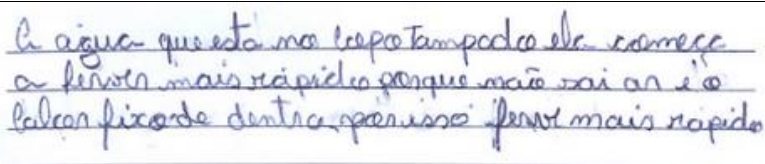
A análise do quadro 4 mostra o predomínio de concepções alternativas acerca da evaporação, indicando que os estudantes tendem a interpretar o fenômeno a partir de percepções sensoriais imediatas, sem reconhecer sua natureza endotérmica. Observa-se a presença de compreensões parciais, nas quais os alunos identificam efeitos do processo, como o resfriamento do líquido, mas não conseguem explicitar os mecanismos físicos envolvidos. A ausência de concepções científicas consolidadas evidencia que o conceito ainda não foi plenamente internalizado, situando os estudantes em um estágio de transição entre conceitos espontâneos e científicos, o que reforça a necessidade de mediação pedagógica sistemática, conforme a perspectiva de Vygotsky.

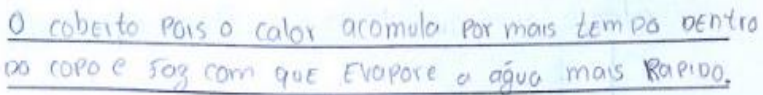
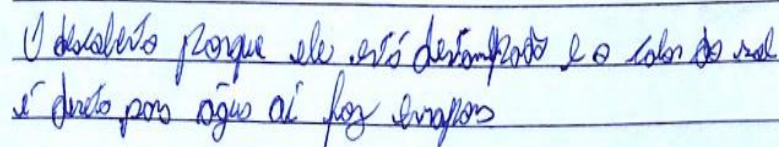
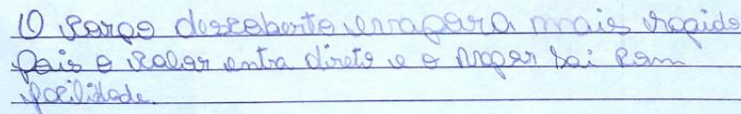
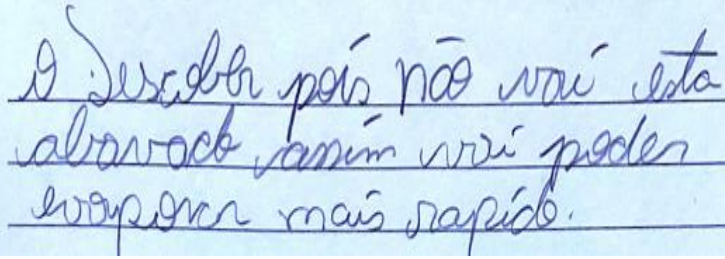
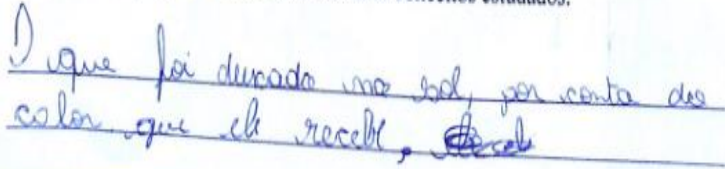
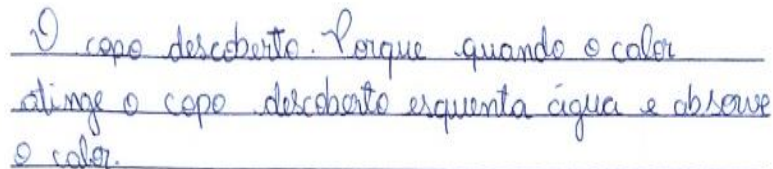
5.4.3.5 Questão 5:

Durante um experimento, dois copos com a mesma quantidade de água são deixados ao sol: um coberto e o outro descoberto. Qual deles evapora mais rápido? Explique o motivo com base nos conceitos estudados?

A questão 5 teve como objetivo avaliar se os estudantes compreendem os fatores que influenciam a taxa de evaporação, a partir da comparação entre dois copos contendo a mesma quantidade de água, sendo um descoberto e o outro coberto. Buscou-se verificar se os alunos reconhecem que a maior exposição da superfície e a renovação do ar favorecem a evaporação, aplicando os conceitos estudados em uma situação prática.

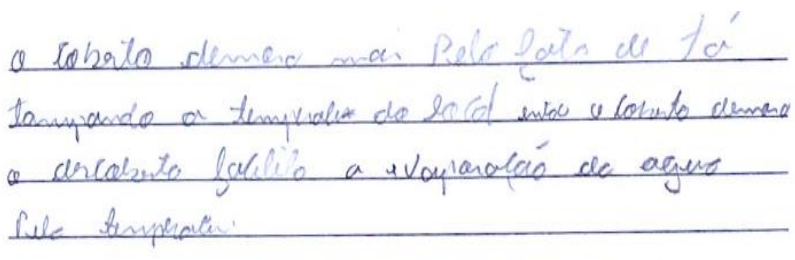
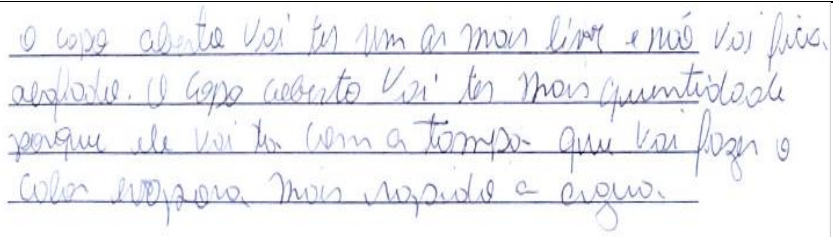
Quadro 8 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Questão 5	Resposta do aluno	Classificação
Aluno 1		Concepções alternativas

Aluno 2		Concepções alternativas
Aluno 3		Concepções científicas parciais
Aluno 4		Concepções científicas parciais
Aluno 5		Concepções Científicas parciais
Aluno 6	explicar: explique o motivo com base nos conceitos estudados. 	Concepções Científicas parciais
Aluno 7		Concepções científicas parciais

Aluno 8	explicar porque o vento vem mais rápido quando está aberto. O copo aberto evapora mais rápido pois ele será atingido diretamente pelo calor assim evaporando rapidamente. Já o fechado vai se igualar a temperatura ambiente.	Concepções científicas parciais
Aluno 9	O descoberto pois a evaporação ocorre mais rápido, já o fechado também evapora mas lentamente e acaba deixando uma umidade pequena.	Concepções científicas parciais
Aluno 10	Aberto, porque tem mais visibilidade para o sol.	Concepções científicas parciais
Aluno 11	Aquele que descoberto fica mais quente sob o sol.	Concepções científicas parciais
Aluno 12	Um que está coberto ele vai secom demorar ou dependendo caso, ele mais super. Agora se que está descoberto ele vai poder evaporar mais rápido porque ele vai estar mais quente e isso ajuda a atingir a temperatura da umidade, dependendo dos casos.	Concepções científicas parciais

Aluno 13	 porque quando esta aberto evapora mais rapido	Concepções alternativas
Aluno 14	um copo desaberto evapora mais rapido por que o calor atinge diretamente. já o fechado não recebe calor direto no copo atrapalhando na evaporação.	Concepções científicas parciais
Aluno 15	 O aberto porque facilita na evaporação pelo calor do sol	Concepções científica parciais
Aluno 16	o aberto por ele vai ter mais facilidade de evaporar, já o fechado ele vai ter uma certa dificuldade para evaporar.	Concepções Científicas
Aluno 17	O copo aberto evapora mais rápido por que ele vai ser atingido pelo sol diretamente, e o copo fechado não vai permitir a água evaporar.	Concepções Científicas

Aluno 18		Concepções científicas parciais
Aluno 19		Concepções alternativas

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A análise do quadro da questão 5 evidencia o predomínio de compreensões parcialmente científicas acerca dos fatores que influenciam a taxa de evaporação. Observa-se que a maioria dos estudantes reconhece que o copo descoberto evapora mais rapidamente, porém apresenta justificativas incompletas, baseadas principalmente na exposição ao ar ou ao calor, sem explicitar os mecanismos físicos envolvidos, como a renovação do ar e a não saturação do vapor. A presença de concepções alternativas indica a persistência de explicações intuitivas, enquanto as poucas respostas cientificamente elaboradas sugerem que o conceito ainda não foi plenamente internalizado. Esses resultados indicam que os estudantes se encontram em processo de transição entre conceitos espontâneos e científicos, demandando mediação pedagógica contínua, conforme a perspectiva de Vygotsky.

5.4.3.6 Análise geral da aula 2 e 3

Após o estudo em grupos utilizando apostilas realizados nas Aulas 2 e 3, que focaram no estudo dirigido e em atividades colaborativas em grupo sobre termodinâmica, aplicou-se o pós-teste para mapear a evolução dos estudantes. É importante ressaltar que, embora as atividades tenham sido realizadas em grupo, as respostas coletadas no pós-teste apresentaram uma diversidade significativa de argumentos, demonstrando que o processo de internalização do conhecimento ocorreu de forma singular para cada sujeito, conforme a perspectiva de Vygotsky sobre a transição do social para o individual. A análise dos dados revela que, embora

o domínio pleno da linguagem científica (verde) ainda não tenha sido alcançado por toda a turma, houve um deslocamento qualitativo importante. O cenário inicial, marcado pelo "vazio" (cinza) e pelo silêncio pedagógico, deu lugar a uma tentativa de explicação dos fenômenos. O aumento das concepções científicas parciais (amarelo) reflete essa evolução: o estudante agora possui ferramentas conceituais para transitar entre o senso comum e o saber científico, mesmo que a sistematização teórica ainda esteja em fase de maturação.

Tabela 3 - Análise conceitual pós teste da aula 2 e 3

Aluno	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
1.	CA	CCP	CA	CA	CA
2.	AU	AU	AU	AU	AU
3.	CA	CCP	CA	CCP	CC
4.	CA	CCP	CA	CA	CCP
5.	CCP	CC	CCP	CA	CCP
6.	CA	CA	CA	CA	CCP
7.	AU	AU	AU	AU	AU
8.	AU	AU	AU	AU	AU
9.	CA	CCP	CA	CCP	CCP
10.	CCP	CC	CCP	CA	CCP
11.	CA	CA	CA	CA	CCP
12.	CC	CCP	CA	CA	CCP
13.	CA	CA	CA	CA	CA
14.	CA	CCP	CA	CA	CCP
15.	CA	CCP	CA	CA	CCP
16.	CA	CCP	CA	CA	CCP
17.	CCP	CA	CA	CCP	CC
18.	CA	CCP	CA	CA	CCP
19.	AU	AU	AU	AU	AU
20.	AU	AU	AU	AU	AU
21.	AU	AU	AU	AU	AU
22.	CC	CA	CC	CCP	CCP
23.	CA	CCP	CA	CA	CA
24.	CA	CA	CA	CA	CCP
25.	CA	CCP	CCP	CCP	CA

Fonte: Elaborada pela autora, 2026.

A visualização da tabela do pós-teste permite identificar padrões de aprendizagem:

- Consolidação na Q2 e Q5: Nestas questões, observa-se células verdes e amarelas mais densas. Isso indica que os conceitos de diferença entre calor e temperatura (Q2) e a definição de evaporação (Q5) foram os que melhor se integraram ao repertório dos alunos.
- Resistência na Q1, Q3 e Q4: O predomínio do laranja (CA) nestas colunas mostra que, mesmo após a intervenção, os alunos tendem a retornar a explicações baseadas na percepção imediata ("o calor que esquentar", "a água que some").

Tabela 4 - Análise quantitativa das aulas 2 e 3

Categoria	Contagem (Q)	Percentual %
CA	52	42%
CCP	36	29%
CC	7	5%
A/AU/B	30	24%

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A tabela apresenta um panorama geral da turma após as aulas 2 e 3, com a seguinte distribuição:

- CC (verde - 5%): Embora o percentual de respostas plenamente científicas pareça baixo, ele representa o amadurecimento de conceitos complexos que antes eram inexistentes.
- CCP (amarelo - 29%): Esta é a categoria que mais cresceu e a mais importante para esta fase da pesquisa. Ela demonstra que quase um terço das respostas agora habita a zona de desenvolvimento proximal, onde o aluno já abandonou o erro intuitivo e está em processo de formalização do conhecimento.
- CA (laranja - 42%): A persistência de concepções alternativas indica a força dos conceitos espontâneos, que funcionam como obstáculos epistemológicos resistentes, exigindo um tempo de maturação maior para serem totalmente superados.
- A/AU/B (24,00%): Houve uma redução drástica no silêncio pedagógico (respostas em branco ou "não sei") comparado ao pré-teste, indicando que a intervenção deu aos alunos subsídios para, ao menos, tentarem formular uma explicação.

Tabela 5 - Comparativo de evolução conceitual questionário prévio e o pós-teste

Categoria	Questionário prévio (%)	Questionário pós- teste (%)
 Conceção científica CC (Verde)	5%	5%
 Conceção científica parcial CCP (amarelo)	19%	29%
 Conceção Alternativa CA (laranja)	23%	42%
 não soube responder A (Cinza)	39%	0%
 Branco B (vermelho)	2%	0%
 Ausente cinza (AU)	12 %	24%

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

5.4.3.7 Evolução conceitual e mediação pedagógica

A análise comparativa entre o diagnóstico inicial e os resultados obtidos após as aulas 2 e 3 demonstra que a sequência didática cumpriu um papel fundamental de mediação

pedagógica. O dado mais relevante e encorajador para esta pesquisa é a erradicação da categoria "Não soube responder" (Cinza), que saltou de 39% no pré-teste para 0% no pós-teste.

Sob a ótica de Vygotsky, esse movimento indica que os conceitos espontâneos dos alunos entraram em conflito com os conceitos científicos apresentados sobre termodinâmica e resfriamento evaporativo, gerando uma reestruturação do pensamento.

O expressivo aumento nas Concepções alternativas (laranja), que subiram de 23% para 42%, e nas Concepções parciais (amarelo), de 19% para 29%, não deve ser interpretado como uma estagnação no erro, mas como um indício concreto de que a aprendizagem significativa está em curso.

Este fenômeno demonstra que:

- Engajamento Cognitivo: O aluno deixou de ser um espectador passivo que se silenciava diante da dúvida para se tornar um sujeito que mobiliza seus próprios recursos cognitivos para tentar explicar o mundo natural.
- Transição para a ZDP: O deslocamento do "vazio" (cinza) para a "tentativa de explicação" (laranja e amarelo) é o indício de que o conhecimento saiu do plano social fortalecido pelos estudos em grupo e iniciou seu processo de internalização individual.
- Contexto de Frequência: A manutenção dos alunos Ausentes (AU) em torno de 24% no pós-teste reflete a realidade da amostra, sem comprometer a evidência de progresso daqueles que participaram da intervenção.

Sob a perspectiva de Vygotsky, esses resultados indicam que a maior parte dos estudantes está na zona de desenvolvimento proximal, ainda necessitando de mediações para avançar dos conceitos espontâneos para os científicos, alinhando-se ao que discute Castro (2019) sobre a formação de conceitos na escola.

5.5 Descrição e Fundamentação das Aulas 4 e 5 da sequência didática

As Aulas 4 e 5 tiveram como foco o desenvolvimento do experimento investigativo de resfriamento natural, articulando os conceitos de temperatura, calor, evaporação e transferência de energia térmica. Essas aulas foram estruturadas dentro da abordagem das Metodologias Ativas, buscando promover a autonomia, a interação social e a construção coletiva do conhecimento pelos estudantes.

5.5.1: Investigação e planeamento - Aula 4

A quarta etapa da sequência didática, iniciada em 05/11/2025, marcou o começo das atividades experimentais. Previamente, em um horário cedido por outro docente, foi aplicado o questionário de pré-teste para diagnóstico das concepções iniciais. Para otimizar o tempo e garantir a dinâmica da aula, os kits experimentais foram montados com antecedência em uma sala reservada, permitindo que os estudantes encontrassem o ambiente organizado. Após a formação das equipes, o professor retomou o problema central da investigação.

“Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso à eletricidade, utilizando materiais simples e acessíveis?”.

Essa problematização teve como finalidade mobilizar os conhecimentos prévios dos estudantes, retomando os conceitos de temperatura, calor e evaporação discutidos nas aulas anteriores. Esse momento permitiu que os estudantes articulassem seus conceitos espontâneos às noções científicas em desenvolvimento.

O objetivo geral é avaliar a capacidade dos alunos de aplicar conceitos científicos como termodinâmica e transferência de calor na resolução de um problema prático e de relevante. A pergunta desafia os estudantes a irem além da memorização de fórmulas, incentivando o desenvolvimento do raciocínio crítico e da criatividade para propor solução com recursos limitados. Ao analisar as respostas, como demonstrado no gráfico anterior, é possível diagnosticar o nível de profundidade do entendimento dos alunos: se eles recorrem a "concepções alternativas" (ideias do senso comum, mas cientificamente incorretas), se demonstram um entendimento "científico parcial" (aplicando corretamente alguns conceitos, mas de forma incompleta) ou se conseguem articular uma solução plenamente embasada em "concepções científicas". Portanto, a questão serve como linha de base para analisar a evolução da aprendizagem após a realização do experimento.

5.5.2 Aplicação do questionário diagnóstico (Aula 4)

Ao final da Aula 4 aplicou-se um questionário diagnóstico individual que se encontra no apêndice A, desta dissertação e esse questionário tem como objetivo, identificar o nível de compreensão dos estudantes acerca dos conceitos de temperatura, calor e evaporação antes da etapa experimental. Esse instrumento permitiu identificar concepções alternativas,

parcialmente científicas e científicas presentes na turma, servindo como base para a organização de grupos heterogêneos, conforme orienta a perspectiva Vygotskiana.

Os resultados que se encontram na tabela 5 que se encontra na página 125 e 126 é a comparação que foi utilizado questionário prévio e pós- teste é possível orientar o planejamento da mediação docente nas etapas seguintes, possibilitando ajustar intervenções pedagógicas e acompanhar a evolução conceitual dos estudantes dentro da zona de desenvolvimento proximal.

5.5.3 Planejamento da Investigação

Na etapa de planejamento, os estudantes foram organizados em grupos heterogêneos a partir dos resultados do questionário da Aula 3 e das anotações do diário de bordo. A escolha pelo questionário da Aula 3 se justificou por refletir o nível de compreensão conceitual dos estudantes e logo após o estudo teórico, antes do início da investigação prática. A estratégia de reunir estudantes com diferentes níveis de domínio conceitual e promover a aprendizagem colaborativa mediada pelos pares e pelo professor.

Cada grupo escolheu seu kit e discutiu possíveis soluções para o problema. Em seguida, e iniciou o planejamento do protótipo a ser construído na Aula 5.

As decisões envolveram a seleção de diferentes materiais, pois vaso externo de cerâmica era igual para todos, mas o material interno era diferente. Os recipientes internos foram de cerâmica, plástico, isopor e alumínio, incentivando os estudantes a relacionarem suas escolhas aos conceitos estudados. Dessa forma, a Aula 4 configurou-se como uma etapa essencial para a articulação entre teoria e prática, favorecendo o protagonismo estudantil e preparando o terreno para a atividade experimental.

5.5.4 Perguntas norteadoras e registro da Aula 4

Como parte do processo de investigação orientada, a Aula 4 inclui um conjunto de perguntas norteadoras elaboradas pelo professor(a) com o objetivo de provocar reflexão, mobilizar conhecimentos prévios e apoiar a construção inicial de hipóteses pelos estudantes. Essas perguntas foram apresentadas antes da montagem do experimento, favorecendo a organização das ideias e preparando os grupos para a etapa prática de Planejamento para a Aula 5.

Esse procedimento estimula a linguagem, o diálogo e a mediação como elementos essenciais para o avanço conceitual. Ao refletir e discutir coletivamente essas questões, os estudantes puderam relacionar seus conhecimentos espontâneos aos conceitos científicos trabalhados, movimentando-se dentro da Zona de Desenvolvimento Proximal.

5.5.5 Análise de Resposta dos estudantes. (Grupo A)

1 Pergunta da problematização

Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso à eletricidade, utilizando materiais simples e acessíveis?

Quadro 9 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Utilizando jarros e vasos e vasos de cerâmica. Análise: Apresenta uma concepção espontânea (alternativa), indicando apenas o uso de jarros ou vasos de cerâmica, sem explicar o mecanismo físico envolvido no resfriamento.
Aluno 2: resp. Para manter os alimentos frescos com vasos de cerâmica porque ajuda manter a temperatura. Análise: Demonstra compreensão concepção parcialmente científica ao afirmar que a cerâmica “ajuda a manter a temperatura”, porém sem relacionar essa ideia à evaporação ou à transferência de calor.
Aluno 3: resp. Da para manter alimentos frescos com vasos de cerâmica. Análise: Traz uma concepção espontânea (alternativa), reconhecendo que a cerâmica pode conservar alimentos, mas sem qualquer justificativa teórica.
Aluno 4: resp. Para poder manter alimentos frescos, opção vasos de cerâmica. Análise: Traz uma concepção espontânea (alternativa). Apresenta uma resposta simples, indicando o uso de vasos de cerâmica como solução, evidenciando conhecimento cotidiano, sem fundamentação científica.
Aluno 5: resp. Uma alternativa acessível é usar vasos de cerâmica com água para manter a temperatura do ambiente conservado.

Análise: Demonstra um avanço, concepção científica parcial ao mencionar “manter a temperatura do ambiente conservado”, mas não explica como o resfriamento ocorre; permanece no nível parcialmente científico.
Aluno 6: a) resp. Ausente. b) resp. Ausente. Análise: Não esteve presente na aula; não foi possível avaliar sua compreensão.
Aluno 7: resp. Usando vasos de cerâmica para conservar alimentos e água fresca. Análise: Apresenta concepção espontânea (alternativa), reconhecendo o papel da cerâmica na conservação, mas sem explicar o processo físico envolvido.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Tabela 6 - Análise das questões individuais. Grupo A- aula 4

Categoria	Questionário pré teste (%)
Concepção científica CC (verde)	0%
Concepção científica parcial CCP (amarelo)	33%
Concepção Alternativa CA (laranja)	67%

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

As respostas do grupo A na problematização mostram predominância de conceitos espontâneos, que são classificadas como concepções alternativas de (67%), dos estudantes responderam baseados no senso comum sobre o uso tradicional da cerâmica para conservar alimentos. Embora todos os estudantes reconheçam a cerâmica como solução, nenhum estudante respondeu uma explicação nas concepções científicas (0 %). Apenas dois alunos apresentam elementos concepções parcialmente científicos (33%) como porosidade, evaporação ou transferência de calor. As respostas do grupo A na fase de problematização mostram a predominância de conceitos espontâneos, classificados como concepções alternativas por 67% dos estudantes. Estes responderam baseados no senso comum sobre o uso tradicional da cerâmica para conservar alimentos. Embora todos os participantes reconheçam a

cerâmica como uma solução viável, nenhum apresentou explicações fundamentadas em concepções científicas (0%). Apenas dois alunos (33%) apresentaram elementos de concepções parcialmente científicas, mencionando termos como porosidade, evaporação ou transferência de calor, porém de forma ainda insuficiente para uma compreensão completa do fenômeno.

5.5.6 Perguntas e análise de resposta para reflexão inicial

- a) Por que a cerâmica ajuda no resfriamento?
- b) Qual o papel da evaporação nesse processo?

Quadro 10 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: a) resp. Por que ajuda a manter a temperatura de cerâmicas. b) resp. Por que ajuda no resfriamento. Análise: Apresenta compreensão concepções científica parcial tanto sobre o papel da cerâmica quanto da evaporação, reconhecendo que ambos contribuem para o resfriamento, mas sem explicar o mecanismo físico envolvido.
Aluno 2: a) resp. Por que ajuda no resfriamento. b) resp. não foi possível compreender a resposta do aluno. Análise: Demonstra concepções alternativas nas duas perguntas, com respostas vagas e sem relação com os princípios físicos do resfriamento evaporativo.
Aluno 3: a) resp. Porque ela tem uma temperatura fresca. b) resp. Ela ajuda no desenvolvimento do ato. Análise: Demonstra concepções alternativas. Responde com ideias genéricas e não científicas, sugerindo falta de compreensão dos mecanismos de cerâmica e evaporação.
Aluno 4: a) resp. Por que eles são gelados naturais. b) resp. Ela ajuda no desenvolvimento do ato.

Análise: Apresenta concepções alternativas nas duas questões, atribuindo características “naturais” à cerâmica e não explicando a função da evaporação.
Aluno 5: a) resp. Por que a cerâmica ajuda a manter o ambiente gelado. b) resp. A evaporação da água ajuda no resfriamento. Análise: Demonstra compreensão concepções científica parcial do processo, reconhecendo que a cerâmica e a evaporação ajudam no resfriamento, mas sem detalhar a transferência de calor envolvida.
Aluno 6: a) Ausente. b) Ausente.
Aluno 7: a) resp. Material poroso serve para bom resfriamento. b) resp. O processo se aplica, quando o vaso menor está no meio para ocorrer a evaporação. Análise: Apresenta explicação concepções científicas na questão sobre cerâmica ao mencionar a porosidade e compreensão parcial sobre evaporação, reconhecendo o processo, mas sem explicar o mecanismo energético.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

De modo geral, a maioria dos estudantes apresentou concepções alternativas sobre o papel da cerâmica e da evaporação no resfriamento. Predomina a ideia de que a cerâmica é “fria por natureza” ou que “mantém a temperatura”, sem reconhecer o papel da porosidade e da evaporação como mecanismos de remoção de calor. Poucos estudantes demonstraram concepções científicas parciais, relacionando evaporação e resfriamento, embora ainda sem mencionar a transferência de energia. Apenas um estudante apresentou resposta cientificamente adequada quanto à cerâmica, indicando conhecimento sobre a porosidade do material, enquanto nenhum estudante explicou corretamente o mecanismo físico da evaporação. Esses dados indicam a necessidade de intervenções didáticas que explorem o conceito de troca de calor e no resfriamento evaporativo.

A questão 2, por ser dividida em dois subitens (a e b) com respostas essencialmente qualitativas e muito curtas, não têm representação gráfica. A análise individual e a síntese interpretativa já

são suficientes para evidenciar as concepções dos estudantes. Dessa forma, apenas a questão de problematização foi representada graficamente.

5.5.7 Análise individual – Questão 2 (c)

c) Como esses vasos ajudam na conservação sem o uso de eletricidade?

Vocês acham que esses métodos são utilizados hoje? Onde?

Quadro 11- Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Eles ajudam a manter os alimentos. Sim. Em lugares que não tem eletricidade.

Análise: A Resposta do estudante é uma concepção parcialmente científica, o aluno indica apenas que os vasos “ajudam a manter os alimentos”, sem explicar o mecanismo físico envolvido. Menciona o uso em locais sem eletricidade, mas não explica de forma científica.

Aluno 2: resp. Por que eles têm uma temperatura fria e ajuda manter os alimentos em uma temperatura boa. Sim. Métodos podem ser utilizados em local de difícil energia.

Análise: O aluno demonstra uma resposta parcialmente científica, o aluno reconhece que os vasos mantêm “temperatura fria”, o que favorece a conservação, mas não explica como ocorre o resfriamento evaporativo. Indica que o método pode ser usado em locais de difícil acesso à energia, o que está correto, embora superficial.

Aluno 3: resp. Em parte os equipamentos e em casas mais antigas tem.

Análise: A resposta do aluno é uma concepção alternativa. É uma resposta vaga e não esclarece o mecanismo físico. A referência a casa mais antigas é genérica e não explica o processo evaporativo nem o contexto.

Aluno 4: resp. Por causa da temperatura gelada, não estraga alimentos. Não são mais utilizados.

Análise: A resposta do aluno é uma concepção alternativa. O aluno atribui à conservação à “temperatura gelada”, o que demonstra um entendimento alternativo, pois não descreve como essa temperatura é gerada. Ao afirmar que não são mais utilizados, apresenta desconhecimento sobre usos contemporâneos.

Aluno 5: resp. Ajudavam na conservação pois os vasos mantiam a temperatura do ambiente conservando os alimentos. Sim, são utilizados em lugares de difícil acesso à energia. Análise: A resposta do aluno é concepção parcialmente científica. O estudante reconhece que os vasos mantêm a temperatura e conservam alimentos, e menciona corretamente o uso em locais de difícil acesso à energia. Apesar de não detalhar o processo físico, demonstra boa compreensão funcional do sistema.
Aluno 6: Ausente. Sem resposta e sem classificação
Aluno 7: resp. Sim. Acredito que possa ser usado em países, como África e no Brasil pelos indígenas. Análise: A resposta do aluno é concepção parcialmente científica. O aluno reconhece que o método ainda é utilizado em regiões específicas, como comunidades indígenas e países africanos, o que demonstra relação social e cultural adequada. Contudo, não explica o mecanismo de resfriamento.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A maioria dos estudantes apresentou alguma compreensão funcional sobre a conservação de alimentos sem eletricidade, relacionando o uso dos vasos a ambientes sem energia ou comunidades tradicionais. Entretanto, poucos explicaram como o resfriamento ocorre. Grande parte não mencionou o mecanismo físico do resfriamento evaporativo, demonstrando lacunas conceituais sobre temperatura, evaporação e transferência de calor. Ainda assim, vários estudantes conseguiram reconhecer o uso contemporâneo desses métodos em regiões de difícil acesso à eletricidade. Essas questões tiveram como finalidade ativar os conhecimentos prévios e direcionar os olhares dos estudantes para os mecanismos físicos envolvidos no resfriamento evaporativo, preparando-os conceitualmente para a análise experimental.

1. Justificativa: perguntas e justificativa do planejamento
 - a) Após a discussão inicial, cada grupo registrou justificativas relacionadas às escolhas dos materiais e à compreensão dos conceitos de temperatura, calor e umidade, elementos fundamentais para orientar a construção do protótipo:
 - I. Aluno 1: resp. 2 vasos de cerâmica, areia e pano úmido.

- II. Aluno 2: resp. 2 vasos de cerâmica, areia e pano úmido e água.
- III. Aluno 3: resp. 2 vasos de cerâmica, areia e pano úmido e água.
- IV. Aluno 4: resp. 2 vasos de cerâmica, areia e pano molhado e água.
- V. Aluno 5: resp. vasos de cerâmica, areia e pano úmido e água.
- VI. Aluno 6: resp. O estudante não veio nesse dia.
- VII. Aluno 7: resp. 2 vasos de cerâmica, areia e pano molhado e água.

5.5.8 Síntese – Justificativa da escolha dos materiais (Grupo A)

Os estudantes do grupo A demonstraram grande convergência em suas escolhas, selecionando majoritariamente o kit composto por dois vasos de cerâmica, areia e pano úmido, além de água para manter o sistema funcional. Essa unanimidade indica que o grupo reconheceu, ainda que de forma preliminar, a importância da porosidade da cerâmica e do uso de água para favorecer o processo de resfriamento evaporativo. Os alunos compreenderam que esses materiais possibilitam a passagem da água através dos poros, permitindo sua evaporação e, conseqüentemente, a redução da temperatura interna do recipiente.

A justificativa apresentada revela uma percepção intuitiva dos mecanismos físicos envolvidos, especialmente os relacionados à transferência de calor e à evaporação, ainda que sem detalhamento conceitual aprofundado. No geral, a escolha demonstra coerência com o objetivo do experimento e evidencia que o grupo conseguiu relacionar o problema investigado aos princípios básicos do resfriamento natural.

5.5.9 Análise da questão b - compreensão de temperatura, calor e umidade (Grupo A)

Qual a sua compreensão dos conceitos de temperatura, calor e umidade em relação ao experimento que está sendo desenvolvido?

As respostas dos estudantes indicam que o grupo apresenta majoritariamente concepções parcialmente científicas, com presença de concepções alternativas e ausência de respostas plenamente científicas. De modo geral, os alunos reconhecem que ocorre troca de calor entre os materiais, mas não explicam corretamente o papel da evaporação, da umidade relativa do ar ou da diferença de temperatura entre interior e exterior do sistema, elementos essenciais para o funcionamento do resfriamento evaporativo.

Quadro 12 - Diagrama de análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Ocorre troca de calor, quando jarro menor envolvido por água e areia atinge temperatura. Análise: A resposta do aluno é concepção parcialmente científica. Reconhece a presença de trocas de calor, mas não explica corretamente o mecanismo de resfriamento evaporativo, nem o papel da umidade ou da evaporação.
Aluno 2: resp. O estudante deixou a questão em branco. Análise: A questão em branco.
Aluno 3: Resposta ilegível.
Aluno 4: Jarro menor dentro do vaso maior, junto com areia e água ocorre trocas de calor. Análise: A resposta do aluno é concepção parcialmente científica. Reconhece trocas de calor, mas não explica corretamente o mecanismo de resfriamento evaporativo, nem o papel da umidade ou da evaporação.
Aluno 5: resp. O jarro de cerâmica menor foi envolvido pela água e a areia, faz com que as trocas de calores aconteçam. Análise: A resposta do aluno é concepção parcialmente científica. Aponta as trocas de calor, mas não identifica como o fenômeno ocorre nem menciona evaporação ou umidade.
Aluno 6: Ausente. Análise: Ausente
Aluno 7: resp. O vaso de cerâmica menor com areia e água evapora e é onde ocorre as trocas de calor. Análise: A resposta do aluno é concepção parcialmente científica. É o único que menciona a evaporação, mas ainda de forma incompleta, sem relacionar à diminuição de temperatura pela perda de energia das moléculas.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Na questão 3 sobre a compreensão de temperatura, calor e umidade no experimento, quatro estudantes apresentaram concepção científica parcial, demonstrando reconhecer a presença de trocas de calor e processos de evaporação, ainda que de forma incompleta. Um

estudante apresentou concepção alternativa, pois sua resposta não permitiu identificar entendimento adequado sobre o fenômeno. Outro deixou a questão em branco e um aluno esteve ausente no dia da atividade.

No grupo, nenhum estudante apresentou uma compreensão plenamente científica da relação entre temperatura, calor e umidade dentro do sistema de resfriamento evaporativo. As respostas convergem majoritariamente para concepções parcialmente científicas, com focos nas “trocas de calor”, porém sem explicitar como a evaporação retira energia do sistema, reduzindo sua temperatura. Também não há menções ao papel da porosidade da cerâmica ou à transferência de energia para o ambiente externo.

5.5.10 Análise geral do grupo (A)

A análise do Grupo A revela que os estudantes reconhecem, de forma inicial, que o resfriamento no refrigerador de barro envolve vasos de cerâmica, umidade e evaporação. A maioria apresentou conceitos parcialmente científicos, identificando elementos do processo, porém com explicações incompletas e pouco articuladas. Alguns estudantes ainda demonstram concepções alternativas ou ausência de compreensão, indicando necessidade de maior mediação para consolidar os conceitos de temperatura, calor e evaporação. No conjunto, o grupo mostra entendimento básico, mas ainda em desenvolvimento.

5.6 Análise do Grupo B

1 Pergunta da problematização;

“Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso à eletricidade, utilizando materiais simples e acessíveis?”.

5.6.1 Análise individual da problematização (Grupo B)

Quadro 13 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Pode utilizar água e terra (areia grossa) para manter os alimentos em um ambiente fresco e demorar para estragar. Análise: O estudante apresenta concepção parcialmente científica. Reconhece o uso de água e areia para resfriamento, mas sem explicar o mecanismo físico envolvido.
Aluno 2: resp. Pode usar água e terra, (areia) para absorver a temperatura gelada em um recipiente fechado ao utilizar água em volta para manter a temperatura. Análise: O estudante demonstra conhecimento concepção parcialmente científica: menciona absorção de temperatura, mas com explicação confusa e sem referência à evaporação.
Aluno 3: Sem resposta. Análise: Sem resposta a questão foi deixada em branco.
Aluno 4: resp. Pode utilizar água e terra (areia grossa) para manter os alimentos em um ambiente fresco e demorar para estragar. Análise: O estudante apresenta concepção parcialmente científica. Repete a ideia de água e areia, mas sem justificar o processo de resfriamento.
Aluno 5: resp. Pode utilizar terra para absorver a temperatura gelada em recipientes fechados. Análise: Demonstra concepção alternativa. Atribui à terra a capacidade de “absorver temperatura gelada”, evidenciando compreensão incorreta.
Aluno 6: resp. Pode utilizar terra para absorver a temperatura gelada em recipientes fechados. Análise: O estudante apresenta repetição do aluno 4 no enunciado e também apresenta concepção parcial.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A análise das respostas revela um entendimento predominantemente parcial e superficial do fenômeno. A maioria dos alunos (1, 2, 4, 6) identifica corretamente os materiais (água e terra ou areia) e sua função de manter o ambiente fresco, o que os classifica com concepções parcialmente científicas.

No entanto, nenhum deles consegue articular o mecanismo físico correto. As explicações recorrem a noções vagas como "demorar para estragar" ou confusas como "absorver a temperatura gelada", sem qualquer menção ao papel central da evaporação na retirada de calor. O Aluno 5 apresenta uma concepção alternativa, com uma explicação cientificamente incorreta. O padrão geral do grupo é saber o que usar, mas não "por que" funciona.

Tabela 7 - Análise das questões individuais. Grupo C - aula 4

Categoria	Questionário pré teste (%)
Concepção científica CC (verde)	0%
Concepção científica parcial CCP (amarelo)	17%
Concepção Alternativa CA (laranja)	67%
Branco	16%

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Na tabela 7 do grupo B, a maioria dos estudantes apresentou concepções parcialmente científicas (67%), reconhecendo materiais típicos do resfriamento evaporativo (terra, areia, água, vasos de cerâmica). No entanto, as respostas são descritivas e não incluem o mecanismo central do fenômeno, a evaporação, como responsável pela perda de calor.

Houve uma concepção alternativa (17%), marcada pela ideia equivocada de que a terra “absorve temperatura gelada”, e um estudante deixou a questão em branco (16%). E nenhum aluno apresentou conhecimento nas concepções científicas (0%). De modo geral, o grupo demonstra familiaridade superficial com os materiais, mas ainda não compreende plenamente os princípios físicos que tornam o sistema funcional.

5.6.2 Diagrama de análise da questão 2 a e b (Grupo B)

- a) Por que a cerâmica ajuda no resfriamento?
- b) Qual o papel da evaporação nesse processo?

Quadro 14 - Diagrama de análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1:

- a) resp. Por ser feito de barro de argila ele fica fresco por ser um objeto cozido.
- b) resp. Com o passar do tempo área absorve a água até que não sobre nada.

Apresenta concepção alternativa. Atribui o resfriamento ao fato de a argila ser “cozida” e manter-se naturalmente fresca, sem mencionar porosidade ou troca de calor. Na evaporação, descreve apenas a absorção da água pela areia, sem reconhecer o resfriamento evaporativo.

Aluno 2:

- a) resp. Por que ela acaba sendo uma argila cozida e facilita no resfriamento.
- b) resp. Por ser feita de argila natural uma espécie de barro natural onde já é conservada em uma temperatura gelada.

Análise: Apresenta concepção alternativa. Explica o resfriamento pela característica “cozida” da cerâmica e, na evaporação, não descreve o fenômeno; repete apenas que a argila mantém temperatura fria.

Aluno 3:

- a) resp. Por ser feita de argila natural uma espécie de barro natural onde já é conservada em uma temperatura gelada.
- b) resp. Por que é argila.

Análise: Apresenta concepção alternativa. Reitera que o barro ou argila é “naturalmente fresco”, sem referência ao processo físico de resfriamento. Na questão sobre evaporação, apenas afirma “porque é argila”, sem relação com o fenômeno.

Aluno 4:

- a) resp. Por ser feito de barro de argila ele fica fresco por ser um objeto cozido.
- b) resp. Com passar do tempo a areia irá absorver a água até que não sobre nada.

Análise: Apresenta concepção alternativa. Repete a ideia de que a cerâmica é fresca por ser de barro cozido. Na evaporação, descreve somente a absorção da água pela areia, sem relacionar ao resfriamento.

Aluno 5:

- a) resp. Por ser ela de argila cozida.
- b) resp. Com passar do tempo a areia irá absorver a água até que não sobre nada.

Análise: Apresenta concepção alternativa. Explicação semelhante aos demais: considera a argila naturalmente fria. No papel da evaporação, descreve apenas a absorção da água pela areia, sem mencionar perda de calor.

Aluno 6:

- a) resp. Por ser feita de argila natural.
- b) resp. Deixou em branco.

Análise: Apresenta resposta incompleta. Para a cerâmica, aponta apenas que é feita de argila natural; não apresenta relação física com resfriamento. Na questão sobre evaporação, deixou em branco.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

As respostas mostram que nenhum estudante do Grupo B demonstrou compreensão científica sobre o papel da cerâmica ou da evaporação no resfriamento. As explicações baseiam-se em ideias cotidianas (“cerâmica é fresca”, “areia absorve água”) e não nos mecanismos físicos envolvidos, como porosidade, evaporação e troca de calor. O desempenho indica a necessidade de intervenções que articulem os conceitos científicos de modo acessível, uma vez que predominaram concepções alternativas em todos os itens da questão.

5.6.3 Diagrama de análise individual – questão 2 (c)

Como esses vasos ajudavam na conservação sem o uso de eletricidade?

Vocês acham que esses métodos são utilizados hoje? Onde?

Quadro 15 - Diagrama de análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Ajudavam bastante antigamente na conservação dos alimentos, assim demoravam mais para estragar. Não. Por que hoje em dia existem aparelhos eletrônicos para congelar e resfriar os alimentos. Análise: Apresenta concepções científicas parcial. Reconhece que os vasos ajudavam a conservar alimentos, mas atribui o motivo apenas ao “demorar mais para estragar”, sem explicar o mecanismo físico. Afirma que não são usados hoje devido à existência de aparelhos elétricos, revelando visão limitada sobre soluções alternativas ainda utilizadas em regiões sem acesso à energia.
Aluno 2: resp. Acredito que ajudavam a manter uma temperatura ideal para os alimentos, acho que esses métodos não são mais usados no dia de hoje. Análise: Responde de forma semelhante ao Aluno 1, indicando que os vasos mantinham a “temperatura ideal”, porém sem explicar como isso ocorre. Considera que o método não é mais usado atualmente, demonstrando compreensão parcial e desconhecimento de aplicações contemporâneas em comunidades rurais ou de baixa infraestrutura.
Aluno 3: resp. Por que aparenta ser um vaso jeito de barro de argila. Análise: Apresenta concepção alternativa. A resposta não explica o mecanismo de conservação, restringindo-se a mencionar que o vaso é “de barro ou argila”, sem estabelecer relação com resfriamento evaporativo.
Aluno 4: resp. Ajudavam bastante conservação dos alimentos, assim demoravam mais para estragar. Não. Por que hoje em dia existem aparelhos eletrônicos para congelar e resfriar. Análise: Resposta praticamente idêntica à do Aluno 1, indicando repetição do mesmo padrão de concepção científica parcial. Reconhece a conservação, mas não descreve o processo físico. Acredita que o método não é mais utilizado, reduzindo a compreensão do contexto atual.
Aluno 5: resp. Podem ser utilizados com vasos de flores e argila. Análise: Apresenta concepção alternativa. Menciona que esses métodos “podem ser utilizados com vasos de flores e argila”, mas não relaciona a conservação ao princípio físico da evaporação ou perda de calor. A resposta é vaga e desconectada da pergunta.
Aluno 6: resp. Acredito que ajudavam a manter uma temperatura ideal para os alimentos, acho que esses métodos não são mais usados hoje em dia. Análise: Apresenta concepção parcialmente científica. Assim como os Alunos 1 e 2, afirma que os vasos mantinham temperatura ideal, mas sem explicar o mecanismo de resfriamento. Considera que o método não é usado hoje, indicando visão limitada sobre contextos reais de aplicação.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A análise conjunta das respostas à questão C, os dados mostram um padrão de compreensão predominantemente parcial e limitado no grupo. A maioria dos alunos (Alunos 1, 2, 4 e 6) consegue identificar a função primária dos vasos a conservação de alimentos ao manter uma temperatura ideal, o que os classifica em um nível de concepção científica parcial. No entanto, nenhum deles consegue articular o mecanismo científico subjacente, ou seja, o princípio do resfriamento evaporativo, onde a evaporação da água através da argila porosa retira calor do recipiente interno, mantendo o conteúdo fresco. Essa lacuna indica que o conhecimento dos alunos é mais funcional do que conceitual; eles sabem o que o artefato faz, mas não como ele faz.

Além disso, uma segunda tendência notável é a visão descontextualizada sobre a aplicabilidade da tecnologia. A quase totalidade do grupo afirma que esses métodos não são mais utilizados hoje, justificando sua resposta pela existência de tecnologias elétricas como a geladeira. Essa percepção demonstra uma falta de consciência sobre as realidades de comunidades rurais, regiões sem acesso estável à eletricidade ou contextos onde soluções de baixo custo e sustentáveis são essenciais.

Por fim, uma minoria (Alunos 3 e 5) apresenta concepções alternativas, com respostas vagas que mencionam o material ("barro ou argila"), mas falham em conectar essa propriedade a qualquer princípio de conservação, demonstrando um nível de compreensão ainda mais superficial.

Em síntese, o grupo como um todo exibe uma compreensão superficial do fenômeno físico e uma perspectiva limitada sobre a relevância e aplicação contemporânea de tecnologias não-elétricas, tornando-se um claro indicador da necessidade de aprofundar tanto os conceitos de termodinâmica quanto a discussão sobre contextos socio científicos diversos.

2. Justificativa: perguntas e justificativa do planejamento.

- a) Qual kit experimental foi utilizado pelo grupo e por que escolheu os materiais que está se sendo utilizando?

- I. Aluno 1: resp. Areia grossa, vaso de argila, água e um sensor para medir temperatura e carregar os dados.

- II. Aluno 2: resp. Vaso de argila (barro natural) areia fina e sensor para medir temperatura e capturar todos os dados do experimento.
- III. Aluno 3: resp. Pano molhado, vaso e uma vasilha.
- IV. Aluno 4: resp. Areia grossa, vaso de argila, água e um sensor para medir temperatura e carregar os dados. A gente escolheu o experimento para ver se realmente funciona.
- V. Aluno 5: resp. Vaso, terra grossa, pano, água um sensor para medir temperatura
- VI. Aluno 6: resp. O estudante respondeu e riscou (ilegível).

5.6.4 Síntese – justificativa da escolha dos materiais (Grupo B).

A análise das respostas do Grupo B mostra que a maioria dos estudantes identificou corretamente os elementos essenciais do kit experimental: vaso de argila, areia (fina ou grossa), água, pano úmido e sensor de temperatura. Os alunos reconhecem que esses materiais permitem monitorar a temperatura e testar se o sistema de resfriamento evaporativo funciona na prática. Alguns estudantes apresentaram respostas mais completas, descrevendo tanto os materiais quanto sua função no experimento, enquanto outros citaram apenas parte do kit ou forneceram justificativas pouco claras. Apesar dessas variações, observa-se uma compreensão geral adequada sobre a escolha dos materiais e sua relação com o objetivo do experimento.

5.6.5 Análise da questão b -compreensão de temperatura, calor e umidade (Grupo B).

Quadro 16- Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. É que podemos usar outros métodos sem ser elétricos.

Análise: Apresenta concepção alternativa. A resposta não aborda temperatura, calor ou umidade, limitando-se a comentar sobre o uso de métodos não elétricos, sem relação direta com os conceitos físicos solicitados.

Aluno 2: resp. Que podemos usar novos ou métodos antigos sem ser elétricos.

Análise: Assim como o Aluno 1, demonstra concepção alternativa. A resposta não contempla os conceitos de calor, temperatura ou umidade, restringindo-se à ideia de alternativas sem eletricidade.

Aluno 3: resp. Sem resposta.

Análise: Não foi possível avaliar a compreensão conceitual devido à ausência de resposta.

Aluno 4: resp. É que podemos usar outros métodos sem ser elétricos. Análise: Repete o mesmo padrão dos Alunos 1 e 2, indicando concepção alternativa. Não há menção aos fenômenos físicos envolvidos no experimento.
Aluno 5: resp. É que podemos usar outros métodos sem ser elétricos. Análise: Apresenta concepção alternativa, com resposta idêntica às anteriores. O estudante não demonstra compreensão dos conceitos de temperatura, calor ou umidade.
Aluno 6: A resposta do estudante ficou sem compreensão. Análise: A resposta é insuficiente para avaliação. O estudante não apresenta qualquer elemento conceitual; portanto, caracteriza-se como ausência de compreensão.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

As respostas do Grupo B revelam um baixo nível de engajamento conceitual e uma compreensão limitada dos fenômenos físicos envolvidos no experimento. Dos seis estudantes, três apresentaram respostas genéricas, repetindo a ideia de que “existem métodos sem eletricidade”, sem estabelecer qualquer relação direta com temperatura, calor ou umidade. Esse padrão caracteriza concepções alternativas, pois não há referência a processos como troca de calor, evaporação ou resfriamento evaporativo.

Dois estudantes apresentaram respostas ilegíveis ou sem sentido, impossibilitando a classificação, e um estudante demonstrou ausência completa de compreensão. Nenhum estudante apresentou concepção científica ou parcialmente científica.

De modo geral, os dados indicam baixo envolvimento, falta de articulação conceitual e possível desinteresse na elaboração das respostas, o que reforça a necessidade de mediação pedagógica mais ativa e estratégias que favoreçam a participação e construção conjunta do significado dos conceitos científicos.

5.7 Análise do grupo C

1. Pergunta da problematização;
Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso à eletricidade, utilizando materiais simples e acessíveis?

Quadro 17 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Usando materiais com pouca transferência de calor, como cerâmica e isopor. Esses materiais ajudam na conservação e no resfriamento dos alimentos. Análise: Apresenta concepção parcialmente científica. Reconhece que materiais com baixa transferência de calor, como cerâmica e isopor, podem auxiliar no resfriamento, indicando alguma compreensão sobre isolamento térmico. No entanto, não relaciona o processo à evaporação, limitando o aprofundamento conceitual.
Aluno 2: resp. Sim. Mas não justificou. Análise: Responde apenas “sim”, sem justificar, o que evidencia ausência de elaboração conceitual. A resposta não permite analisar compreensão, caracterizando resposta não-classificável.
Aluno 3: resp. Sim. Mas não justificou. Análise: Repete o padrão do aluno 2: responde “sim”, sem justificativa. Também não apresenta elementos que indiquem compreensão conceitual. Classificação: não-classificável.
Aluno 4: resp. Sim. Mas não justificou. Análise: Da mesma forma, responde “sim” sem qualquer explicação adicional. Não demonstra identificação de mecanismos físicos nem materiais relevantes. Classificação: não-classificável.
Aluno 5: resp. Aluno ausente Análise: Aluno ausente. Sem dados para análise.
Aluno 6: resp. Aluno ausente Análise: Aluno ausente. Sem dados para análise.
Aluno 7: resp. Aluno ausente Análise: Aluno ausente. Sem dados para análise.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A análise das respostas do Grupo C mostra uma participação bastante limitada e pouco aprofundada. Apenas quatro estudantes responderam à pergunta de problematização e, entre eles, somente um apresentou uma justificativa minimamente coerente com o fenômeno físico relacionado aos materiais de baixa transferência de calor (como cerâmica e isopor) ao resfriamento. Os demais estudantes responderam apenas “sim”, sem qualquer explicação adicional, demonstrando baixa elaboração conceitual e pouca articulação com a temática proposta.

Além disso, três estudantes estavam ausentes, por causa do transporte rural que não veio nesse dia, reduzindo ainda mais a consistência dos dados. Assim, o conjunto de respostas evidencia pouca mobilização dos conhecimentos prévios esperados e baixa participação na etapa inicial da investigação.

5.7.1 análise das questões individuais da (aula 4)

Não foi elaborado gráfico para esta questão porque:

O número de respostas válidas foi muito reduzido (apenas 1 resposta com justificativa). As demais respostas (“sim”, sem explicação) não apresentam conteúdo conceitual suficiente para classificação em categorias (alternativa, parcial, científica). A presença de três ausências inviabiliza a construção de uma distribuição representativa dos dados.

Portanto, a opção metodológica mais adequada é apresentar apenas a síntese qualitativa, preservando o rigor da análise e evitando gráficos que não reflitam adequadamente o desempenho conceitual da turma.

5.7.2 Questão análise da questão 2 a e b (Grupo C)

- a) Por que a cerâmica ajuda no resfriamento?
- b) Qual o papel da evaporação nesse processo?

Quadro 18 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1:

- a) resp. Por que ela tem pouca transferência de calor, mantendo o calor fora do pote e mantendo o resfriamento interno.
- b) resp. A evaporação ajuda no processo tirando a umidade presente.

Análise: Apresenta concepção parcialmente científica nas duas questões. Reconhece que a cerâmica possui baixa transferência de calor e menciona um papel da evaporação no processo, embora sem explicar adequadamente o mecanismo físico de retirada de calor.

Aluno 2:

- a) resp. Por que tem maior umidade ajudando a ficar gelado.
- b) resp. Evaporar dentro da cerâmica assim tendo umidade e gelando.

Análise: Apresenta concepções alternativas. Atribui o resfriamento à “maior umidade” da cerâmica e relaciona a evaporação ao aumento de umidade e resfriamento, sem conexão com a absorção de calor ou com a porosidade do material.
Aluno 3: a) resp. Por que tem maior umidade ajudando a ficar gelado. b) resp. Evaporar dentro da cerâmica assim tendo umidade e gelando. Análise: Também apresenta concepções alternativas. Repetindo a mesma explicação do Aluno 2, com foco em “umidade” e sem qualquer referência ao processo físico correto.
Aluno 4: a) rep. Por que tem a maior. b) resp. Evapora dentro na cerâmica assim fica mais gelando. Análise: Apresenta concepção alternativa, pois oferece respostas incompletas e sem fundamentação científica tanto para o papel da cerâmica quanto para a evaporação.
Aluno 5: a) resp. Aluno ausente b) resp. Aluno ausente Análise: Não compareceram, sem classificação.
Aluno 6: a) resp. Aluno ausente b) resp. Aluno ausente Análise: Não compareceram, sem classificação.
Aluno 7: a) resp. Aluno ausente b) resp. Aluno ausente Análise: Não compareceram, sem classificação.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A análise das respostas revela uma compreensão majoritariamente inadequada sobre o resfriamento evaporativo. A maior parte do grupo (Alunos 2, 3 e 4) apresentou concepções alternativas, associando incorretamente o resfriamento à "umidade" do material, sem entender que a evaporação retira calor do sistema.

Apenas o Aluno 1 demonstrou uma concepção parcialmente científica, ao reconhecer o papel da evaporação e da baixa transferência de calor da cerâmica, embora sem conseguir explicar o mecanismo físico de forma completa.

Em resumo, o grupo falha em articular a relação de causa e efeito correta entre a porosidade da cerâmica, a evaporação da água e a consequente perda de calor, indicando uma lacuna conceitual fundamental sobre o tema.

5.7.3 Análise Individual – Questão 2 (c)

Como esses vasos ajudavam na conservação sem o uso de eletricidade?

Vocês acham que esses métodos são utilizados hoje? Onde?

Quadro 19 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Não. E não justificou. Análise: Apresenta uma resposta extremamente reduzida, afirmando apenas “não” sem justificar. Classifica-se como concepção alternativa, pois não demonstra compreensão do funcionamento do resfriamento evaporativo nem reconhece a aplicação atual dos métodos tradicionais.
Aluno 2: rep. Não. E não justificou. Repete o padrão do Aluno 1, respondendo apenas “não”, sem qualquer explicação. Também se enquadra em concepção alternativa, por ausência total de argumentação e desconhecimento dos princípios envolvidos.
Aluno 3: rep. Não. E não justificou. Análise: Responde “não” sem justificativa, evidenciando falta de compreensão conceitual. Classificado como concepção alternativa.
Aluno 4: Não. E não justificou. Análise: Apresenta a mesma resposta dos anteriores (“não”), sem qualquer explicação adicional. Mantém o padrão de concepção alternativa.
Aluno 5: resp. Aluno ausente. Análise: Não compareceram, sem classificação.
Aluno 6: resp. Aluno ausente. Análise: Não compareceram, sem classificação.
Aluno 7: resp. Aluno ausente. Análise: Não compareceram, sem classificação.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A análise das respostas revela uma completa falta de engajamento e compreensão por parte dos alunos presentes. Todos os quatro estudantes (Alunos 1, 2, 3 e 4) responderam ("não"), sem fornecer qualquer justificativa sobre o mecanismo de conservação ou a aplicação atual desses métodos.

Este padrão uniforme classifica todo o grupo com concepções alternativas por omissão, indicando que eles não apenas desconhecem o princípio do resfriamento evaporativo, mas também ignoram a relevância contemporânea de tecnologias sustentáveis em diversas comunidades. O resultado aponta para uma falha total na assimilação do conteúdo abordado.

2. Justificativa: perguntas e justificativa do planejamento.

a) Qual kit experimental foi utilizado pelo grupo e por que escolheu os materiais que está se sendo utilizando?

- I. Aluno 1: resp. Cerâmica, areia, isopor, pano e kit para coletar dados de temperatura.
- II. Aluno 2: resp. Cerâmica, areia, e kit de temperatura.
- III. Aluno 3: resp. Cerâmica, areia, isopor, pano e kit para coletar dados de temperatura.
- IV. Aluno 4: resp. cerâmica, areia, isopor, pano e kit de temperatura.
- V. Aluno 5: resp. Aluno ausente.
- VI. Aluno 6: resp. Aluno ausente.
- VII. Aluno 7: resp. Aluno ausente.

5.7.4 Síntese - Justificativa da Escolha dos Materiais (Grupo C)

A análise das respostas do grupo mostra que os estudantes compreenderam adequadamente os materiais fundamentais do experimento, especialmente o uso de vasos de cerâmica, areia e água, além do sensor de temperatura. Esses elementos foram citados de forma consistente pelos participantes, indicando entendimento da estrutura básica necessária para investigar o resfriamento evaporativo.

Alguns alunos acrescentaram materiais como pano úmido ou isopor, mostrando uma percepção adicional sobre os elementos que favorecem a manutenção da umidade ou o isolamento térmico.

Apesar de pequenas variações na descrição, o grupo demonstrou convergência na identificação dos componentes essenciais.

5.7.5 Análise da questão b - Compreensão de temperatura, calor e umidade (Grupo C)

Pergunta: Qual a sua compreensão do conceito sobre temperatura, calor e umidade em relação ao experimento que está sendo desenvolvido?

Quadro 20 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Questão em branco. Análise: Não apresentou resposta. Não há elementos para identificar compreensão conceitual.
Aluno 2: Questão em branco. Análise: Assim como o Aluno 1, não respondeu ao item, impossibilitando a análise da compreensão sobre temperatura, calor ou umidade.
Aluno 3: resp. “A temperatura.” (sem justificar). Análise: Apresenta resposta concepção alternativa pois sua resposta é extremamente limitada, mencionando apenas o termo “temperatura” sem explicação ou relação com o experimento. Não demonstra compreensão de calor, umidade ou do mecanismo físico envolvido.
Aluno 4: resp. questão em branco. Análise: A ausência de resposta impossibilita avaliar qualquer nível de compreensão sobre os conceitos abordados.
Aluno 5: resp. Aluno ausente. Análise: Sem dados para análise.
Aluno 6: resp. Aluno ausente. Análise: Sem dados para análise.
Aluno 7: resp. Aluno ausente. Análise: Sem dados para análise.

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

5.7.6 Análise da questão b: compreensão sobre temperatura, calor e umidade (Grupo C).

As respostas do Grupo C evidenciam baixa mobilização conceitual sobre temperatura, calor e umidade no contexto do experimento. Três estudantes deixaram a questão em branco e

um apresentou resposta extremamente vaga, sem relação com os processos físicos envolvidos. Assim, não foi possível identificar concepções científicas ou parcialmente científicas, predominando a ausência de elaboração conceitual. A falta de participação dos demais estudantes (ausentes) reforça a limitação dos dados, inviabilizando análises mais profundas sobre a compreensão do grupo.

5.8 Análise da problematização (Grupo D).

Pergunta: Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso à eletricidade, utilizando materiais simples e acessíveis?

Quadro 21 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Colocando em areia, pois dependendo da areia ela resfria e coloca um pouco de água que também pode ajudar. Análise: Apresenta concepção parcialmente científica. Reconhece o papel da areia e da água no resfriamento, mas sem explicar os mecanismos físicos envolvidos (porosidade, evaporação, trocas de calor).
Aluno 2: resp. Colocando terra em redor da panela. Análise: Apresenta concepção alternativa. A resposta é vaga e não estabelece relação entre o uso de terra e o mecanismo de resfriamento evaporativo.
Aluno 3: resp. Colocando areia ao redor do recipiente, mas a argila é o principal para resfriar os alimentos sem acesso a eletricidade. Análise: Apresenta concepção parcialmente científica. O elemento central do resfriamento, mas não explica o fenômeno físico que justifica essa função.
Aluno 4: resp. Colocando na areia, pelo fato de ser úmida. Análise: Apresenta concepção alternativa. Associa o resfriamento à umidade da areia, mas sem explicação científica ou relação com os processos de evaporação e trocas de calor.
Aluno 5: resp. Com pote de argila e colocar areia para que ela não esfriar. Análise: Apresenta concepção alternativa. A resposta é confusa e apresenta contradição (“para que ela não esfriar”), não sendo possível identificar compreensão adequada.

Aluno 6: resp. Em um pote com areia utilizando junto com outro pote de alumínio, ou seja, ao redor do pote colocamos a areia. Análise: Apresenta concepção parcialmente científica. Reconhece a necessidade de dois recipientes e da areia ao redor, aproximando-se do entendimento do sistema pot-in-pot, mas sem explicar a física envolvida.
Aluno 7: resp. Ausente. Análise: Ausente. Não classificado.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A análise das respostas do grupo indica uma compreensão inicial, porém incompleto, sobre o processo de conservação de alimentos sem eletricidade. Observa-se que os estudantes associam materiais como areia, terra ou argila ao fenômeno do resfriamento. Contudo, as justificativas apresentadas são superficiais e não estabelecem a relação causal com os processos de evaporação e trocas de calor, que fundamentam o mecanismo científico do dispositivo. Predomina no grupo uma das concepções alternativas, na qual o resfriamento é atribuído a propriedades intrínsecas dos materiais, como serem "frios" ou "úmidos", em vez de a processos físicos dinâmicos. Certos estudantes demonstram uma aproximação a uma concepção parcialmente científica ao reconhecerem que o fenômeno depende da interação entre os recipientes e a umidade, embora a explicação permaneça incompleta. Respostas confusas ou a ausência de alguns participantes também foram registradas.

De modo geral, o grupo demonstra possuir noções preliminares, mas insuficientes, com predominância de explicações de senso comum em detrimento do rigor científico. Tal resultado evidencia a necessidade de mediação pedagógica para a construção de um entendimento conceitual adequado sobre o tema.

Tabela 8 - Análise das questões individuais. Grupo D - aula 4

Categoria	Questionário pré teste (%)
Concepção científica CC (verde)	0%
Concepção científica parcial CCP (amarelo)	43%
Concepção Alternativa CA (laranja)	43%
Ausente (AU)	14%

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A tabela 7 mostra que a maioria dos estudantes apresentou concepções alternativas (43%). E análise do gráfico mostra que (43%) dos estudantes demonstram concepções científicas parciais indicando que entendem alguns elementos do processo de resfriamento, mas ainda com explicações incompletas. Dos estudantes (14%) ausente e nenhum estudante apresentou concepção totalmente científica (0%), evidenciando que, nesse momento da sequência didática, os alunos ainda não dominam plenamente os conceitos de transferência de calor, temperatura e evaporação.

5.8.1 Síntese individual – grupo D – Questão 2 (a e b).

- a) Por que a cerâmica ajuda no resfriamento?
- b) Qual o papel da evaporação nesse processo?

Quadro 22 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: a) resp. Creio que por conta da umidade em baixo da terra ajuda a resfria a cerâmica. b) resp. A temperatura cai por conta da areia ser meio úmida. Análise: Demonstra concepção alternativa. Explica o resfriamento pela “umidade embaixo da terra”, sem relação com porosidade ou evaporação e relaciona queda de temperatura à areia úmida, mas não descreve evaporação ou absorção de calor.
Aluno 2: a) resp. Por que a cerâmica é um piso quente que deixa refrescante. b) A temperatura do alimento cai pelo fato da areia ser molhada. Análise: Demonstra concepções alternativas. Diz que a cerâmica “é um piso quente que deixa refrescante”, ideia sem sentido físico ou relação com o fenômeno e atribui resfriamento ao fato de a areia estar molhada; não explica evaporação.
Aluno 3: a) resp. A cerâmica ajuda no resfriamento, também pela umidade do solo. b) O papel da evaporação causa pela temperatura do alimento. Análise: Demonstra concepções alternativas. Relaciona cerâmica à umidade do solo, mas sem explicar como isso promove resfriamento e resposta vaga, relacionando evaporação à temperatura do alimento; não há explicação conceitual.

Aluno 4: a) rep. Por causa da umidade em baixo da terra. b) resp. O papel é que areia é úmida então a evaporação da temperatura do alimento muda. Análise: Demonstra concepções alternativas. Repete a ideia de que a umidade do solo resfria a cerâmica, mas não aborda o mecanismo de evaporação. Resposta vaga, relacionando evaporação à temperatura do alimento; não há explicação conceitual.
Aluno 5: a) resp. Por que ela é feita de barro e isso ajuda mais por que já é feita de areia. b) resp. Por causa que ela depende da comida a areia húmida faz ela ficar na temperatura normal sem ela fica quente. Análise: Demonstra concepções alternativas. Reconhece que a cerâmica é feita de barro, areia, mas não explica como suas propriedades permitem o resfriamento e Resposta confusa e sem relação com evaporação.
Aluno 6: a) resp. Porque a cerâmica é fria e areia é mole. b) resp. A temperatura do alimento cai. Análise: Demonstra concepções alternativas Afirma que a cerâmica é “fria”, explicação simplista e sem fundamento físico e afirma apenas que “a temperatura cai”, sem explicação do fenômeno.
Aluno 7: a) resp. Ausente. b) resp. Ausente. Análise: Ausente. Não classificado.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Os resultados do Grupo D demonstram que a mediação pedagógica não foi eficaz para mobilizar os alunos em sua Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). A ausência total de articulação com os conceitos científicos sugere que a abordagem de ensino pressupunha um conhecimento prévio que esses estudantes não possuíam, evidenciando a necessidade de uma intervenção mais direcionada e fundamental para esse perfil de aluno.

5.8.2 Análise individual – questão 2 (c)

Como esses vasos ajudavam na conservação sem o uso de eletricidade?

Vocês acham que esses métodos são utilizados hoje? Onde?

Quadro 23 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Hoje em dia eu não sei muito bem, mas tem algumas pessoas usam para por água, como algumas pessoas usavam antigamente para deixa água gelada em casa. Análise: Mostra que, concepção Científica Parcial. corretamente sua aplicação prática (deixar a água gelada) e suspeita de seu uso contínuo, mesmo que de forma incerta. Ele conecta o uso antigo ao moderno, mostrando uma percepção parcial da realidade. Ele acerta a função e a aplicação, mas falha completamente em explicar o mecanismo científico.
Aluno 3: Areia, vaso de argila, em um alumínio, hoje em dia não veremos esses métodos sendo utilizados eles ajudam pela umidade do solo. Análise: O aluno demonstra concepção alternativa. O aluno identifica alguns materiais corretos (areia, argila), mas erra ao incluir "alumínio". A explicação para o funcionamento ("ajudam pela umidade do solo") é uma noção vaga e cientificamente incorreta, pois não menciona a evaporação nem a retirada de calor. Além disso, nega categoricamente o uso atual do método. A explicação do mecanismo é baseada no senso comum ("umidade") e não em princípios físicos, e a visão sobre o uso contemporâneo é equivocada.
Aluno 4: resp. Não. Não são usados hoje em dia. Análise: Resposta do aluno é concepção alternativa. Similar ao Aluno 2, a ausência de argumentação indica desconhecimento total. O aluno não apresenta justificativa, e demonstra não ter conhecimento do mecanismo quanto a aplicação atual.
Aluno 5: resp. O vaso é feito de areia, alumínio, areia. Não. Análise: A resposta é concepção alternativa. A resposta é desconexa e não apresenta nenhum elemento de conhecimento científico. A descrição dos materiais está confusa e incorreta (menciona "alumínio"). A resposta é negativa e sem justificativa, não demonstrando qualquer compreensão.
Aluno 6: resp. Não. Eles ajudam na conservação humidamente dos alimentos. Análise: O aluno demonstra ter concepção alternativa. A justificativa é superficial e não científica. A explicação ("ajudam na conservação humidamente") é muito semelhante à do Aluno 3, atribuindo o efeito à "umidade" de forma vaga. É uma explicação de senso comum, que não articula o processo de evaporação e troca de calor.
Aluno 7: resp. Ausente. Análise: Sem dados

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O desempenho do grupo nesta questão é predominantemente baixo, com a grande maioria dos alunos situando-se na concepção alternativa. A tendência geral é a incapacidade de

explicar o mecanismo de resfriamento, recorrendo a noções vagas e cientificamente imprecisas como "umidade". Além disso, a maioria nega o uso contemporâneo desses métodos, revelando desconhecimento sobre soluções sustentáveis em diferentes contextos globais.

O Aluno 1 é a única exceção, alcançando uma concepção científica parcial por reconhecer corretamente a função (gelar a água) e a provável continuidade de seu uso, ainda que não saiba explicar o porquê. Nenhum estudante demonstrou ter uma concepção científica do processo. O resultado evidencia uma falha significativa na compreensão do conteúdo, tanto no aspecto teórico (o processo físico) quanto no prático (a aplicação real da tecnologia).

5.8.3 Síntese - Justificativa da escolha dos materiais (Grupo D)

1. Justificativa: perguntas e justificativa do planejamento.
 - a) Qual kit experimental foi utilizado pelo grupo e por que escolheu os materiais que está se sendo utilizando?
 - I. Aluno 1: resp. Vaso de barro, uma panela de alumínio, areia, água e pano molhado.
 - II. Aluno 2: resp. Vaso de barro, um pote de alumínio, areia e kit de Arduino.
 - III. Aluno 3: resp. A areia, o vaso de alumínio, pano úmido e vários fios.
 - IV. Aluno 4: resp. Kit de Arduino, vaso de barro, areia e pote de alumínio.
 - V. Aluno 5: resp. Alumínio, pote de argila, areia e pano.
 - VI. Aluno 6: resp. Foi utilizado vaso de argila, pote de alumínio, areia e pano.
 - VII. Aluno 7: resp. Ausente.

5.8.4 Síntese - Justificativa da Escolha dos Materiais (Grupo D).

Os estudantes em sua maioria, indicaram a utilização de vaso de barro, recipiente ou panela de alumínio, areia, água e pano úmido como componentes do kit experimental. Esses materiais foram escolhidos por serem simples, acessíveis e adequados à proposta de montagem do sistema demonstrativo do resfriamento evaporativo. As respostas evidenciam que o grupo reconhece a importância dos elementos básicos do experimento, embora não explicita, de forma direta, a relação entre esses materiais e os processos físicos envolvidos, como troca de calor, permeabilidade dos vasos e função da umidade na evaporação. Um estudante mencionou ainda o kit Arduino, indicando compreensão parcial sobre sua função no monitoramento do experimento. A ausência de um dos participantes foi registrada.

5.8.5 Análise da Questão b - Compreensão de temperatura, calor e umidade (Grupo D)

Pergunta: Qual a sua compreensão do conceito sobre temperatura, calor e umidade em relação ao experimento que está sendo desenvolvido?

Quadro 24 - Análise de concepções alternativas, concepções científicas e concepções científicas parciais.

Aluno 1: resp. Que dependendo se for areia quente pode esquentar e se for areia molhada resfria e quanto mais molhada mais fria ela fica.

Análise: O aluno estabelece um conceito concepção alternativa uma relação de causa e efeito baseada na observação, mas a explicação é superficial. Ele associa "areia molhada" a "resfriar" e "mais molhada" a "mais fria", o que é uma observação correta, mas não explica o porquê. Ele não menciona calor como transferência de energia nem o papel da evaporação. A lógica é baseada em senso comum (areia molhada é igual a fria).

Aluno 2: resp. Pelo fato de temperatura cair ou aumentar, com os materiais utilizados.

Análise: Esta é uma resposta concepção alternativa. A resposta não demonstra nenhuma compreensão conceitual, apenas descreve o resultado observado sem qualquer explicação científica. O aluno apenas afirma que a temperatura muda dependendo dos materiais, o que é a premissa do experimento, não uma explicação dos conceitos. Ele não define calor, temperatura ou umidade, nem como se relacionam.

Aluno 3: resp. Comparando que ao mesmo tempo que podemos fazer a temperatura do calor podemos fazer ela fica úmida.

Análise: A concepção alternativa. A resposta evidencia uma profunda confusão sobre a definição e a relação entre os conceitos fundamentais. Fazer a temperatura do calor" não tem significado físico (temperatura é uma medida, calor é energia em trânsito). Ele justapõe os termos "temperatura", "calor" e "úmida" sem estabelecer uma relação lógica ou científica entre eles.

Aluno 4: resp. Dependendo do que for usado a temperatura cai ou aumenta.

Análise: Resposta concepção alternativa. A resposta é semelhante à do Aluno 2. É uma constatação do óbvio no contexto do experimento, mas não oferece nenhuma explicação sobre os conceitos de calor, temperatura ou umidade, e sem escrever qualquer entendimento dos princípios físicos envolvidos.

Aluno 5: resp. Comparando que ao mesmo tempo que podemos fazer a evaporação do calor podemos fazer ela ficar húmida. Análise: Esta resposta concepção alternativa é ainda mais confusa que a do Aluno 3. A expressão "evaporação do calor" é cientificamente incorreta e sem sentido. O aluno mistura os termos "evaporação" e "calor" de forma aleatória, demonstrando não compreender nenhum dos dois processos.
Aluno 6: Compreendo sobre temperatura que pode ser desenvolvido com calor e umidade. Análise: O aluno tenta relacionar os três conceitos, mas o faz de forma vaga e imprecisa. Concepção alternativa. Embora mencione os três termos da pergunta, a relação que estabelece entre eles é vaga e não demonstra um entendimento científico, nem mesmo parcial. Dizer que a temperatura "pode ser desenvolvido com calor e umidade" não explica a natureza dessa relação. Ele não define os termos nem explica como um influencia o outro.
Aluno 7: resp. Ausente. Análise: Ausente

Fonte: elaborada pela autora, 2025.

5.8.6 Análise da questão b: compreensão sobre temperatura, calor e umidade (Grupo D).

De modo geral, as respostas dos estudantes revelam predominância de concepções alternativas sobre os conceitos de temperatura, calor e umidade. A maior parte do grupo descreve o comportamento térmico dos materiais apenas como observações empíricas (“esquenta”, “esfria”, “fica úmida”), sem explicar os mecanismos físicos envolvidos, especialmente a transferência de calor e o papel da evaporação no resfriamento.

Embora alguns estudantes tentem relacionar os três conceitos pedidos, as explicações são vagas, imprecisas e frequentemente apresentam termos usados de forma incorreta (“evaporação do calor”, “fazer a temperatura do calor”). Essas respostas indicam ausência de compreensão conceitual estruturada, com confusão entre grandezas (calor e temperatura) e fenômenos (evaporação e umidade). Assim, o conjunto das respostas demonstra que o grupo ainda não compreende adequadamente os princípios físicos que fundamentam o funcionamento do experimento, necessitando de maior mediação conceitual e intervenções didáticas que esclareçam a natureza e as relações entre calor, temperatura e umidade.

5.9 Fechamento da Aula 4: Síntese da Problematização por Grupos

Após a análise das discussões e respostas da Aula 4, o quadro abaixo resume o perfil de cada grupo antes da execução propriamente dita do experimento:

Quadro 25- Quadro – Análise conceitual geral dos grupos – aula 4

Grupo	Avaliação	Justificativa
A	CA	Reconhecem a cerâmica como solução, mas dependem 100% do senso comum (0% de rigor científico).
B	CCP	Bom desempenho inicial. Introduziram o conceito de "suor do vaso", indicando início de transição.
C	CCP	Melhor desempenho. Mencionaram porosidade e troca de calor, aproximando-se da linguagem científica.
D	CA	Maior dificuldade. Apresentaram confusão entre calor e temperatura (ex: "evaporação do calor").

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

6 DESENVOLVIMENTO PROTÓTIPO E EXPERIMENTAÇÃO (AULA 5)

A aula 5 foi realizada no dia 06/11/2025, em uma quinta-feira. As aulas foram cedidas por colegas e a coleta de dados ocorreu em um horário diferente, a fim de não interferir na disciplina do docente responsável pelo turno. Dessa forma, o experimento foi conduzido em duas aulas distintas, com dois grupos por vez.

A montagem e o teste do mini sistema de refrigeração natural constituíram a etapa central do desenvolvimento da sequência didática. A atividade experimental teve como objetivo permitir que os estudantes observassem, na prática, os efeitos do resfriamento evaporativo, analisando variáveis como temperatura e umidade relativa por meio do sensor DHT11 conectado ao Arduino. Essa etapa possibilitou que os alunos relacionassem os fenômenos observados aos conceitos estudados previamente, favorecendo a compreensão dos mecanismos físicos envolvidos.

Durante a construção do protótipo, os grupos colocaram em prática o planejamento elaborado na Aula 4, debatendo continuamente suas escolhas e realizando ajustes conforme necessário. Esse processo de tomada de decisão colaborativa possibilitou que os estudantes se engajassem na atividade de forma ativa, reforçando a importância da linguagem, da mediação e da cooperação no desenvolvimento dos conceitos científicos.

Com o sistema montado, os estudantes realizaram medições internas e externas do refrigerador, registrando variações de temperatura e umidade. A coleta de dados, associada à observação direta do comportamento do experimento, favoreceu a internalização dos conceitos relacionados à evaporação, transferência de calor e eficiência térmica dos diferentes materiais. Nesse contexto, a aprendizagem assumiu um caráter investigativo, no qual os alunos precisaram interpretar fenômenos, confrontar hipóteses e justificar suas conclusões com base no que haviam estudado.

A estrutura da aula permitiu ao professor atuar como mediador, intervindo quando necessário, orientando questionamentos e ajudando os estudantes a atribuir sentido às observações realizadas. A postura está de acordo com o papel do professor na perspectiva de Vygotsky: promover condições para que o aluno avance em sua ZDP, oferecendo suporte intelectual adequado para que a compreensão científica. Ao final da atividade, os grupos discutiram a viabilidade e a sustentabilidade dos sistemas construídos, refletindo sobre suas potencialidades e limites em contextos reais sem acesso à eletricidade. Essa etapa ampliou o

significado social da aprendizagem e reforçou o caráter interdisciplinar do experimento, aproximando ciência, sustentabilidade e cidadania.

Os estudantes, em sua maioria, indicaram a utilização de vaso de barro, pote ou panela de alumínio, areia, água e pano úmido como componentes do kit experimental. Esses materiais foram escolhidos por serem simples, acessíveis e adequados à proposta de montagem do sistema demonstrativo do resfriamento evaporativo. As respostas evidenciam que o grupo reconhece a importância dos elementos básicos do experimento, embora não explicita, a relação entre esses materiais e os processos físicos envolvidos, como troca de calor, permeabilidade dos vasos e função da umidade na evaporação. Um estudante mencionou ainda o kit Arduino, indicando compreensão parcial sobre sua função no monitoramento do experimento. A ausência de um dos participantes foi registrada.

Esses resultados indicam que o grupo se encontra na ZDP, com repertório inicial adequado, mas necessitando de mediação e investigação experimental para avançar em direção ao entendimento científico. O diagnóstico dos grupos A e D no quadro 25 que se encontra na página 160, evidencia a importância das etapas seguintes da sequência didática para promover a elaboração conceitual mediada e a transição dos conhecimentos cotidianos para os conhecimentos científicos. Conforme afirma Castro (2016):

O ensino de Física na rede pública estadual merece uma atenção quanto a utilização de determinadas concepções de ensino e aprendizado para que este não se qualifique, apenas, na realização de exercícios para memorizar as fórmulas e conceitos. Precisa vir acompanhado por uma abordagem que permita a utilização de experimento, para que os alunos possam interagir com conteúdo apresentado de uma maneira diferente, possibilitando o aprendizado por meio da observação do experimento. Dessa forma, a partir do momento que o aluno está de frente com um fenômeno físico, este pode desenvolver o senso de análise para entender o que está acontecendo no experimento (Castro, 2016, p.3).

6.1 Desenvolvimento experimental da aula 5. (Grupo A, B, C e D)

Nesta etapa, o Grupo (A, B, C e D) deu continuidade ao desenvolvimento do Mini Sistema de Refrigeração Natural. Durante a aula, os estudantes realizaram a montagem completa do sistema, o que envolveu o ajuste do nível de umidade da areia e o teste de vedação entre os vasos. Em seguida, realizaram a conexão do Arduino para registrar e comparar os valores da temperatura interna, externa e umidade relativa.

Ao longo da montagem, o ambiente de sala de aula foi marcado por intenso engajamento, manifestado por uma série de dúvidas e perguntas que surgiram naturalmente. Por se tratar de uma atividade que rompe com o cotidiano escolar tradicional, o "estranhamento"

diante do experimento funcionou como um motor para a curiosidade científica. Surgiram questionamentos como:

- Como a água consegue atravessar a parede do vaso se ele parece sólido?
- Por que a areia precisa estar úmida para o interior do vaso esfriar?
- Se vedarmos totalmente o vaso, a temperatura vai cair mais rápido?

Sob a ótica vygotskyana, esses questionamentos são indícios claros de aprendizagem e engajamento. A dúvida revela que o estudante está operando em sua zona de desenvolvimento proximal, tentando conciliar seus conceitos espontâneos com os novos conceitos científicos que a prática apresenta.

Esse processo de investigação ativa justifica os resultados observados no pós-teste: ao invés do silêncio (categoria cinza), os alunos passaram a formular hipóteses próprias, demonstrando que a manipulação do Arduino e do sistema de refrigeração transformou a dúvida em uma ferramenta de construção de conhecimento. A atuação do professor ocorreu como mediação, orientando a observação dos fenômenos, estimulando questionamentos e conduzindo o grupo à articulação entre os dados coletados e os conceitos teóricos. Assim, o grupo avançou dentro da sua (ZDP) ao relacionar empiricamente as medições com os princípios da transferência de calor, evaporação e isolamento térmico proporcionado pelos materiais utilizados.

6.2 – Objetivos da aula 5.

A aula 5 teve como objetivo central promover a investigação prática dos fenômenos termodinâmicos, visando mediar a transição entre os conceitos espontâneos e científicos por meio da experimentação ativa e da coleta de dados empíricos. Com foco na compreensão do resfriamento evaporativo como uma solução tecnológica social, a atividade permitiu que os estudantes construíssem protótipos e validassem a teoria física através do uso de ferramentas tecnológicas e da análise de viabilidade sustentável. Para o alcance dessa meta, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- Montar e testar um mini sistema de refrigeração natural, comparando a eficiência térmica de diferentes materiais como vasos de cerâmica, plástico, isopor e metal.

- Aplicar os conceitos de temperatura, calor, evaporação e transferência de energia térmica em uma situação prática e contextualizada, fortalecendo a transição para concepções científicas.
- Medir e registrar a temperatura e a umidade dentro e fora do sistema, utilizando sensores DHT11 integrados à plataforma Arduino para conferir rigor investigativo e empírico à atividade.
- Refletir sobre a viabilidade e sustentabilidade do sistema em contextos reais, discutindo o potencial impacto social dessa tecnologia para populações sem acesso à rede de eletricidade.

Problema: Você foi contratado para desenvolver um sistema de resfriamento sustentável para uma vila sem acesso à eletricidade. Como é possível utilizar materiais simples e os conceitos de temperatura, calor e evaporação para manter alimentos e água frescos?

A problematização apresentada busca contextualizar a necessidade de soluções sustentáveis para conservação de alimentos em locais sem eletricidade. A partir desse desafio, a Aula 5 propõe que os estudantes investiguem, por meio de experimentação prática, como os conceitos de temperatura, calor e evaporação podem ser aplicados na construção de um sistema simples de resfriamento natural. Essa abordagem favorece a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos e incentiva o desenvolvimento de soluções viáveis para situações reais.

6.3 Materiais utilizados.

Cada kit contém uma combinação de materiais diferentes, permitindo variações estruturais no sistema e estimulando comparações entre os resultados obtidos. Os materiais serão fornecidos pelo professor(a). Os kits são todos iguais com exceção do recipiente interno do vaso externo de cerâmica que será detalhado mais adiante.

6.3.1 Kit 1: Sistema com dois vasos de cerâmica (interno e externo).

O kit foi pensado como o modelo mais completo para demonstrar o efeito da evaporação na redução da temperatura. A escolha por dois vasos de cerâmicas, um interno e outro externo, segue o princípio tradicional do sistema pot-in-pot.

O vaso de cerâmica é fundamental, pois sendo um material poroso, permite a passagem da água e favorece o processo de evaporação, que por sua vez, promove resfriamento do sistema.

A areia, por sua vez, atua como meio poroso que retém a umidade e a libera lentamente, garantindo a manutenção contínua do processo evaporativo. A sua função é manter um nível estável de água entre os vasos, evitando tanto o encharcamento quanto o ressecamento rápido, ambos prejudiciais ao resfriamento constante.

A água é o elemento essencial do fenômeno, pois é a substância que evapora. A quantidade utilizada deve ser controlada para assegurar um equilíbrio entre saturação e drenagem.

O béquer é inserido no kit como instrumento de medição, permitindo que os estudantes quantifiquem o volume de água adicionado, garantindo precisão experimental e padronização entre os grupos.

O pano de algodão umedecido, disposto na parte externa do vaso maior, amplia a área de evaporação e acelera o processo de retirada de calor. A fibra natural do algodão favorece a retenção da umidade.

O kit utiliza sensores de temperatura e umidade conectados ao Arduino, o que permite uma coleta de dados automatizada e mais precisa. Assim, os estudantes conseguem acompanhar em tempo real as variações de temperatura, o que torna as experiências mais significativas e próximas das práticas científicas atuais.

6.3.1.1 Materiais do kit 1, são:

- Vaso de cerâmica externo, 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 de espessura.
- Vaso interno de cerâmica, 18 cm de diâmetro, 10 cm de altura e 1 cm de espessura.
- Kit de Arduino pronto para ser utilizado.
- Pano de algodão.
- Areia.
- Água.
- Becker (para medir a quantidade de água).

6.3.2 Kit 2: Vaso externo de cerâmica e caixa interno de isopor.

Nesta etapa experimental também foi montado um sistema utilizando vaso externo de cerâmica e caixa de isopor interno de isopor. A caixa de isopor que foi utilizada nesse experimento tem a capacidade de 500 ml, medindo aproximadamente 8 cm de altura, 15 cm de comprimento e 12 cm de largura.

6.3.2.1 Materiais do kit 2:

- Vaso de cerâmica externo, 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 de espessura.
- Caixa isopor pequena 8cm de altura, 15 cm de comprimento e 12 cm de largura
- Kit de Arduino pronto para ser utilizado.
- Pano de algodão.
- Areia
- Água
- Becker (para medir a quantidade de água).

6.3.3 Kit 3: Vaso de cerâmica e interno de plástico.

Nesta etapa experimental foi utilizado um recipiente interno de plástico que possui capacidade de 700 ml, medindo cerca de 8 cm de altura e 15 cm de diâmetro. Trata - se de um material plástico polimérico impermeável e de baixa condutividade térmica, que impede a passagem de água pelas paredes e não permite a ocorrência de evaporação, mas permite que o processo de resfriamento aconteça pelas paredes internas. Esse material foi escolhido para comparar a eficiência térmica em relação aos vasos de cerâmica. A escolha do recipiente plástico como vaso interno tem a função de atuar como controle experimental, representando um sistema de desempenho térmico passivo. A seleção desse material se justifica pelas propriedades dos polímeros, que apresentam baixa condutividade térmica (λ), reduzindo a transferência de calor por difusão (Figueiredo, 2019).

No contexto do estudo, a baixa condutividade térmica do plástico minimiza as perdas e ganhos de calor com o ambiente externo de forma passiva, diferentemente do mecanismo ativo de resfriamento evaporativo promovido pela cerâmica. O uso do controle passivo é uma estratégia metodológica essencial para o ganho de eficiência do sistema ativo. Estudos que avaliam o desempenho térmico de embalagens ativas reforçam que a comparação em um

sistema de controle inerte é crucial para demonstrar o impacto do resfriamento evaporativo sobre a estabilidade da temperatura (Silva, 2020).

6.3.3.1 Materiais do kit 3:

- Vaso de cerâmica externo, 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 de espessura.
- Recipiente de plástico, 8 cm de altura, 15 cm de diâmetro.
- Kit de Arduino pronto para ser utilizado.
- Pano de algodão.
- Areia
- Água
- Becker (para medir a quantidade de água).

6.3.4 Kit 4: Vaso externo de cerâmica e recipiente de alumínio.

No kit 4 foi utilizado um recipiente externo de cerâmica e outro interno de alumínio que possui capacidade de aproximada de 800 ml, medindo cerca de 7,5 cm de altura, 17 cm de diâmetro. O recipiente interno de alumínio foi incluído no aparato experimental pela alta condutividade, o alumínio é classificado sendo um condutor térmico de excelência (Kipper et al., 2024).

A análise do processo de transferência de calor é essencial para a superação das concepções espontâneas dos estudantes, que frequentemente confundem calor com sensação térmica ou temperatura. O objetivo da etapa experimental da sequência didática é, portanto, fornecer uma experiência empírica que sirva de ponto de partida para a construção dos conceitos científicos.

6.3.4.1 Materiais do kit 4:

- Vaso de cerâmica externo, 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 de espessura.
- Recipiente de alumínio 7,5 cm de altura, 17 cm de diâmetro.
- Kit de Arduino pronto para ser utilizado.
- Pano de algodão.
- Areia
- Água
- Becker (para medir a quantidade de água)

6.3.5 A ficha de justificativa como instrumento de mediação

O plano de intervenção proposto visa aprimorar a mediação pedagógica na atividade experimental, focando na superação das dificuldades conceituais e metodológicas identificadas na Seção 8.5. O produto central deste plano é a Ficha de Justificativa do Kit Utilizado, um instrumento projetado para atuar na ZDP dos estudantes, promovendo a articulação entre a ação prática e o conhecimento teórico.

6.4 Justificativa e fundamentação teórica

A necessidade desta intervenção surge da análise dos Grupos A e C, onde falhas técnicas e metodológicas (perda de dados, fios soltos) desviaram o foco da investigação conceitual da atividade. Além disso, a análise dos grupos B e D, que apresentaram dificuldades conceituais prévias, reforça a importância de um instrumento que force a antecipação teórica do experimento.

Com o intuito de enfrentar essa limitação, introduziu-se a Ficha de Justificativa como recurso didático central. Esse instrumento atua como mediador semiótico, ao solicitar que o estudante mobilize a linguagem científica para planejar a ação experimental, deslocando a atividade de uma execução mecânica para uma investigação consciente e intencional.

A adoção desse instrumento fundamenta-se na necessidade de elevar a experimentação ao nível do pensamento abstrato e sistematizado. Segundo Vygotsky, os conceitos científicos adquiridos no contexto escolar não se desenvolvem de forma isolada, mas ocupam um lugar específico em um sistema conceitual mais amplo, sendo mediados, desde o início, por outros conceitos. Nesse sentido, Vygotsky afirma que:

Nos conceitos científicos que a criança adquire na escola, a relação entre esses conceitos e cada objeto logo de início mediada por outro conceito. Assim, a própria noção de conceito científico implica uma certa posição relativamente aos outros conceitos, isto é, um lugar num sistema de conceitos. Defendemos que os rudimentos da sistematização começam por entrar no espírito da criança através do contato que estabelece com os conceitos científicos, sendo depois transferidos para os conceitos quotidianos, alterando toda a sua estrutura psicológica de cima até baixo. (Vygotsky, 2008, p. 93).

Essa característica confere aos conceitos científicos um papel organizador do pensamento, capaz de reestruturar os conceitos cotidianos. Ao exigir que os estudantes justifiquem previamente suas escolhas técnicas, como o ajuste da umidade do material externo ou a vedação dos recipientes, a ficha promove a tomada de consciência sobre os fenômenos

físicos envolvidos, favorecendo a antecipação teórica dos resultados esperados. Tal processo situa o estudante em sua ZDP, possibilita a internalização individual de conhecimentos inicialmente construídos no plano social.

Dessa forma, a ficha não apenas organiza a ação experimental, mas também estrutura o pensamento científico, ao demandar que o estudante preveja resultados, articule conceitos e utilize a linguagem escrita técnica para regular seu próprio processo cognitivo. Essa mediação pedagógica contribuiu para a superação da passividade discursiva observada em momentos anteriores, refletindo-se nos resultados do pós-teste, no qual se verificou maior engajamento conceitual e a substituição de respostas evasivas pela formulação de hipóteses próprias, ainda que em níveis alternativos ou parciais. Tais evidências indicam que a mediação proposta transformou a prática experimental em um processo de construção efetiva de saberes científicos.

6.4.1 Estrutura da Ficha de Justificativa

A Ficha de Justificativa é composta por cinco questões que abordam os elementos centrais do experimento, conforme apresentado no Quadro 24.

Quadro 26 - Ficha de Justificativa do kit Utilizado

Perguntas	Objetivo da questão
1. Por que o grupo escolheu esse kit específico?	Avaliar a intencionalidade da escolha e a relação com o objetivo do experimento.
2. Qual a hipótese do grupo sobre o desempenho do sistema de refrigeração montado com este kit?	Exigir a formulação de hipóteses claras, essenciais ao método científico.
3. Como os conceitos de Temperatura, calor e evaporação estão relacionados à escolha e ao funcionamento deste Kit?	Promover a articulação conceitual (mediação semiótica) antes da ação prática.
4. O que vocês esperam observar com o uso do sensor de temperatura e umidade?	Focar na interpretação dos dados e na função dos instrumentos de medição.
5. Se pudessem modificar um elemento do kit, qual seria? Justifique.	Estimular o pensamento crítico e a proposição de melhorias.

Fonte: Elaborada pela autora 2025.

6.4.2 Síntese sobre rubrica

A utilização de rubricas de avaliação em atividades experimentais investigativas é fundamental para garantir coerência, transparência e intencionalidade pedagógica. Como ferramenta que explicita critérios e níveis de desempenho, as rubricas permitem que professores e estudantes compartilhem as mesmas expectativas de aprendizagem. No contexto da avaliação formativa, esse instrumento favorece o acompanhamento do desenvolvimento conceitual, permitindo observar a transição das concepções espontâneas para as científicas através de etapas como a problematização, a formulação de hipóteses e a argumentação.

Além de reduzir a subjetividade do julgamento docente, a rubrica promove o monitoramento da própria aprendizagem pelo aluno, incentivando a autorreflexão e o desenvolvimento de habilidades cognitivas e procedimentais. A rubrica apresentada encontra-se disponível no caderno do professor para ser utilizada na aula 5 da sequência didática. A rubrica não é apenas um guia de notas, mas um instrumento central na validação da proposta didática, consolidando o potencial formativo e a aprendizagem significativa no ensino de ciências.

6.4.3. Rubrica de Avaliação –Atividade Experimental Investigativa

Critério Avaliado	Excelente (4)	Bom (3)	Regular (2)	Insuficiente (1)
Justificativa da Escolha do Kit	Justificativa clara, coerente e bem fundamentada nos conceitos científicos.	Justificativa razoável, com alguns fundamentos conceituais adequados.	justificativa pouco clara ou superficial; conexão fraca com os conceitos.	Não apresentou justificativa ou ela é irrelevante/incompleta.
Elaboração de Hipóteses	Hipóteses bem formuladas, relacionadas ao kit e aos conceitos físicos.	Hipóteses formuladas com alguma relação com o experimento.	Hipóteses genéricas ou mal relacionadas ao objetivo.	Ausência de hipóteses ou completamente desconectadas do contexto.
Compreensão Conceitual (temperatura, calor e evaporação)	Demonstra domínio conceitual e relaciona bem com o experimento.	Demonstra compreensão básica dos conceitos, com algumas conexões corretas.	Demonstra compreensão limitada, com erros ou confusões conceituais.	Apresenta conceitos incorretos ou ausência de entendimento.
Uso dos Sensores e Registro de Dados	Utiliza os sensores de forma precisa e registra dados com clareza e rigor.	Usa os sensores corretamente, com registro razoavelmente organizado.	Dificuldade no uso dos sensores ou registros incompletos.	Não utilizou adequadamente os sensores ou não registrou dados.
Trabalho em grupo e argumentação	Participação ativa de todos; argumentação bem estruturada e colaborativa.	Participação distribuída; argumentação razoável.	Participação desigual; pouca argumentação entre os membros.	Falta de cooperação ou ausência de diálogo e argumentação.

Fonte: elaborada pela autora 2025

6.5 Procedimentos Experimentais por Grupo A, B, C e D.

A presente atividade experimental tem como finalidade investigar, com os materiais simples e acessíveis podem ser utilizados para promover o resfriamento de alimentos e água em ambientes sem eletricidade. A partir do problema proposto, os estudantes serão convidados a explorar conceitos fundamentais de temperatura, calor e evaporação, compreendendo como a transferência de energia térmica ocorre e de que maneira fenômenos naturais podem ser aproveitados para construir soluções sustentáveis. Essa abordagem busca integrar teoria e prática, favorecendo a aprendizagem significativa e o desenvolvimento de habilidades investigativas.

6.5.1 Procedimentos Experimentais por Grupo A

Durante a atividade experimental o Grupo A iniciou a montagem do sistema de resfriamento seguindo o esquema proposto. Os alunos demonstraram boa organização na distribuição das tarefas: enquanto alguns ficaram responsáveis pela montagem física dos vasos, outros olharam se os fios do kit estavam conectados corretamente ao sensor DHT11 no Arduino. Foi explicado a eles a que luz na placa de Arduino iria piscar a cada 30 segundos (s), se isso não estivesse acontecendo os dados não estavam sendo gravados. O aparato experimental foi composto por um kit de resfriamento evaporativo, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27 - Aparato experimental de vaso interno e externo de cerâmica

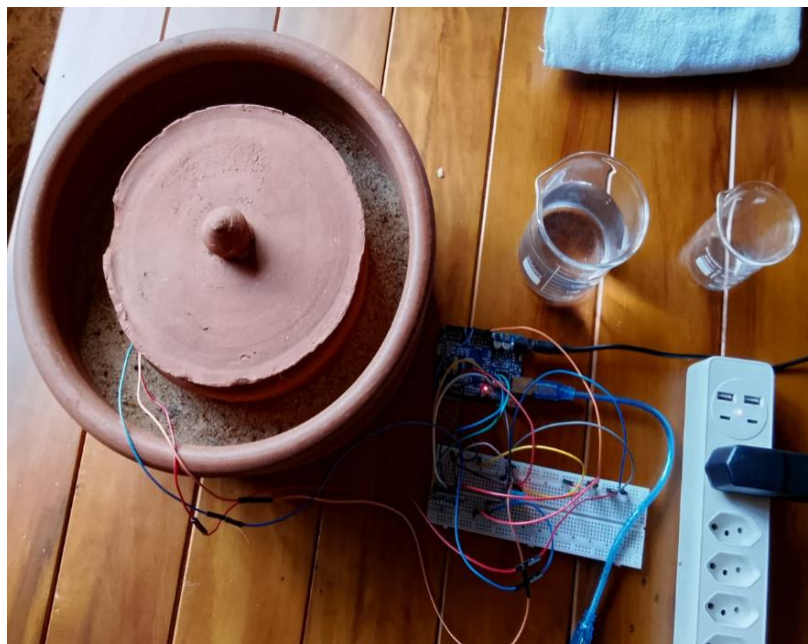


Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A imagem ilustra os componentes do kit (vasos, sensores, Arduino, Becker, areia e pano de algodão).

A Figura 28 apresenta o arranjo experimental utilizado no teste do “refrigerador de barro”, composto por dois vasos cerâmicos encaixados, preenchidos com areia entre as paredes, e para ser monitorado por sensores conectados ao Arduino Uno. O sistema permite registrar, em tempo real, as variações de temperatura e umidade durante o processo de resfriamento evaporativo, que evidencia o funcionamento do dispositivo em condições controladas.

Figura 28 – kit de aparato experimental. Grupo A



Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A montagem seguiu o esquema de encaixe dos vasos de cerâmica externo e interno com o posicionamento dos sensores de temperatura e umidade. O arranjo final do sistema é apresentado na Figura 28, que serviu como modelo para o grupo A

Figura 29 - Vasos de cerâmica externo e interno conectado ao kit Arduino.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

A imagem na figura 29, mostra a montagem de dois vasos de cerâmica externo e interno conectados ao sistema. Essa ilustração mostra o aparato experimental do grupo A. O grupo apresentou inicialmente dúvidas em relação à posição ideal do recipiente interno e à distância do sensor para obter medições mais estáveis, mas conseguiu resolver essas questões após testar diferentes configurações e discutir os resultados preliminares.

Ao observarem a diferença entre as temperaturas, os alunos levantaram a hipótese de que a evaporação da água presente na cerâmica seria a responsável pela diminuição da temperatura interna, relacionando o fenômeno ao conceito de transferência de calor. Durante a montagem do experimento, os estudantes tiveram autonomia para desenvolver suas próprias estratégias. Nesse processo de interação, observou-se que um dos alunos do grupo sugeriu a adição de água gelada ao sistema com o objetivo de acelerar o resfriamento, demonstrando uma tentativa de intervenção direta no equilíbrio térmico do protótipo.

A adição da água gelada na areia é uma ótima observação, pois muda completamente a dinâmica da transferência de calor. A areia seca atua como um isolante térmico devido ao ar presente entre seus grãos. Contudo, a areia úmida transfere calor de forma muito mais eficiente, pois a água preenche os espaços vazios e aumenta a condutividade térmica do meio, além de promover o resfriamento através da evaporação.

Esse grupo de forma geral, participou ativamente, demonstrando boa capacidade de argumentação e de tomada de decisão durante a experimentação. O grupo teve um colega que só observava, mas na hora de tomar uma decisão estava atento. Com o objetivo de induzir uma diminuição na temperatura do recipiente interno, um dos alunos realizou uma intervenção direta no sistema. Ele adicionou 200 ml de água gelada ao compartimento de areia, umedecendo-a completamente em torno do recipiente.

Um segundo aluno, partindo da hipótese de que uma maior quantidade de água fria resultaria em uma troca de calor mais eficaz, decidiu adicionar mais 50 ml água ao sistema para tentar acelerar ainda mais o processo de resfriamento.

6.5.2 Procedimentos Experimentais por Grupo B.

Durante a atividade experimental o grupo B iniciou a montagem do sistema de resfriamento seguindo o esquema proposto. Os alunos não demonstraram boa organização na distribuição das tarefas. Enquanto alguns ficaram responsáveis pela montagem física dos vasos, outros olharam se os fios do kit estavam conectados corretamente no Arduino. A figura 30 ilustra os componentes deste kit experimental.

Figura 30 - Componentes do Kit Experimental



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A figura 31 apresenta os materiais selecionados para a montagem do protótipo e realização do experimento. O conjunto é composto por vasos de cerâmica, sensores de temperatura, kit de

Arduino montado para ser utilizado para aquisição de dados, bécheres para medição de líquidos, areia e pano de algodão.

Figura 31- Kit experimental montado



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A figura 31 detalha o esquema de montagem do protótipo, evidenciando o encaixe entre o vaso de cerâmica externo e o recipiente plástico interno, bem como o posicionamento estratégico dos sensores de temperatura e umidade (DHT11). Este arranjo permitiu o monitoramento em tempo real do sistema, resultando na configuração final apresentada na Figura 32.

Figura 32 - Montagem do vaso de cerâmica externo e recipiente interno de plástico conectado ao kit Arduino.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A fase inicial de montagem do sistema de resfriamento pelo Grupo B foi caracterizada por uma falta de organização estruturada. A distribuição de tarefas ocorreu de forma espontânea e desigual, resultando em uma clara divisão entre membros proativos e passivos. Apesar da dispersão geral, um grupo de dois a três alunos demonstrou engajamento significativo. Entre eles, havia um estudante com dificuldades conceituais em física e em matemática básica, mas que, curiosamente, foi um dos que mais interagiu com os colegas.

Esse subgrupo apresentou iniciativa, interesse e pensamento crítico, manifestados tanto por meio de questionamentos quanto pela manipulação direta dos materiais. Durante o processo, duas hipóteses foram levantadas:

Hipótese 1: um aluno sugeriu que uma maior quantidade de areia sob o recipiente externo, antes de colocar o recipiente interno de plástico, poderia melhorar o desempenho do sistema.

Hipótese 2: outro aluno propôs que o uso de areia de rio úmida, em vez de areia seca, poderia otimizar o processo de resfriamento, indicando uma intuição sobre o papel da umidade na condutividade térmica.

O grupo apresentou lacunas na base teórica, recorrendo frequentemente a perguntas sobre os princípios envolvidos no experimento. Esse fato pode estar relacionado à ausência de estudo prévio do material didático sobre calor, temperatura e evaporação. Ainda assim, mesmo com as dificuldades conceituais, os estudantes conseguiram prosseguir com a montagem e executar a atividade proposta, o grupo adicionou 200 ml de água temperatura ambiente.

6.5.3 Procedimentos experimentais grupo C

A atividade experimental da Aula 5 teve como objetivo acompanhar o desenvolvimento dos estudantes durante a montagem e o teste do mini sistema de refrigeração natural, utilizando vasos cerâmicos, areia, água e o sensor DHT11 conectado ao Arduino. Nesta etapa da sequência didática, buscou-se observar não apenas o desempenho conceitual dos alunos, mas também suas habilidades práticas, postura investigativa, organização coletiva e capacidade de interpretar variáveis relacionadas ao fenômeno do resfriamento evaporativo. A seguir, são apresentadas as imagens da montagem do sistema realizadas pelo grupo C.

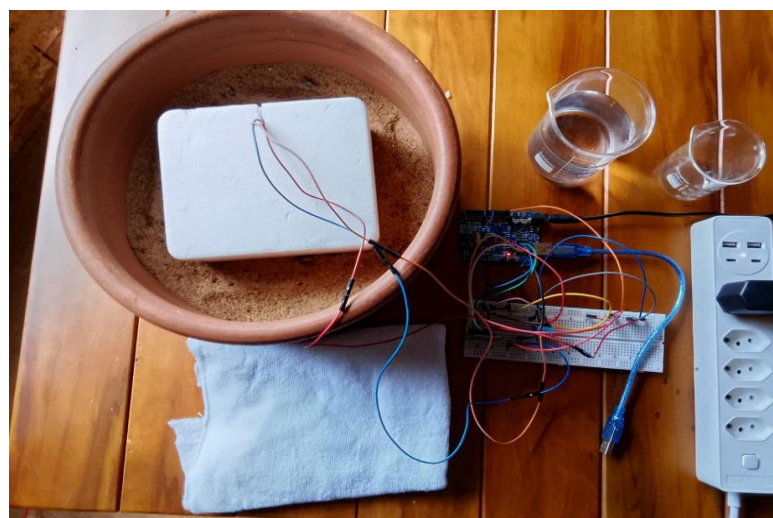
Figura 33 - Montagem do vaso de cerâmica externo e recipiente interno de isopor conectado ao kit de Arduino.



Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A imagem 33 mostra os componentes do kit vasos, sensores, Arduino, Becker, areia e pano de algodão. Após a organização dos materiais, procedeu-se à montagem do sistema experimental conforme o protocolo definido para o experimento de resfriamento evaporativo. Os componentes foram posicionados de modo a garantir a correta disposição do vaso cerâmico, o preenchimento com areia, a acomodação do recipiente interno e a inserção dos sensores conectados ao Arduino. Essa etapa é fundamental para assegurar que o aparato reproduza o funcionamento do sistema de refrigeração sem energia e que a ferramenta do kit do Arduino irá registrar os dados de temperatura e umidade ao longo do experimento.

Figura 34 - Kit aparato experimental montado



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A montagem seguiu o esquema de encaixe dos vasos de cerâmica e recipiente de isopor, com o posicionamento dos sensores de temperatura e umidade. O arranjo final do sistema é apresentado na Figura 35 montada pelos alunos durante a atividade.

Figura 35 - Montagem experimento reproduzida pelos estudantes



Fonte Elaborada pela autora, 2025.

Durante a atividade experimental, o Grupo C iniciou a montagem do sistema de resfriamento seguindo corretamente o esquema proposto. Os estudantes demonstraram boa organização na distribuição das tarefas: um integrante ficou responsável pela medição da água utilizada para umedecer o recipiente externo o outro realizou o preenchimento com areia ao redor do compartimento interno. Embora nas análises conceituais anteriores, o grupo não tenha apresentado um desempenho satisfatório, durante a prática eles se mostraram bastante participativos e proativos. Os alunos fizeram perguntas pertinentes, levantaram hipóteses e solicitaram esclarecimentos sobre o funcionamento do sistema e sobre o fenômeno físico investigado. Essas interações permitiram realizar intervenções mediadoras, explicando conceitos de forma contextualizada ao experimento.

Dentro do grupo, havia um aluno com maior domínio técnico, que auxiliou os demais. Já os outros, mesmo apresentando dificuldades conceituais tanto em Física quanto em matemática básica, participaram ativamente e demonstraram interesse em compreender o processo. O grupo adicionou 200 ml de água em temperatura ambiente.

Figura 36 - Componentes do Kit Experimental



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A figura 36 ilustra os componentes do kit vasos, sensores, Arduino, Becker, areia e pano de algodão. Após a separação dos materiais, iniciou-se a montagem do aparato experimental utilizando o recipiente de alumínio. Nessa etapa, o recipiente interno foi posicionado no centro do vaso, e os sensores foram fixados de forma a garantir a medição adequada da temperatura no interior do sistema. Em seguida, a areia foi distribuída ao redor do recipiente, formando a barreira térmica necessária para o processo de resfriamento. A estrutura foi completada com a conexão dos fios ao Arduino, permitindo a coleta automática dos dados durante o experimento, resultado no arranjo da figura 34.

Figura 37 - Kit aparato experimental montado



Fonte: elaborada pela autora, 2025.

A montagem seguiu o esquema de encaixe dos vasos de cerâmica externo e recipiente de alumínio, com o posicionamento dos sensores de temperatura e umidade. O arranjo final do sistema é apresentado na Figura 38 que serviu como modelo para o grupo D.

A seguir, apresentam-se as imagens, na figura 38 referentes à montagem realizada pelos estudantes, bem como o posicionamento dos sensores utilizados na etapa de coleta de dados.

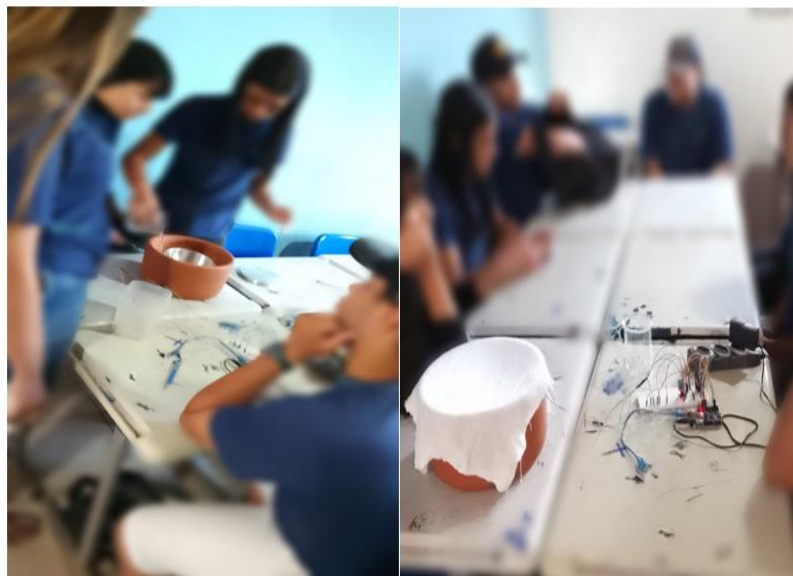
Figura 38 - Montagem do vaso de cerâmica externo e recipiente interno de alumínio conectado ao kit de Arduino.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

O Grupo D demonstrou baixo rendimento nas avaliações diagnósticas da Aula 4, especialmente em questões relativas aos conceitos de calor, temperatura e evaporação, fundamentais para a compreensão do experimento. Apesar de apresentarem assiduidade, os estudantes revelam dificuldades persistentes em conteúdos conceituais da Física e matemática básica.

Figura 39 - Atividade prática do grupo D



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Durante a execução da atividade experimental, observou-se, entretanto, boa organização interna e divisão equilibrada de responsabilidades. As funções foram distribuídas entre os membros: medição da quantidade de água, umidificação do material externo e monitoramento das conexões elétricas do Arduino. Apesar dessa organização prática, alguns estudantes demonstraram insegurança e solicitaram auxílio constantemente.

A mediação foi realizada de forma dialógica, buscando não antecipar respostas, mas sim estimular o raciocínio por meio de perguntas e retomada dos conteúdos previamente trabalhados. Essa estratégia permitiu que os estudantes mobilizassem seus conhecimentos prévios e raciocinassem sobre os fenômenos observados.

Embora o grupo apresente dificuldades na elaboração escrita das definições de calor, temperatura e evaporação, no momento da conversa demonstraram compreender os processos ocorridos no experimento, evidenciando que a atividade prática favoreceu a construção de sentido sobre os fenômenos estudados.

6.6 Coleta e tratamento de dados – Aula 6.

Nesta etapa da pesquisa, detalha-se o procedimento de coleta de dados, organização e representação gráfica dos dados obtidos nos experimentos, da aula 5.

A atividade, realizada durante a 6ª aula, teve como objetivo central a análise e interpretação dos

resultados por meio do trabalho colaborativo, utilizando o software SciDAVis para o tratamento dos dados.

6.6.1 Objetivos da Atividade.

- Organizar os dados experimentais coletados e representa-los graficamente no SciDAVis, por meio de um trabalho colaborativo de análise e interpretação.
- Sistematizar os dados obtidos nos experimentos construídos pelos grupos.
- Inserir os dados no SciDAVis em tabelas organizadas com mediação do professor.
- Construir gráficos de linhas de dispersão a partir das informações fornecidas pelos grupos. Analisar os gráficos coletivamente, identificando os padrões e tendências.

6.7 Percurso metodológico da análise investigação sob a perspectiva de Vygotsky

A etapa de análise de dados foi conduzida na Aula 6, cujo objetivo central foi promover a interpretação dos valores de temperatura e umidade coletados pelos sensores durante o experimento de resfriamento evaporativo. Essa fase buscou favorecer o desenvolvimento de habilidades de leitura, organização e representação gráfica de dados experimentais, articulando os resultados obtidos pelos estudantes ao conteúdo conceitual trabalhado nas aulas anteriores. O trabalho foi estruturado da seguinte maneira:

6.8 Trabalho em Grupo

Cada grupo foi responsável por organizar seus próprios dados de temperatura e umidade, discutindo coletivamente qual seria a forma mais adequada de representá-los (tabela, gráfico de linha, dispersão etc.). Esse processo possibilitou que os estudantes refletissem sobre a natureza das variáveis e sobre como diferentes tipos de gráficos podem favorecer distintas interpretações.

6.9 Mediação Docente

O professor atuou como mediador ao inserir os dados no software SciDAVis, seguindo as orientações fornecidas por cada grupo. A escolha desse procedimento teve como propósito reduzir barreiras técnicas relacionadas ao uso do programa, permitindo que os alunos concentrassem seus esforços na análise dos gráficos e não na operação do software.

6.10 Zona de desenvolvimento proximal (ZDP)

A construção compartilhada dos gráficos caracterizou um momento importante de aprendizagem colaborativa. Mesmo sem manipular diretamente o SciDAVis, os estudantes acompanharam o processo, observaram a transformação dos dados brutos em representações visuais e, apoiados pela mediação docente, desenvolveram a capacidade de interpretar tendências, identificar variações e relacionar resultados ao fenômeno físico estudado. Essa dinâmica configura um exemplo de atuação dentro da ZDP, ao proporcionar que os alunos realizassem análises que, individualmente, ainda não dominaram completamente.

7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O capítulo 7, têm como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos na atividade experimental, conforme os procedimentos de coleta e tratamento de dados. A análise se concentra na interpretação dos gráficos de dispersão, construídos com o auxílio do software SciDAVis, que representam a variação da temperatura em função do tempo para cada grupo experimental.

A discussão busca correlacionar os comportamentos térmicos e os resultados físicos observados nas curvas de resfriamento com as dinâmicas de trabalho em grupo e as intervenções pedagógicas. A seguir, os resultados são apresentados e analisados individualmente para cada grupo, considerando tanto os aspectos físicos quanto os pedagógicos envolvidos.

7.1 Análise do Grupo A.

A análise dos resultados do grupo A foi prejudicada por um incidente metodológico que impediu a coleta completa dos dados. Durante o experimento, um dos participantes acidentalmente desconectou o sistema de aquisição de dados Arduino da fonte de energia, resultando na perda do registro de temperatura.

Embora não haja um gráfico completo para análise quantitativa, o incidente fornece um dado qualitativo relevante para a discussão da dinâmica do grupo e do ambiente de aprendizagem. A imagem da montagem do kit (Figura 40) ilustra os alunos desenvolvendo a atividade.

Figura 40 - Atividade prática do grupo A



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O evento da perda de dados, embora técnico, pode ser interpretado sob a visão da mediação. A falha na organização do espaço físico cabos e extensões configura uma lacuna na mediação do

professor em relação ao ambiente de trabalho, considerando que a estruturação do ambiente é parte construtiva das condições que possibilitam a atividade intelectual dos estudantes.

Apesar da perda do registro, a observação qualitativa do grupo A revelou uma intervenção proativa por parte dos alunos, que adicionaram água gelada à areia para acelerar o resfriamento. Essa ação, embora não quantificada, demonstra uma compreensão intuitiva do fenômeno do resfriamento evaporativo, indicando que na mediação conceitual prévia houve a experiência social e aplicada de forma autônoma, conforme a perspectiva histórico-cultural da aprendizagem (Rego, 1995).

7.2 Análise do grupo B.

Apesar do resultado físico positivo, a análise qualitativa do grupo B mostrou uma dinâmica marcada pela dispersão e pela assimetria na distribuição de tarefas. Conforme ilustrado na figura 41, que retrata os estudantes em atividade, a interação com o aparato experimental não ocorreu de maneira uniforme, resultando na centralização das ações em poucos membros. Essa heterogeneidade na divisão do trabalho é um ponto crucial para a mediação pedagógica; ela justifica a implementação de instrumentos, como a ficha de justificativa, que buscam assegurar a participação cognitiva individual de todos os integrantes, independentemente da função prática desempenhada na montagem.

Figura 41 - Atividade prática do grupo B



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

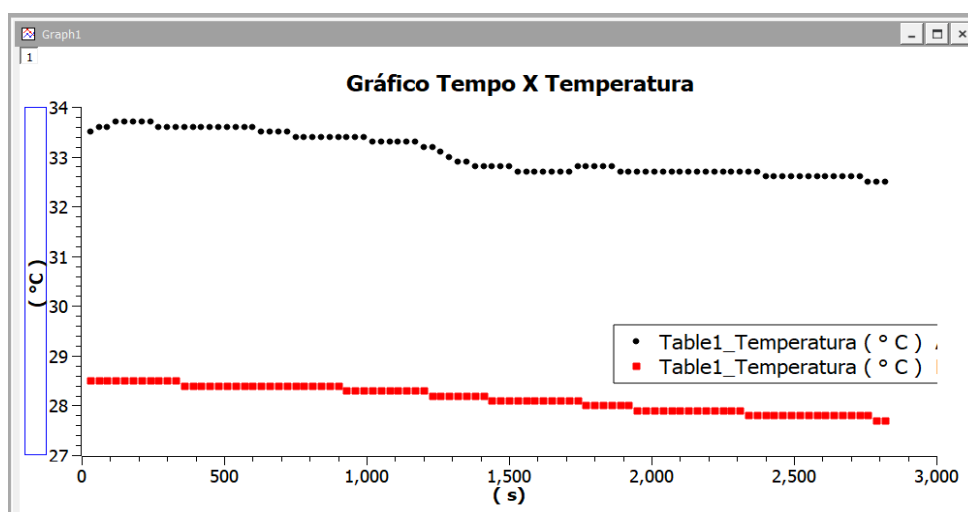
A Figura 41 ilustra o grupo durante a atividade experimental. Através das observações foi possível avaliar diferentes níveis de interação com o aparato físico. Enquanto alguns estudantes assumem a execução direta da montagem e conexões, outros adotam uma postura de observação periférica. Sob o referencial de Vygotsky, essa configuração demonstra que a dimensão social da aprendizagem interpsicológica está em processo, mas de forma heterogênea.

Essa disparidade na ação prática não indica, necessariamente, uma ausência de interesse, mas reforça a importância da mediação por instrumentos para organizar o pensamento coletivo. Como o aprendizado de conceitos científicos exige consciência e intencionalidade, a observação passiva de um experimento pode não ser suficiente para a internalização do conhecimento.

É precisamente nesse cenário que a ficha de justificativa se torna essencial. Ela atua como um instrumento semiótico que "puxa" o aluno da observação passiva para a reflexão ativa. Ao exigir que todos os membros, inclusive os que não estão manipulando o Arduino no momento planejem e justifiquem a ação por escrito, a ficha garante que a ZDP de cada estudante seja estimulada. Assim, a escrita técnica na ficha funciona como o elo que une o grupo em um planejamento coletivo e consciente, transformando a observação em investigação científica.

O gráfico 1 apresenta a variação da temperatura em função do tempo para o Grupo B, que utilizou um recipiente interno de plástico e implementou uma variação metodológica ao adicionar 200 ml de água à temperatura ambiente à areia no espaço anelar. A curva em preto representa o sensor externo A e a curva em vermelho representa o sensor interno B.

Gráfico 1 - Curva de Resfriamento do Sistema do Grupo B



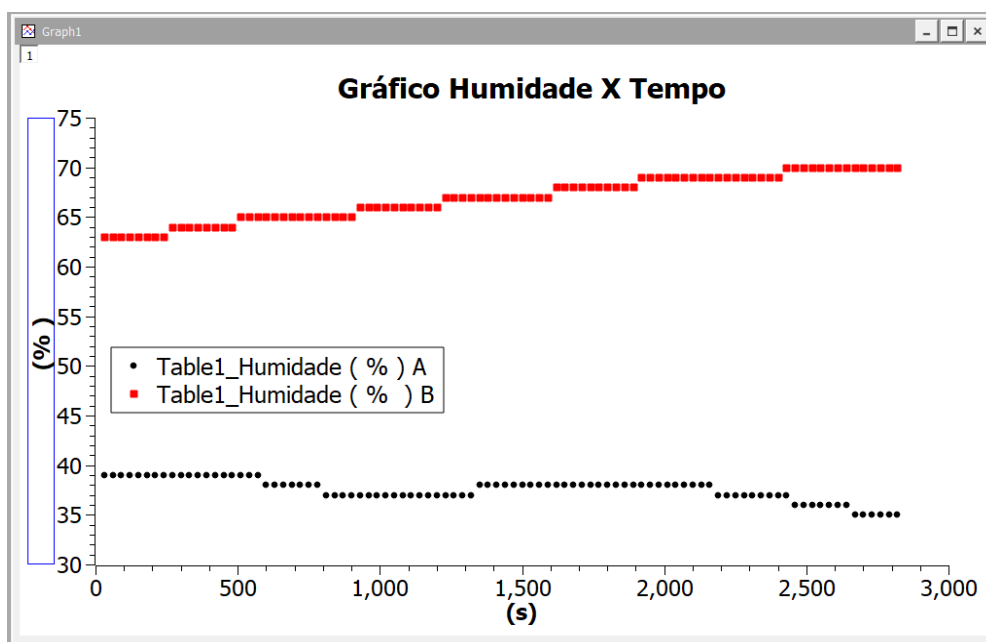
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Análise quantitativa demonstra um processo de resfriamento contínuo ao longo do intervalo de 2800 segundos. O Sensor A (curva preta), responsável pelo monitoramento da temperatura ambiente, manteve-se estável em patamares próximos a 33 °C, atuando como controle experimental. Em contrapartida, o Sensor B (curva vermelha), posicionado no interior do protótipo, registrou um decréscimo térmico constante, estabilizando-se em aproximadamente 28 °C.

Esta variação de 5°C entre as curvas é a evidência empírica de que o interior do protótipo atingiu uma temperatura significativamente inferior à do meio externo. Tal fenômeno é explicado pelo resfriamento evaporativo: a água adicionada à areia absorve calor do recipiente interno para realizar a mudança de fase (vaporização), dissipando essa energia através da porosidade do vaso de cerâmica.

A configuração do aparato validou a hipótese levantada pelos estudantes na fase de pré-investigação, confirmando que a areia úmida otimiza o resfriamento por manter a umidade disponível para a evaporação. Ademais, o uso do recipiente plástico interno agiu como um isolante térmico eficiente, retardando o ganho de calor do ambiente e contribuindo para a manutenção da temperatura baixa. O comportamento das curvas corrobora a eficácia do protótipo como uma ferramenta didática para o ensino de termodinâmica e transferência de calor.

Gráfico 2 - Variação da Umidade Relativa no Sistema do Grupo B



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

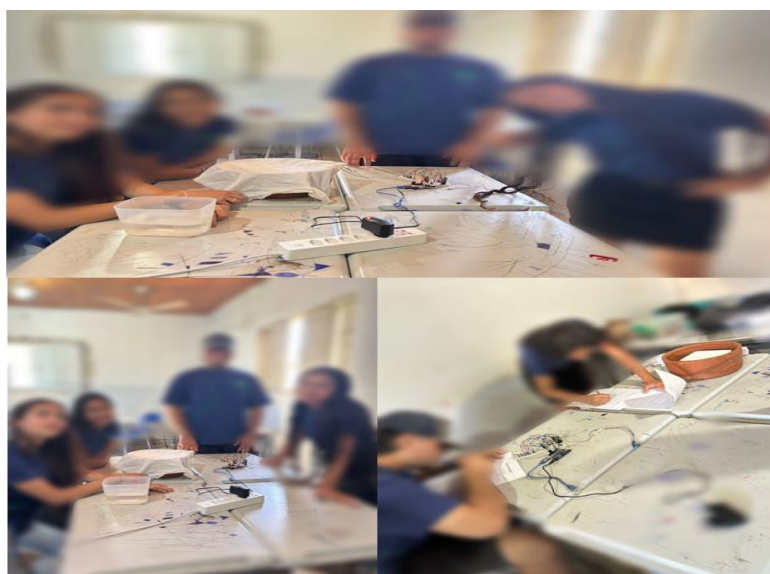
O gráfico 2 demonstra que, enquanto a umidade ambiente (sensor A) se manteve estável, a umidade interna (sensor B) apresentou um aumento contínuo de 63% para 70% ao longo do experimento. Este aumento é a manifestação direta da mudança de fase da água (evaporação), que retira calor do sistema para se transformar em vapor. A análise conjunta dos gráficos 2 e 3, confirma a adição da água à areia do rio ocorre resfriamento do sistema através do processo evaporativo.

Apesar de ser um grupo que historicamente apresenta maior dificuldade na realização de atividades práticas, os estudantes conseguiram executar o experimento com sucesso. À luz da teoria sociocultural de Vygotsky, esse resultado pode ser interpretado como evidência de que a mediação tanto pelas instruções do professor quanto pelo suporte colaborativo entre os próprios colegas ampliou a capacidade de ação dos alunos. Assim, mesmo diante das limitações iniciais, o grupo foi capaz de organizar os materiais, montar o sistema experimental e registrar os dados, demonstrando que a aprendizagem ocorreu por meio da interação e do apoio social (Vygotsky, 2007).

7.3 Análise do grupo C.

A seguir, apresenta-se um registro fotográfico do momento em que os estudantes realizaram a montagem e a execução do experimento. A figura 42 ilustra a organização do ambiente da atividade experimental durante a aula.

Figura 42 - Atividade prática do grupo C



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O Grupo C não gerou dados quantitativos passíveis de análise gráfica devido a uma intercorrência técnica durante a montagem. Embora o kit Arduino tenha sido testado previamente e estivesse em pleno funcionamento, uma desconexão acidental de um dos cabos de comunicação (fio solto) ocorreu durante a manipulação do sistema pelos estudantes.

Foi detectado pelos alunos sobre o do problema ocorrido, e ressalta-se que a falha foi identificada e corrigida pela pesquisadora e pelos alunos durante a aula. Entretanto, na instrumentação eletrônica com sensores de umidade e temperatura (como o DHT11), uma desconexão pode causar erros de leitura persistentes, travamentos no barramento de dados ou a necessidade de reinicialização completa do sistema.

Como a prioridade da atividade era a mediação pedagógica e o tempo de aula era limitado, optou-se por priorizar a continuidade da investigação conceitual do grupo em detrimento da reinicialização técnica do aparato. Portanto, os dados coletados após o reparo apresentaram instabilidades que comprometeriam o rigor da análise quantitativa, sendo desconsiderados para fins de desenho gráfico, mas aproveitados para a discussão qualitativa do engajamento do grupo.

Apesar desse problema técnico, o grupo contava com um estudante que, conforme indicado na análise dos conhecimentos prévios, demonstrou atenção aos detalhes e sólida capacidade de relacionar os fenômenos observados aos conceitos físicos estudados. Esse aluno identificou rapidamente a inconsistência nos dados e buscou compreender a origem do problema, o que evidencia sua habilidade de mobilizar conhecimentos conceituais mesmo em situações adversas.

Na perspectiva Vygotskiana esse episódio reforça que a aprendizagem depende não apenas das interações sociais, mas também do funcionamento adequado dos instrumentos de mediação. A falha técnica interrompeu a continuidade da atividade e desviou o foco dos alunos da investigação conceitual para a resolução de um problema operacional. Mesmo com a presença de um aluno com maior domínio do conteúdo, a ruptura no instrumento de mediação impediu que o grupo avançasse plenamente dentro de sua zona de desenvolvimento proximal. Esse caso destaca a importância da mediação técnica do professor, que deve monitorar continuamente as condições de funcionamento dos dispositivos experimentais, garantindo que todos os grupos tenham oportunidades reais de desenvolver os processos investigativos e de atribuição de sentido que caracterizam o ensino de ciências em uma abordagem sociocultural.

7.4 Análise do grupo D.

Antes da análise dos resultados, apresenta-se na figura 43 um registro fotográfico do grupo em atividade.

Figura 43 - Atividade prática do grupo C



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Durante a execução da atividade experimental, observou-se que o grupo D apresentou boa organização interna e uma divisão equilibrada das responsabilidades. As funções foram distribuídas entre os integrantes, incluindo a medição da quantidade de água, a umidificação do material externo e o monitoramento das conexões elétricas do Arduino. Essa organização prática favoreceu o andamento da atividade, embora alguns estudantes tenham demonstrado insegurança em determinados momentos e solicitado auxílio com frequência.

A mediação docente ocorreu de forma dialógica, evitando fornecer respostas prontas e priorizando o estímulo ao raciocínio por meio de perguntas orientadoras e retomada dos conteúdos previamente trabalhados. Essa postura permitiu que os estudantes mobilizassem seus conhecimentos prévios e refletissem sobre os fenômenos envolvidos no experimento, avançando gradualmente em direção à compreensão conceitual.

Embora o grupo apresente dificuldades na elaboração escrita das definições de calor, temperatura e evaporação, durante a interação verbal demonstraram compreender os processos observados no experimento. Esse contraste evidencia o papel da atividade prática como

ferramenta de construção de sentido, permitindo aos alunos estabelecer conexões mais sólidas entre os conceitos abstratos e a experiência concreta.

7.4.1 Justificativa dos dados não terem salvo

O grupo D não apresentou dados quantitativos registrados, o que inviabilizou a produção das curvas de temperatura e umidade previstas para a análise. Apesar de a montagem inicial ter sido realizada corretamente e de o Arduino ter sido testado previamente, ocorreu uma falha técnica durante a fase de coleta: o sensor deixou de enviar leituras consistentes ao sistema. Como resultado, os valores armazenados pelo Arduino estavam incompletos ou incorretos, impossibilitando a utilização dos dados para fins de tratamento estatístico e representação gráfica.

Esse tipo de ocorrência é relativamente comum em atividades experimentais escolares que envolvem sensores eletrônicos, especialmente quando os componentes são manipulados pelos próprios estudantes. Do ponto de vista metodológico, a impossibilidade de registrar dados não invalida a atividade, mas evidencia a importância da mediação técnica e do monitoramento constante do funcionamento dos instrumentos. A falha técnica interrompeu esse processo de mediação, impedindo que o grupo avançasse para a etapa de análise conceitual baseada nos resultados numéricos.

7.5 Análise das Justificativas dos Grupos

Quadro 27 - Respostas dos Grupos à Ficha de Justificativa do Kit

Questão	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
1. Por que o grupo escolheu esse kit específico?	Porque achamos que teria melhor resultado	Porque nos chamou atenção	Porque achamos interessante.	Para fazer experimento a gente escolheu interno de alumínio pois dependemos do pote interno e resfriamento maior.
2. Qual a hipótese do grupo sobre o desempenho do sistema de refrigeração	Conforme foi passando o tempo a temperatura baixa	A areia ficou úmida e começou a refrigeração resfriamento do alimento interno pois a temperatura subiu.	Sem hipótese elaborada pelo grupo.	Imaginamos que o experimento poderia acontecer de outra forma sem o resfriamento.
3. Como os conceitos temperatura, calor e evaporação estão relacionados ao funcionamento desse kit	Calor e a areia deve estar molhada para acontecer evaporação para resfriar a cerâmica e o pano para segurar a temperatura."	Estão relacionados pois a areia mudou a temperatura a partir do momento que o contato com a água ocorre a troca de calor evaporação acontece e o que te usa isso para refrigeração do alimento no kit	A temperatura está relacionada com a areia e o pano molhado e a cerâmica está relacionado com calor fazemos com que o calor dentro dele seja conservado.	Se colocássemos areia quente ao invés do molhado iria ficar quente e isso faria com que mudasse a temperatura
4. O que vocês esperam observar com o uso do sensor de temperatura e umidade?	Que a temperatura abaixo e cada vez mais.	Quando colocamos o sensor de temperatura em um pote frio ele mede o resfriamento da umidade.	Esperamos que o uso desse equipamento seria possível aumentar a temperatura dentro do pote onde	Quando colocamos o sensor de temperatura em um pote frio ele mede o resfriamento da umidade.

			encontrava o sensor.	
5. Se pudessem modificar um elemento do kit, qual seria? Justifique.	Colocar areia do rio porque ela já é resfriada naturalmente	Modificaram o jarro interno para um jarro de cerâmica.	É nenhum pois gostamos do kit que usamos	Acho que nenhum.

Fonte: elaborada pela autora 2025.

A análise das Fichas de Justificativa permitiu mapear o nível de apropriação conceitual dos grupos antes da intervenção prática, revelando o estado inicial de seus conhecimentos espontâneos.

1. Intencionalidade e Formulação de Hipóteses (Q1 e Q2): Observou-se uma distinção clara na natureza da motivação dos grupos. Enquanto os Grupos B e C apresentaram uma motivação extrínseca, guiada pela curiosidade superficial ("achamos interessante"), os Grupos A e D manifestaram uma intencionalidade voltada ao objeto de estudo, focando na eficácia do sistema ("melhor resultado"). Embora os estudantes não dominassem o conceito formal de hipótese, as antecipações cognitivas variaram: o Grupo A demonstrou uma expectativa alinhada ao conceito científico ("a temperatura baixa"), enquanto os Grupos B e D expressaram confusões conceituais que evidenciam o conflito entre o senso comum e o fenômeno físico. Essas divergências são fundamentais, pois, segundo Vygotsky, o erro e a dúvida são motores para a reestruturação do pensamento na zona de desenvolvimento proximal.

2. Articulação Teórica e Elementos Centrais (Q3): Os Grupos A e B demonstraram maior capacidade de síntese ao articular calor, evaporação e umidade. Já o Grupo C exibiu uma concepção alternativa comum, associando a cerâmica apenas à "conservação" e não à troca

térmica por porosidade. O Grupo D, por sua vez, pautou sua análise no contraste térmico, o que indica uma compreensão empírica correta da influência da areia úmida no sistema.

3. Mediação Técnica e Percepção dos Instrumentos (Q4): A confusão generalizada dos Grupos B e D quanto à função dos sensores (misturando as variáveis de temperatura e umidade) evidencia que a tecnologia, por si só, não é transparente para o aluno. É ferramenta, que ganha sentido com a mediação docente ou com as oportunidades de troca de ideias entre os estudantes. Isso reforça a necessidade de uma mediação que não seja apenas física (entrega do kit), mas semiótica, auxiliando o estudante a atribuir significado aos dados fornecidos pelo Arduino. O Grupo C, ao prever um aumento de temperatura, revelou uma lacuna que seria posteriormente confrontada pela evidência empírica dos sensores.

4. Conhecimento Empírico e Propostas de Alteração (Q5): As sugestões de modificação do sistema demonstram a riqueza do conhecimento cotidiano dos alunos. A indicação do Grupo A ("areia molhada") é um exemplo clássico de conceito espontâneo que possui validade científica (Milhelcic et al, 2007), pois reconhece na prática a importância da saturação hídrica para o resfriamento. Da mesma forma, o Grupo B, ao sugerir a troca do jarro interno por cerâmica, demonstra uma busca intuitiva por materiais que interajam de forma mais eficiente com o ambiente.

Justificativa, hipóteses, compreensão, sensores, trabalho em grupo) e atribua a pontuação (1 a 4) para cada grupo (A, B, C, D) com base nas suas observações e nas respostas da Ficha de Justificativa.

Quadro 28 - Síntese dos critérios da rubrica de avaliação

Critério	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Elaboração de Hipóteses	4 (Excelente)	3 (Bem formulada)	1 (Ausente)	2 (Genérica)
Compreensão Conceitual	4 (Domínio)	3 (Compreensão básica)	2 (Limitada e Confusa)	2 (Limitada e Confusa)
Uso dos Sensores	1(Não registrou)	3 (Corretamente)	1 (Não registrou)	2 (Dificuldade)

Trabalho em Grupo	3 (Distribuída)	2 (Desigual)	3 (Distribuída)	4 (Ativa e Colaborativa)
-------------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------------------

Fonte: Elaborada pela autora 2025

7.5.2 Quadro de Síntese – Justificativa da Avaliação

A análise consolidada do desempenho dos grupos, fundamentada na rubrica de avaliação apresentada no Quadro 3 permite extrair conclusões detalhadas que transcendem a mera aferição de resultados.

O grupo A, por exemplo, alcançou a pontuação máxima nos critérios de elaboração de hipóteses (4 - excelente) e compreensão conceitual (4 - domínio), indicando uma internalização dos conceitos teóricos abordados. Contudo, a falha no uso dos Sensores (1-não registrou) aponta para uma lacuna na aplicação prática do conhecimento, sugerindo que, embora o domínio teórico seja elevado, a sua transferência para a ação instrumental não foi efetivada. O trabalho em equipe, avaliado como distribuído (3), foi funcional, mas não o ponto de maior destaque do grupo.

Em contrapartida, o Grupo D representa um caso emblemático da força da colaboração. Apesar de demonstrar uma compreensão conceitual limitada e confusa (2) e uma Elaboração de Hipóteses apenas genérica (2), o grupo obteve a avaliação máxima em Trabalho em Grupo (4 - Ativa e Colaborativa). Este resultado corrobora a tese de que a mediação social e a colaboração intensa podem compensar deficiências conceituais individuais, permitindo que o coletivo alcance um resultado prático satisfatório, ainda que com dificuldades no uso da ferramenta (2 - dificuldade).

O Grupo B apresentou um perfil intermediário, com uma hipótese bem formulada (3) e uso correto dos sensores (3), mas uma compreensão conceitual apenas básica (3) e um trabalho em grupo desigual (2). Este quadro sugere uma execução da tarefa mais procedimental, com sucesso na aplicação técnica, mas sem a profundidade conceitual observada no Grupo A. Por fim, o Grupo C demonstrou as maiores dificuldades, com ausência de hipóteses (1) e de registro de dados (1), refletindo uma compreensão conceitual limitada (2), o que impediu o progresso na atividade, apesar de uma dinâmica de grupo distribuída (3).

7.5.3 Discussão final do experimento

Os grupos que utilizaram materiais de baixa condutividade térmica, como plástico e cerâmica, apresentaram curvas de temperatura mais estáveis, indicando trocas de calor lentas e moderadas. Este comportamento é coerente com a Lei de Fourier, onde a baixa condutividade térmica (κ) do material limita o fluxo de calor (Hallyday; Resnick; Walker, 2013). Em contraste, o grupo que utilizou o recipiente metálico apresentou resfriamento rápido seguido de reaquecimento, comportamento característico de materiais de elevada condutividade térmica. Esses resultados reforçam que as propriedades físicas dos materiais exercem influência direta no processo de resfriamento, demonstrando que a evaporação, embora eficiente, depende de fatores como porosidade, umidade disponível e velocidade de transferência de calor. De modo geral, a prática experimental mostrou-se eficaz no engajamento dos estudantes, estimulando a formulação de hipóteses e favorecendo a compreensão dos conceitos de calor, temperatura e evaporação.

7.6 Plano de Intervenção - Aula 7

O Plano de Intervenção foi concebido como uma resposta às dificuldades conceituais e metodológicas identificadas na análise dos resultados, visando aprimorar a mediação pedagógica em futuras aplicações da atividade experimental.

No dia 10/11/2025, contou com feedback e explicações complementares, utilizando recursos como data show e a exibição de vídeos, o que constituiu uma medida preparada para o plano de intervenção para possíveis complementações.

Este plano se materializa em duas frentes de mediação: a pré-experimental ficha de justificativa e a pós-experimental (Aula 7).

7.6.1 A Ficha de justificativa como mediação pré-experimental

A ficha de justificativa do kit utilizado foi implementada como um instrumento de mediação semiótica com o objetivo de forçar a articulação entre a ação prática e o conhecimento teórico antes da execução do experimento. A análise das respostas (Quadro 2) demonstrou que, embora alguns grupos articulassem corretamente os conceitos de calor e evaporação, a maioria apresentava confusões conceituais e baixa intencionalidade na escolha do kit.

A Ficha atua na ZDP ao exigir que o estudante utilize a linguagem científica para planejar a ação, transformando a atividade de uma simples execução de passos em uma investigação consciente. As cinco questões da Ficha (Quadro 1) foram projetadas para estimular a formulação de hipóteses, a articulação conceitual e o pensamento crítico sobre o aparato experimental.

7.6.2 Mediação pós-experimental e consolidação conceitual - Aula 7.

A aula 7 constituiu a etapa de mediação pós-experimental, focada na consolidação dos conceitos e na contextualização dos resultados. A intervenção pedagógica foi estruturada em torno da apresentação de vídeos e da discussão dialógica, visando atuar como um mediador cultural e semiótico.

A exibição dos vídeos (Geladeira Ecológica e Un Refrigerador sin Electricidad) cumpriu a função de contextualização, inserindo o conhecimento científico em um contexto de relevância social e tecnológica. Ao apresentar a aplicação prática e sustentável do resfriamento evaporativo, os vídeos atuaram como mediadores culturais, aumentando o engajamento e a percepção de utilidade do conteúdo.

A discussão subsequente, pautada em questionamentos sobre os conceitos de calor, temperatura e evaporação, teve a função de forçar a verbalização e a reorganização conceitual dos estudantes. Essa mediação dialógica é crucial para corrigir as confusões conceituais identificadas nas Fichas de Justificativa e nas falhas experimentais. Ao serem questionados, os alunos são estimulados a passar do conceito espontâneo para o conceito científico, consolidando a aprendizagem e permitindo que avancem na ZDP (Vygotsky, 2007).

A análise conjunta da Ficha e da Aula 7 demonstra que a intervenção pedagógica deve ser um processo contínuo, atuando tanto na antecipação teórica (pré-experimental) quanto na consolidação conceitual (pós-experimental), garantindo que as falhas técnicas e as dificuldades conceituais sejam transformadas em oportunidades de aprendizagem.

A aplicação da rubrica como instrumento avaliativo não se restringe à classificação do desempenho, mas atua como uma ferramenta de diagnóstico pedagógico. Ela mostra como diferentes dimensões do aprendizado conceitual, técnica e social se articulam de maneira distinta em cada grupo, fornecendo subsídios para intervenções pedagógicas direcionadas e para a compreensão do processo de construção do conhecimento em ambientes de aprendizagem colaborativa.

7.7 Calor e Evaporação com Aprendizagem Baseada em Investigação - Aula 8

Neste capítulo 7 foi uma aula de atividade experimental sobre: calor e evaporação com aprendizagem baseada em investigação. Essa aula foi aplicada dia 12/11/2025.

A intervenção pedagógica central desta pesquisa foi estruturada com o objetivo de promover o protagonismo estudantil na construção do conhecimento científico. A atividade experimental, intitulada Calor e Evaporação, foi implementada na Aula 8, com duração prevista de 50 minutos, e teve como problema central a investigação da taxa de evaporação de diferentes líquidos sob as mesmas condições ambientais.

7.7.1 O principal objetivo da aula

- Investigar os efeitos do calor na evaporação;
- Coletar, registrar e comparar dados experimentais utilizando tanto o Kit Arduino com sensores quanto termômetros tradicionais;
- Desenvolver habilidades de análise gráfica por meio do software SciDAVis.

A metodologia ABI foi aplicada em grupos de 4 a 6 alunos por grupo, com funções distribuídas e o experimento envolveu a medição da temperatura de diferentes fluidos (água, álcool, acetona) em provetas graduadas envoltas em papel toalha umedecido.

A atividade foi dividida em etapas sequenciais, conforme o roteiro fornecido ao professor, sendo a Pré-investigação a fase inicial e crucial para a elaboração de hipóteses e o planejamento metodológico.

7.7.2 A fase de pré-investigação e a elaboração de hipóteses - grupo A

A fase de pré-investigação consistiu na formulação de respostas para quatro questões-chave antes da execução do experimento, visando estimular a reflexão conceitual e metodológica dos estudantes. As questões propostas foram:

Quadro 29 – Fase de pré - investigação e elaboração de hipótese. Grupo A álcool 92.8.

Aluno	Questão 1: Como a temperatura deve variar durante o processo de evaporação do seu líquido?	Questão 2: Esse líquido tende a evaporar rapidamente ou lentamente?	Questão 3: Quais fatores podem interferir na medição (vento, umidade, quantidade de líquido)?	Questão 4: Que cuidados o grupo precisa ter para garantir uma medição precisa e segura?
1	Conforme o calor atinge o líquido e leva a temperatura e o líquido atinge a Evaporação.	Rapidamente por conta da temperatura.	Vento e umidade.	Ver a quantidade do líquido, verificar a umidade e a quantidade certa de líquido.
2	Conforme o calor vai atingindo o líquido vai atingindo o estado de evaporação do álcool.	Rapidamente devido à temperatura exposta do álcool.	Umidade, pois interfere no processo.	Precisa ter cuidado com o vento, a umidade do ar e a quantidade do líquido.
3	A variação da temperatura ela deve variar de forma que a temperatura da variação seja maior que a data em líquido assim tendo o processo de evaporação.	Rapidamente, depende muito da temperatura	Vento, umidade e a quantidade do líquido e a variação da temperatura do líquido.	Ver a quantidade do líquido, garantir que a umidade esteja num ponto certo e a variação da temperatura.
4	Conforme a temperatura vai subindo o processo de evaporação é mais rápido.	Rapidamente.	Vento e umidade.	Vento, umidade, quantidade do líquido.
5	Conforme a temperatura o processo da evaporação muda	Rapidamente.	A quantidade e a umidade.	Equipamentos funcionando.
6	Ela começa a subir a temperatura totalmente até evaporar.	Lentamente.	Na unidade porque ela fica mais volúvel.	Equipamento ao todo.

Fonte: Elaborada pela autora 2025.

A análise das respostas do Grupo A nesta fase, por exemplo, demonstrou uma forte correlação com a pontuação máxima obtida na rubrica de avaliação nos critérios de Compreensão Conceitual e Elaboração de Hipóteses. As respostas dos alunos revelaram um consenso sobre a relação entre calor e evaporação, bem como a capacidade de antecipar variáveis de confusão vento, umidade, quantidade de líquido e planejar cuidados metodológicos.

Quadro 30 – Fase de pré-investigação e elaboração de hipótese Grupo B acetona

Aluno	Questão 1: Variação da Temperatura	Questão 2: Velocidade de Evaporação	Questão 3: Fatores Interferentes	Questão 4: Cuidados para Medição
1	O processo da evaporação da acetona pode variar.	Rapidamente.	Vento.	Equipamento com luva, máscara e ficar um pouco longe.
2	O processo da evaporação da acetona pode variar.	Rapidamente.	Vento. Ela exposta ao vento, ela pode suar, molécula passando a ser inutilizada.	Luvras, máscaras e etc.
3	Nem quente, nem frio, em temperatura ambiente.	Rapidamente.	O vento, porque ela perde as moléculas dela.	Usar luvas, medir corretamente, ter todos os cuidados preciso para realizar um ótimo experimento.
4	O processo de evaporação da acetona pode variar	Rapidamente. Um exemplo: pode deixar a acetona aberta em temperatura ambiente, ela seca no determinado tempo.	O vento. Ela ser exposta ao vento, ela perde suas moléculas passando ser utilizada.	Ao fazer um experimento é necessário tomar medidas como usar luvas, ter conhecimento sobre experimento e foco.
5	ausente	ausente	ausente	Ausente
6	ausente	ausente	ausente	Ausente

Fonte: Elaborada pela autora 2025.

7.7.3 A análise de respostas do Grupo B na fase de pré-investigação

Na primeira questão, sobre a variação de temperatura, a maioria dos alunos limitou-se a afirmar que o processo da evaporação da acetona pode variar. Essa resposta, embora correta em sua generalidade, carece da profundidade conceitual. Da mesma forma, a resposta do Aluno 3 sugere apenas a compreensão da alta volatilidade da acetona, falhando em conectar a variação de temperatura com o mecanismo físico da evaporação

A segunda questão, sobre a velocidade de evaporação, demonstrou um consenso unânime e correto sobre a rapidez do processo. O Aluno 4, em particular, forneceu um exemplo prático deixar a acetona aberta em temperatura ambiente, o que fortalece a conclusão de que a previsão correta está alicerçada em um conhecimento empírico consistente.

O aspecto mais notável das respostas reside na terceira questão, sobre os fatores interferentes, em que todos identificaram o vento como principal variável.

Apesar da terminologia imprecisa suar, utilizada a tentativa de explicar o fenômeno (o vento remove as moléculas de vapor, acelerando a evaporação) indica um esforço de raciocínio causal. Contudo, a ausência de menção a outros fatores cruciais, como a umidade ou a quantidade de líquido.

Por fim, na quarta questão, o Grupo B demonstrou forte preocupação com a segurança (luvas, máscaras, distância), o que é relevante para um líquido volátil. Essa ênfase, contudo, ofuscou o foco em cuidados metodológicos para a precisão da medição, como o controle de variáveis ambientais ou a calibração de equipamentos.

Quadro 31 – Fase pré-investigação e elaboração de hipóteses. Grupo C acetona.

Aluno	Questão 1: Variação da Temperatura	Questão 2: Velocidade de Evaporação	Questão 3: Fatores Interferentes	Questão 4: Cuidados para Medição
1	Precisamos descobrir na hora do experimento.	Rapidamente	Vento e a quantidade de líquidos	Usar luva e cuidado com fogo.
2	Precisamos descobrir na hora do experimento.	Rapidamente.	Vento e a quantidade de líquidos	Usar luva e cuidado com fogo.

3	Precisamos descobrir na hora do experimento.	Rapidamente	Vento e a quantidade de líquidos	Usar luvas e cuidar com fogo e etc.
4	Temos que descobrir na hora do experimento.	Rapidamente	Vento e a quantidade de líquidos	Usar luva, máscara e cuidado com os produtos.
5	Depende do experimento. Descobrir na hora do experimento.	Lentamente	Vento	Usar luva, cuidado com fogo e máscara.

Fonte: Elaborada pela autora.

A análise das respostas do grupo C na fase de pré-investigação. Na primeira questão, sobre a variação da temperatura, a resposta predominante precisamos descobrir na hora do experimento indica uma ausência de mobilização do conhecimento prévio para a formulação de uma expectativa científica. O processo de evaporação é um fenômeno físico bem estabelecidos, e a incapacidade de prever a variação de temperatura (resfriamento evaporativo) demonstra uma lacuna na Compreensão Conceitual do grupo sobre a termodinâmica do processo. A ausência de uma premissa teórica inviabiliza a construção de uma hipótese testável, resultando na pontuação mínima neste critério.

Apesar da fragilidade conceitual, o grupo demonstrou uma percepção básica de variáveis externas, identificando o vento e a quantidade de líquido como fatores interferentes. Contudo, a ausência da umidade e a falta de qualquer elaboração sobre o mecanismo de interferência reforçam a natureza limitada e superficial da Compreensão Conceitual.

A previsão majoritária de evaporação rapidamente (Questão 2) sugere um conhecimento empírico sobre a volatilidade do líquido (provavelmente álcool ou acetona), mas não está ancorada em um raciocínio físico explícito. Por fim, a ênfase nos cuidados de segurança (luvas, fogo, máscara) é a principal preocupação do grupo (Questão 4), o que, embora relevante, não substitui a necessidade de um planejamento metodológico focado na precisão da medição.

7.7.4 Aplicação da ficha pós-avaliação

A não aplicação da ficha pós-avaliação foi determinada por questões de infraestrutura, especificamente a intempestividade da chuva e a subsequente queda de energia, que inviabilizaram a continuidade das atividades programadas aula 8.

7.7.5 Não uso dos cálculos

Durante a atividade experimental com os experimentos de fluidos, os alunos concentraram-se exclusivamente na aferição das medidas, sem a realização de cálculos imediatos. Esta etapa de cálculo e análise quantitativa foi contemplada em uma intervenção pedagógica posterior, garantindo a abordagem dos objetivos propostos na aula 9.

7.8 Execução Coleta e Análise de Dados

Após a pré-investigação, o roteiro previa a execução do experimento, que envolvia:

- Envolver a proveta graduada com papel toalha umedecido com o líquido.
- Medir a temperatura a cada 2 minutos por 10 minutos, utilizando tanto o termômetro tradicional, quanto o sensor Arduino foi programado a cada 10 segundos.
- Registrar os dados em uma tabela organizada (tempo x temperatura).

A etapa de Análise de Dados e Plotagem de Gráficos seria realizada em seguida, (plotado pela professora), onde os grupos deveriam escolher um colega para falar como gerar o gráfico da curva de resfriamento e evaporação para inserir os dados no SciDAVis. A comparação dos resultados entre os grupos diferentes líquidos e a discussão das variações observadas culminariam na conclusão e discussão coletiva, onde os grupos apresentariam seus dados e responderiam a questões reflexivas sobre o aprendizado conceitual e metodológico.

A estrutura da aula 8, pautada na Aula Baseada por Investigação (ABI) e na integração de tecnologia (Arduino e SciDAVis), permitiu a avaliação de múltiplas competências, desde a formulação de hipóteses até a análise gráfica, fornecendo o contexto para a aplicação da rubrica de desempenho e as conclusões sobre a complexa interação entre conhecimento, técnica e colaboração no ambiente de aprendizagem.

7.9 Análise de dados

O kit de materiais para o experimento está ilustrado na figura 44 e integra vidrarias básicas, proveta graduada, béqueres, reagentes de uso comum como frasco de álcool, frasco de acetona e um termômetro de laboratório. Essa configuração permite ao estudante realizar as medições e observações necessárias para a transição do conhecimento espontâneo ao científico.

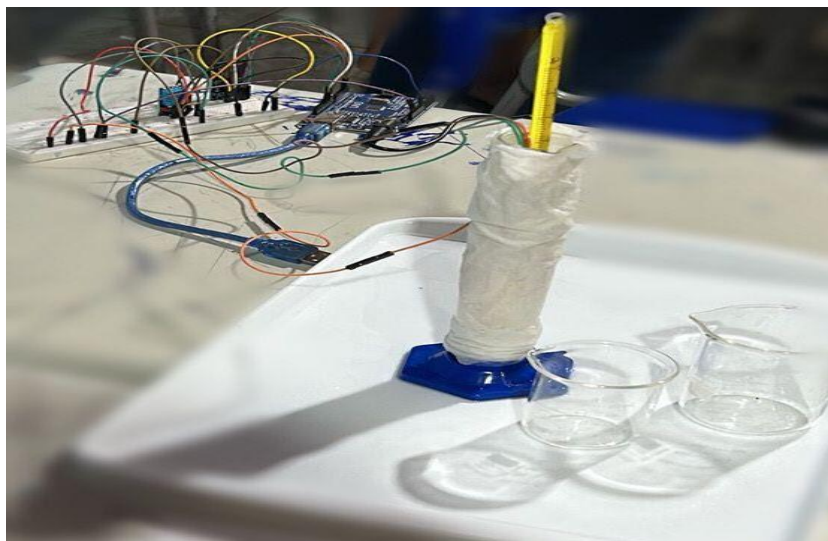
Figura 44- Materiais de laboratório para o experimento de evaporação



Fonte: Elaborada pela autora 2025

Objetivo da Montagem do aparato experimental na figura 45 é para o uso do Arduino, que transforma o experimento qualitativo simplesmente observar a queda de temperatura em um experimento quantitativo. Permite que os alunos criem gráficos de temperatura versus tempo para comparar com precisão as taxas de resfriamento da acetona e do álcool, demonstrando qual tem o maior efeito de resfriamento por evaporação.

Figura 45 - Montagem experimental do sistema de resfriamento evaporativo utilizando Arduino.



Fonte: elaborada pela autora 2025.

Os materiais utilizados incluem sensor de temperatura conectado ao microcontrolador, proveta graduada de vidro envolta em material úmido e béqueres para a adição de água. A proveta graduada, especificamente, está envolta em papel-toalha umedecido (conforme detalhado na figura 45).

A temperatura foi monitorada simultaneamente por um termômetro de laboratório (medição tradicional) e por um sensor eletrônico e por um sensor de temperatura e umidade DHT 11 conectado a uma placa Arduino. O sistema Arduino é responsável pela coleta digital e registro dos dados de temperatura e umidade, que serão posteriormente processados no software SciDAVis.

A Figura 45 ilustra o ponto central da metodologia de coleta de dados, que é a integração de ferramentas tradicionais e digitais. A montagem experimental não apenas replica o procedimento físico de medição da temperatura durante a evaporação, mas o aprimora com a capacidade de registro de dados em tempo real proporcionada pelo kit Arduino.

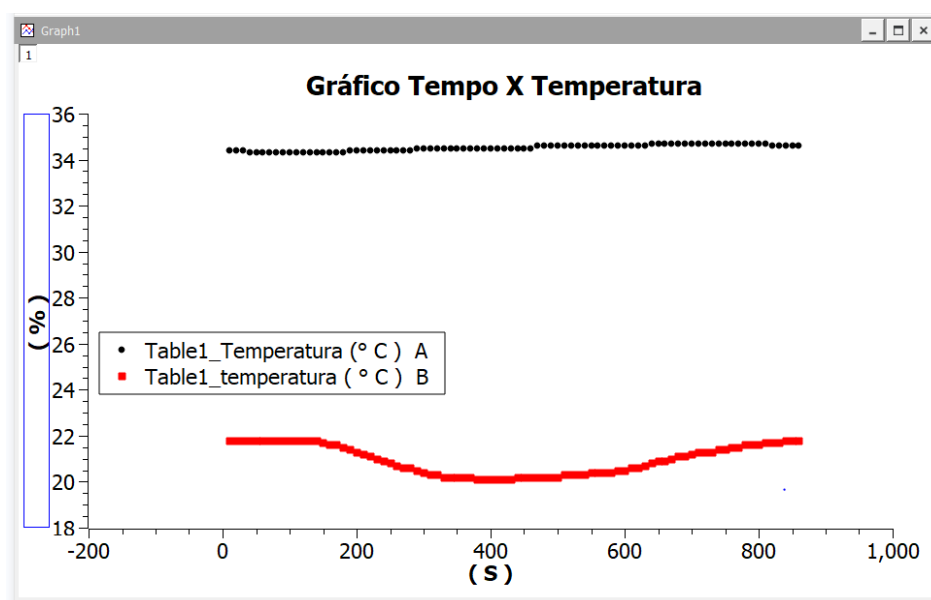
A importância desta imagem reside em sua função de ponte metodológica entre a execução prática e a análise quantitativa. A dupla medição termômetro de laboratório e sensor eletrônico permite a validação cruzada dos dados, um aspecto crucial para a confiabilidade dos resultados em um ambiente de (ABI).

Os gráficos apresentados nesta seção foram gerados a partir dos dados coletados pelo protótipo instrumentado. Cada gráfico ilustra a curva de resfriamento temperatura em função do tempo dos diferentes líquidos testados pelos grupos, além da comparação entre o termômetro analógico e o sensor digital Arduino. A análise dessas representações gráficas é fundamental para:

- i. Demonstrar a aplicação da tecnologia: evidencia o uso do Arduino como ferramenta de precisão na coleta de dados, conforme os objetivos de aprendizagem da Aula 8.
- ii. Monitorar o fenômeno físico: permite a visualização da queda de temperatura por evaporação, correlacionando a taxa de resfriamento à volatilidade de cada líquido.
- iii. Avaliar o desempenho dos grupos: a qualidade e a precisão dos dados (ou as inconsistências observadas, como no caso do Grupo A) servem de base para avaliar a competência dos estudantes no uso de sensores e na interpretação de dados científicos.

O gráfico 3 apresenta a variação da temperatura em função do tempo para o Grupo A, que utilizou acetona e adicionam 20 ml de acetona em volta da proveta graduada, molhando o papel toalha.

Gráfico 3 - Curva de resfriamento do sistema do grupo A (álcool).



Fonte: elaborada pela autora, 2025.

O gráfico 3 mostrado na figura é o tempo eixo X e a temperatura no eixo Y apresentando como resultado do experimento do grupo A com álcool demonstra claramente o fenômeno

físico esperado: o resfriamento evaporativo. A análise da curva de temperatura (eixo Y, em °C) em função do tempo (eixo X, em segundos) revela um comportamento em três fases:

1. Temperatura ambiente (sensor A - pontos pretos que coleta dados do ambiente externo): Mantém-se estável em aproximadamente 34,5 °C, servindo como dado de controle e indicando a temperatura do ambiente que fornece calor ao sistema.

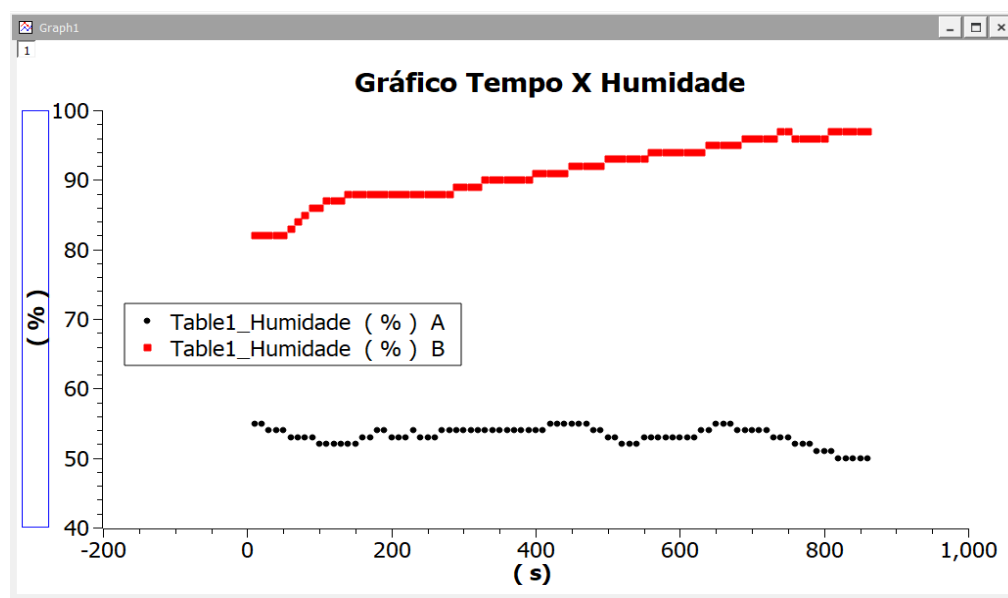
2. Curva de resfriamento (sensor B - quadrados vermelhos que coleta dados do ambiente interno do sistema):

- Fase de resfriamento (150 a 450 s): Ocorre uma queda de temperatura de 22 °C para um mínimo de 20 °C. Esta redução é a manifestação direta da remoção de energia térmica (calor latente de vaporização) do líquido pelas moléculas que evaporam.

- Fase de aquecimento e estabilização (450 a 850 s): A temperatura começa a subir, indicando que a absorção de calor do ambiente (34,5 °C) superou a taxa de resfriamento pela evaporação, levando o sistema de volta ao equilíbrio térmico.

O gráfico confirma a hipótese de que a evaporação causa o resfriamento do líquido, validando o princípio do calor latente de vaporização.

Gráfico 4 - Curva de humidade do sistema do grupo A (álcool)



Fonte: Elaborada pela autora.

O gráfico 4, mostrado na imagem representa o Tempo × Umidade apresenta duas séries de dados obtidas pelos sensores durante o experimento: a sensor A (preta) e a sensor B (vermelha). A comparação entre as curvas permite avaliar o efeito da evaporação dos fluidos sobre a umidade relativa do ar na região próxima ao sensor.

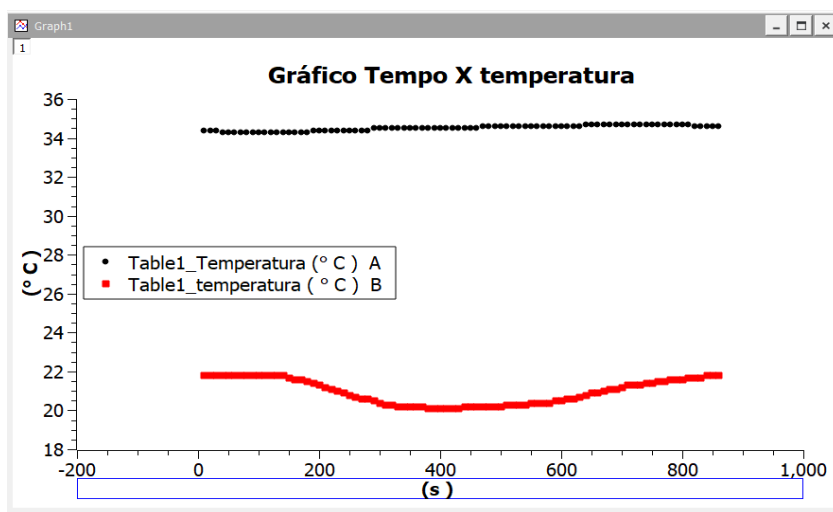
A sensor A manteve-se entre (50%) e (55%), com pequenas oscilações ao longo do tempo. Essa estabilidade indica que: não ocorreu aumento significativo de vapor do fluido analisado, os valores representam apenas a umidade ambiente, sem influência direta de evaporação intensa.

O sensor B inicia com valores em torno de (82%) e apresenta aumento contínuo, chegando a aproximadamente (95%) ao final do experimento. Esse comportamento é característico de substâncias altamente voláteis, como a álcool. À medida que ela evapora é liberado grande quantidade de moléculas na atmosfera local, desloca o ar seco do entorno e o sensor registra o aumento da umidade relativa, já que detecta um ar mais saturado pela presença do vapor do fluido. Esse crescimento progressivo indica que a acetona passou por evaporação intensa durante todo o intervalo analisado.

As diferenças entre as duas curvas confirmam as propriedades físicas esperadas: Fluidos voláteis (como acetona) aumentam rapidamente a umidade relativa local devido à sua evaporação intensa. Fluidos menos voláteis apresentam umidade estável, sem alterações expressivas ao longo do tempo.

O gráfico, portanto, evidencia experimentalmente como a volatilidade dos fluidos influencia a composição do ar ao redor, reforçando conceitos relacionados à pressão de vapor e à dinâmica de evaporação.

Gráfico 5 - Curva de resfriamento do sistema do grupo B acetona.



Fonte: Elaborada pela autora.

7.9.1 Análise do gráfico Tempo X Temperatura (grupo B)

O gráfico 5 mostrado tempo eixo X e a temperatura é o registro quantitativo do fenômeno físico central do experimento: o resfriamento evaporativo. O gráfico apresenta a temperatura (eixo Y, em °C) em função do tempo (eixo X, em segundos), com duas séries de dados que permitem a comparação entre a temperatura ambiente e a temperatura do líquido.

A temperatura (°C) A (pontos pretos) externo demonstra uma estabilidade notável, mantendo-se constante em aproximadamente 34,5 °C ao longo de toda a medição. Esta curva representa a temperatura ambiente do laboratório, atuando como um dado de controle essencial para isolar o efeito da evaporação.

A temperatura (°C) B interno (quadrados vermelhos) representa a temperatura do líquido (acetona) e exibe a característica curva de resfriamento evaporativo. A análise desta curva pode ser dividida em três fases:

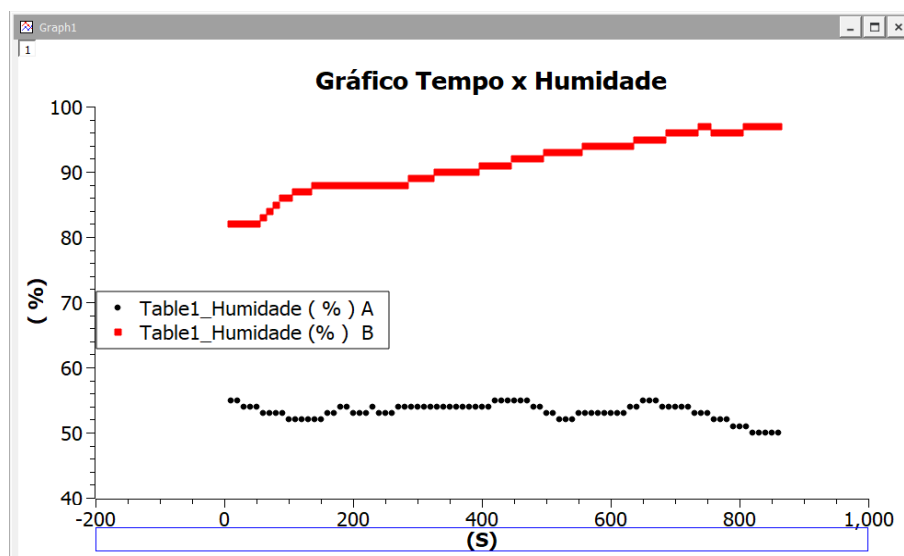
1.Fase inicial (0 a 150 s): A temperatura se mantém estável em torno de 22 °C. Este período pode corresponder ao tempo de acomodação do sistema ou ao início da evaporação, antes que o efeito de resfriamento se torne dominante.

2.Fase de resfriamento (150 a 450 s): Ocorre uma queda acentuada e contínua da temperatura, que atinge seu ponto mínimo em aproximadamente 20 °C. Esta redução de 2 °C é a manifestação direta do calor latente de vaporização. As moléculas de acetona mais energéticas escapam para o estado gasoso, removendo energia térmica do líquido remanescente e, conseqüentemente, reduzindo sua temperatura.

3.Fase de aquecimento e estabilização (450 a 850 s): Após atingir o ponto mínimo, a temperatura começa a subir lentamente, retornando a cerca de 22 °C. Este comportamento sugere que a taxa de evaporação diminuiu (possivelmente devido à saturação do ar com vapor, conforme indicado pelo gráfico de umidade, ou à redução da área de superfície efetiva), e o líquido começou a absorver calor do ambiente (curva A, 34,5 °C), retornando ao equilíbrio térmico.

O gráfico confirma a hipótese central do experimento a evaporação causa o resfriamento do líquido. A queda de temperatura observada na curva B é a prova física da remoção de energia térmica do sistema. A capacidade do Grupo B de gerar um gráfico que demonstra claramente esse fenômeno, com eixos corretamente plotados e dados consistentes, reforça a conclusão de que o grupo alcançou a proficiência técnica necessária para a execução do experimento, validando a pontuação de uso dos sensores como corretamente.

Gráfico 6 - Curva de umidade do sistema do grupo B (acetona)



Fonte: Elaborada pela autora.

Análise do gráfico 6 mostrado na imagem representando o Tempo x Umidade (grupo B). O gráfico tempo x umidade apresenta a variação da umidade relativa do ar (eixo Y, em %) em função do tempo (eixo X, em segundos) durante o experimento realizado pelo Grupo B. A análise visual revela a presença de duas séries de dados distintas, que representam a dinâmica da umidade em diferentes pontos do ambiente experimental.

A umidade (%) A externo (pontos pretos) mostra uma análise o relativamente estável, variando entre aproximadamente 50% e 55% ao longo dos 850 segundos de medição. Este comportamento é característico da umidade ambiente da sala de aula, que se manteve constante durante o período de coleta de dados.

A umidade (%) B interno (quadrados vermelhos) mostra a variação significativamente diferente. Iniciando em torno de 82%, esta curva apresenta um aumento contínuo e progressivo ao longo do tempo, atingindo um patamar próximo a 97% ao final da medição.

A diferença entre as duas curvas é crucial para a compreensão do fenômeno da evaporação. A série B, que registra níveis de umidade substancialmente mais altos e em ascensão, representa a medição realizada dentro do sistema fechado ou semi-fechado da proveta graduada envolta em papel umedecido. O aumento constante da umidade relativa neste ponto é uma evidência direta do processo de evaporação do líquido (acetona, no caso do grupo B).

A evaporação consiste na passagem do líquido para o estado gasoso, liberando moléculas de vapor d'água ou vapor do solvente no ar circundante. Em um volume limitado (como o espaço imediatamente acima do líquido na proveta), a concentração de vapor aumenta,

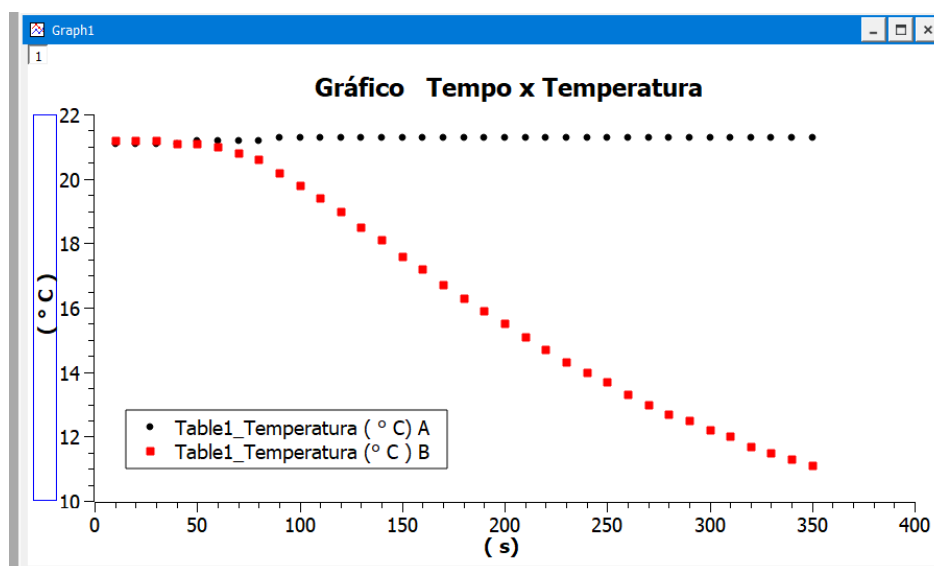
elevando a umidade relativa. O fato de a curva B não se estabilizar rapidamente, mas sim continuar a subir, sugere que o sistema de medição (sensor) estava capturando o acúmulo contínuo de vapor liberado pelo líquido, confirmando a ocorrência do processo físico de evaporação.

Este gráfico, portanto, não apenas valida a ocorrência da evaporação, mas também fornece um registro quantitativo da saturação do ar dentro do aparato experimental, um fator que, por sua vez, pode influenciar a taxa de evaporação e a curva de resfriamento do líquido. A estabilidade da curva A (umidade ambiente) serve como um importante dado de controle, isolando o efeito da evaporação do líquido da variação natural do ambiente.

7.9.2 Análise do gráfico Tempo X Temperatura (grupo C)

O gráfico Tempo $\times$ Temperatura do grupo C apresenta interpretação das curvas revela um comportamento distinto dos demais grupos, diretamente influenciado pelas condições ambientais da sala climatizada.

Gráfico 7- Curva de Resfriamento do Sistema do Grupo C (acetona)



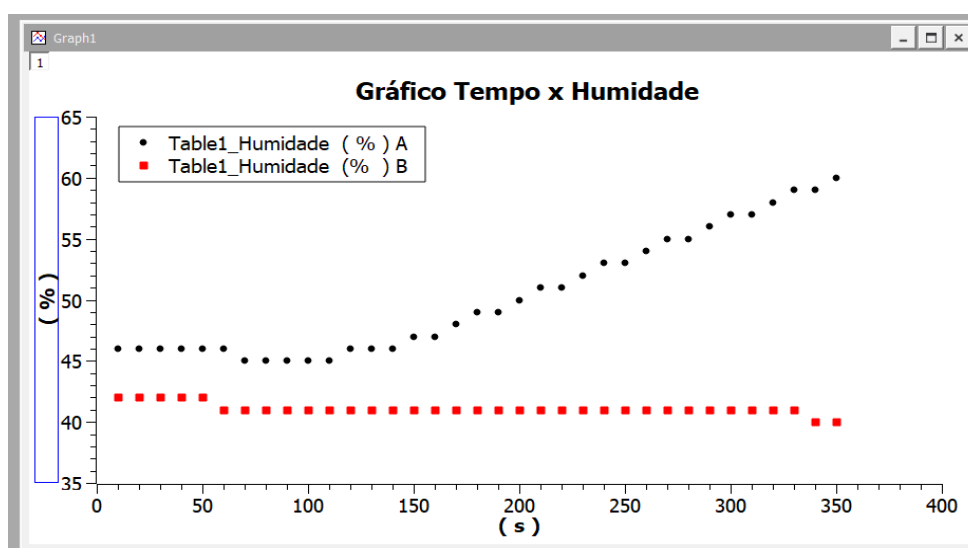
Fonte: Elaborada pela autora 2025.

O gráfico tempo eixo X e temperatura eixo Y referente ao grupo C apresenta um comportamento distinto dos demais grupos, resultado direto das condições ambientais da coleta, realizada em uma sala climatizada com ar-condicionado. A temperatura ambiente (sensor A) manteve-se estável em aproximadamente 21,5 °C, evidenciando um ambiente termicamente controlado e substancialmente mais frio do que o local de experimentação dos outros grupos.

A curva de temperatura interna (sensor B) exibe uma queda contínua, passando de cerca de 21,5 °C para aproximadamente 12 °C ao longo de 350 segundos. Esse resfriamento acentuado não pode ser atribuído apenas ao processo evaporativo, como observado nos demais experimentos. Em vez disso, ele resulta da ação combinada da evaporação com a forte transferência de calor para o ambiente refrigerado. O ar-condicionado funcionou como um dissipador térmico eficiente, acelerando a perda de calor do sistema e intensificando o resfriamento além do esperado para condições ambientais naturais.” Essa variação de temperatura se deve a uma mudança da energia térmica do sistema por causa da troca de energia entre o sistema e o ambiente” (Hallyday; Resnick; Walker, 2016, p. 429)

Embora o aparato experimental tenha funcionado, o comportamento térmico do Grupo C deve ser interpretado com cautela. A realização do experimento em ambiente climatizado ar-condicionado modificou o regime de trocas de calor, impedindo a comparação direta com os demais grupos que atuaram em ambiente quente. Nesse cenário, a queda acentuada de temperatura registrada reflete mais a influência do ambiente do que o resfriamento evaporativo propriamente dito. Segundo Hallyday, Resnick e Walker (2016), a intensidade da troca térmica é proporcional à diferença de temperatura entre o sistema e o meio. Complementarmente Çengel e Ghajar (2012) afirmam que a transferência de energia ocorre do meio de maior temperatura para o de menor, cessando apenas no equilíbrio térmico. Portanto, o ar-condicionado atuou como um dissipador adicional, enviesando a curva de resfriamento do Grupo C.

Gráfico 8 - Humidade x Tempo sala climatizada (grupo C).



Fonte: elaborada pela autora 2025

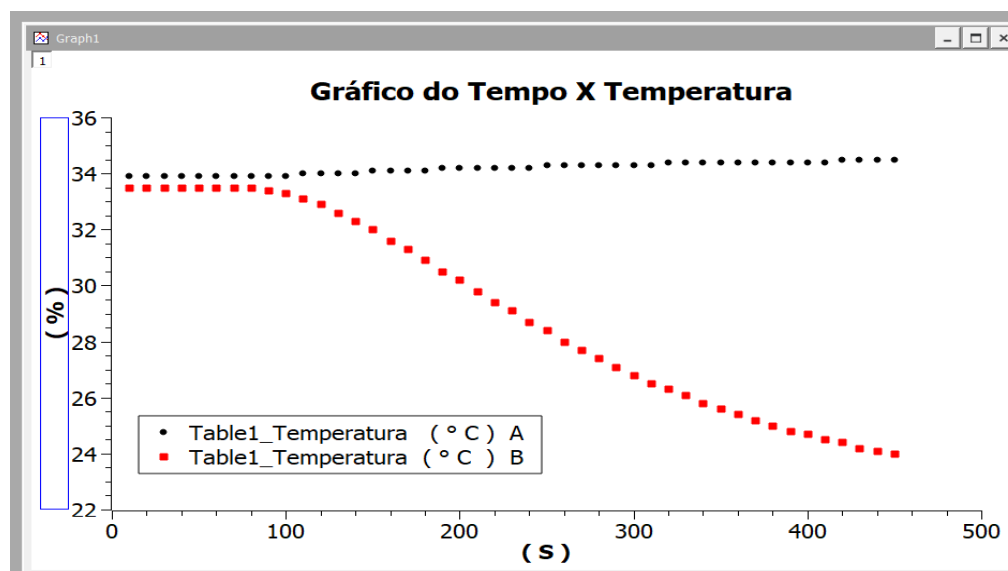
O gráfico que relaciona Humidade Relativa (%) e Tempo (s) apresenta dois conjuntos de dados obtidos em sala de aula climatizada por ar-condicionado. Os dois sensores mostram comportamentos distintos, indicando que os sensores estavam expostos a condições ambientais diferentes dentro do mesmo espaço.

Sensor B (pontos vermelhos) manteve a humidade praticamente constante, variando entre (41%) e (42%) ao longo de toda a coleta. Esse comportamento é compatível com um ambiente sob ar-condicionado, que tende a manter a umidade em níveis estáveis e relativamente baixos devido ao processo de desumidificação característico desses aparelhos.

O sensor A (pontos pretos) apresenta uma elevação progressiva da humidade, partindo de aproximadamente (45%) e atingindo cerca de (60%) ao final da medição. Esse aumento acentuado em um curto intervalo de tempo é incomum para um ambiente climatizado e sugere que o sensor foi influenciado por uma fonte local de umidade não controlada, a circulação de pessoas, a proximidade de materiais úmidos condicionada da sala.

A divergência entre as duas séries evidencia que, embora o ambiente geral estivesse refrigerado, as condições microambientais em torno dos sensores eram distintas. Assim, os dados de humidade do Grupo C refletem não apenas o comportamento do sistema experimental, mas também a influência direta da dinâmica da sala climatizada durante a coleta.

Gráfico 9 - Curva de resfriamento do sistema do grupo D (álcool).



Fonte: Elaborada pela autora 2025.

A análise do gráfico 9 mostra uma curva de resfriamento. Enquanto a temperatura ambiente (Sensor A - pontos pretos) permaneceu estável entre 34 °C e 34,5 °C, servindo como

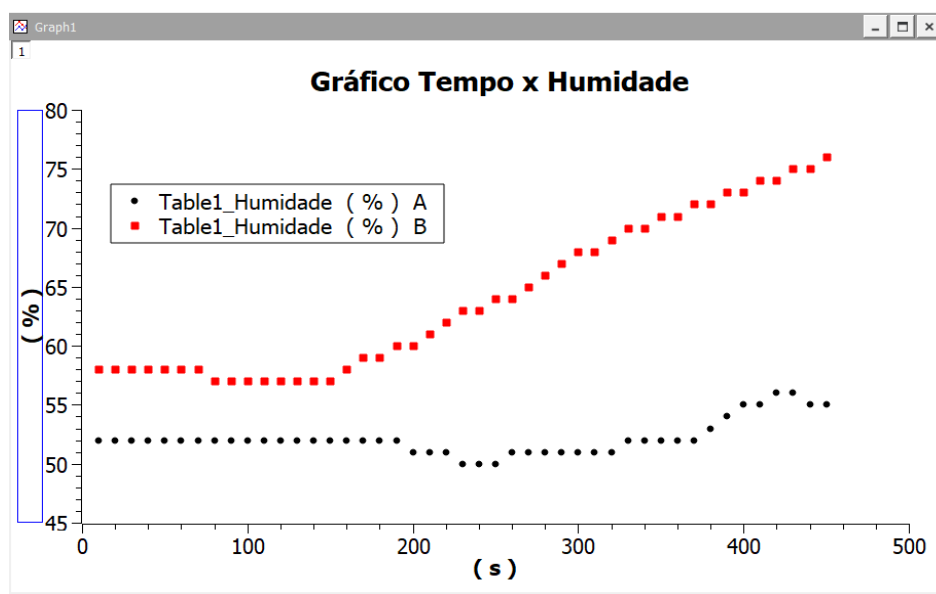
grupo de controle, o sistema monitorado pelo Sensor B (pontos vermelhos) apresentou uma queda térmica rigorosa e contínua.

O comportamento do álcool pode ser segmentado em dois momentos distintos:

1. Inércia inicial: Nos primeiros 50 segundos, a temperatura manteve-se próxima aos 33,5 °C.
2. Resfriamento linear: Após esse período, iniciou-se uma queda acentuada e quase linear, culminando em 24 °C ao final dos 450 segundos.

Este decréscimo total de 9,5 °C é expressivamente superior à queda de 2 °C registrada pela acetona, o que evidencia uma taxa de evaporação mais eficiente e uma maior remoção de calor latente do sistema sob as condições testadas. A ausência de uma fase de estabilização térmica ao final do registro sugere que a pressão de vapor do álcool manteve o processo de mudança de fase ativo e dominante, superando a absorção de calor do meio externo durante todo o intervalo. Tais dados corroboram as previsões realizadas pelos estudantes na fase de pré-investigação, consolidando a compreensão prática sobre a relação entre volatilidade e transferência de calor.

Gráfico 10 - Curva de umidade do sistema do grupo D (álcool).



Fonte: Elaborada pela autora 2025

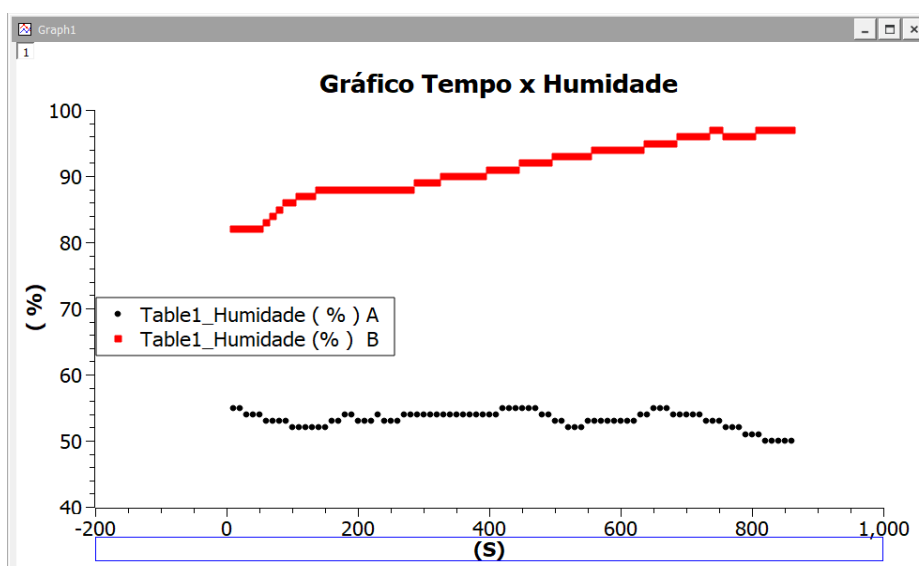
Análise do gráfico 10 do Tempo x Umidade álcool. O gráfico tempo x umidade registra a variação da umidade relativa do ar (eixo Y, em %) em função do tempo (eixo X, em segundos) ao longo de aproximadamente 450 segundos. A análise visual das duas séries de

dados confirma o padrão esperado para um experimento de evaporação em ambiente controlado.

umidade (%) A (pontos pretos) representa a umidade ambiente e demonstra uma estabilidade notável, oscilando minimamente em torno de 51% a 52%. Esta estabilidade é crucial, pois estabelece a condição de controle do experimento, garantindo que as variações observadas na outra série sejam atribuídas ao processo de evaporação do líquido, umidade (%) B (quadrados vermelhos) exibe um comportamento dinâmico que evidencia a ocorrência da evaporação. A curva inicia em aproximadamente 58% e, após um período inicial de estabilização e uma leve queda (entre 50 s e 150 s), inicia um crescimento contínuo e acentuado a partir dos 150 segundos, atingindo cerca de 76% ao final da medição.

O aumento progressivo da umidade no sensor B é a manifestação direta da liberação de vapor do líquido no volume de medição. A evaporação, que é a transição de fase do líquido para o gasoso, eleva a concentração de vapor, resultando no aumento da umidade relativa. O período de crescimento constante da curva B (após 150 s) indica que a taxa de evaporação foi sustentada, levando a uma saturação progressiva do ar no sistema experimental. A leve queda inicial e o subsequente crescimento gradual da curva B, em comparação com a estabilidade da curva A, reforçam a validade do experimento. O gráfico, portanto, serve como uma prova quantitativa da ocorrência do fenômeno físico e da eficácia do sensor em registrar a variação da umidade, um fator que, conforme a teoria, influencia diretamente a taxa de evaporação e o resfriamento do líquido.

Gráfico 11 - Curva de umidade do sistema do grupo D.



Fonte: Elaborada pela autora.

Análise do gráfico 11, Tempo x Umidade (grupo B). O gráfico Tempo x Umidade a imagem apresenta a variação da umidade relativa do ar (eixo Y, em %) em função do tempo (eixo X, em segundos) durante o experimento realizado pelo grupo B. A análise visual revela a presença de duas séries de dados distintas, que representam a dinâmica da umidade em diferentes pontos do ambiente experimental.

A umidade (%) A externo (pontos pretos) exibe uma flutuação relativamente estável, variando entre aproximadamente (50%) e (55%) ao longo dos 850 segundos de medição. Este comportamento é característico da umidade ambiente do laboratório, que se manteve constante durante o período de coleta de dados.

A umidade (%) B interno (quadrados vermelhos) demonstra um padrão de variação significativamente diferente. Iniciando em torno de (82%), esta curva apresenta um aumento contínuo e progressivo ao longo do tempo, atingindo um patamar próximo a 97% ao final da medição.

A diferença entre as duas curvas é crucial para a compreensão do fenômeno da evaporação. A série B, que registra níveis de umidade substancialmente mais altos e em ascensão, representa a medição realizada dentro do semi-fechado da proveta graduada envolta em papel umedecido. O aumento constante da umidade relativa neste ponto é uma evidência direta do processo de evaporação do líquido (acetona, no caso do Grupo B).

A evaporação consiste na passagem do líquido para o estado gasoso, liberando moléculas de vapor d'água ou vapor do solvente no ar circundante. Em um volume limitado como o espaço imediatamente acima do líquido na proveta, a concentração de vapor aumenta, elevando a umidade relativa. O fato de a curva B não se estabilizar rapidamente, mas sim continuar a subir, sugere que o sistema de medição (sensor) estava capturando o acúmulo contínuo de vapor liberado pelo líquido, confirmando a ocorrência do processo físico de evaporação.

Este gráfico, portanto, não apenas valida a ocorrência da evaporação, mas também fornece um registro quantitativo da saturação do ar dentro do aparato experimental, um fator que, por sua vez, pode influenciar a taxa de evaporação e a curva de resfriamento do líquido. A estabilidade da curva A (umidade ambiente) serve como um importante dado de controle, isolando o efeito da evaporação do líquido da variação natural do ambiente.

7.10. Discussão dos Resultados por Grupo

Nesta seção, apresenta-se a análise detalhada do desempenho dos grupos A, B, C e D, confrontando os dados obtidos nas rubricas de avaliação com os resultados práticos registrados pelos sensores. A discussão busca identificar como o domínio conceitual, as habilidades procedimentais e a interação social se manifestaram durante a construção do sistema de refrigeração natural. Sob a ótica de Vygotsky, cada grupo representa uma dinâmica distinta de mediação, onde o erro técnico, a curiosidade espontânea ou a colaboração coletiva atuaram como elementos estruturantes (ou limitadores) da aprendizagem científica. Assim, a análise a seguir não se restringe aos números, mas interpreta o percurso cognitivo dos estudantes diante do desafio de validar a teoria física por meio da experimentação tecnológica.

7.10.1 Grupo A – Domínio Conceitual e Superação de Dificuldades Procedimentais

A análise do desempenho do grupo A evidencia uma discrepância entre a pontuação atribuída na rubrica e o resultado experimental obtido. Apesar de o grupo ter sido avaliado com a nota mínima em “Uso dos Sensores” (1 – Não registrou), o gráfico produzido demonstra que houve coleta e sistematização dos dados, ainda que com falhas iniciais. Tal incongruência sugere que o problema enfrentado não esteve no domínio cognitivo, mas em dificuldades técnicas ou procedimentais ocorridas durante a etapa inicial da coleta.

As causas mais prováveis incluem falhas no registro manual, atraso na organização dos dados ou erros operacionais nos primeiros minutos da medição. Contudo, o domínio conceitual demonstrado pelo grupo avaliado com nota máxima permitiu que os estudantes interpretassem adequadamente o fenômeno, formulassem hipóteses compatíveis com o comportamento físico esperado e compreendessem a lógica do resfriamento evaporativo. Portanto, o gráfico final confirma que o conhecimento teórico atuou como mecanismo de autorregulação, permitindo que o grupo superasse a dificuldade procedimental e alcançasse um resultado cientificamente válido.

7.10.2 Grupo B – Competência técnica como elemento de compensação conceitual

O desempenho do Grupo B foi marcado por uma interação equilibrada entre fragilidade conceitual inicial e elevada proficiência técnica. A pré-investigação revelou respostas superficiais quanto às variáveis de controle e ao comportamento térmico da acetona, indicando uma compreensão conceitual apenas básica. Entretanto, na etapa experimental, o grupo

demonstrou domínio das habilidades procedimentais: manuseio correto dos instrumentos, registro adequado dos dados, cálculos de variação de temperatura e construção de gráficos de forma precisa.

Essa competência técnica permitiu que o grupo produzisse resultados coerentes com o fenômeno físico estudado, mesmo sem um domínio teórico aprofundado. O caso do Grupo B evidencia que habilidades procedimentais rigorosas podem compensar parcialmente limitações conceituais, garantindo a obtenção de dados confiáveis que, posteriormente, contribuem para o fortalecimento do próprio entendimento teórico.

7.10.3 Grupo C: Influência das condições ambientais e a necessidade de controle experimental

O grupo C apresentou fragilidades conceituais e metodológicas na pré-investigação, mas produziu um resultado experimental que confirma o princípio do resfriamento evaporativo. Diferentemente dos demais grupos, o experimento foi realizado intencionalmente em uma sala climatizada, como parte do protocolo investigativo. Essa condição permitiu observar diretamente como variáveis ambientais influenciam o comportamento térmico e higrométrico do sistema.

Os dados de umidade mostraram um comportamento atípico no sensor A, cuja leitura aumentou de cerca de 45% para 60% ao longo da coleta. Essa elevação, improvável em ambientes climatizados, indica a presença de influências microambientais, como circulação de pessoas, entrada de ar exterior ou proximidade de fontes localizadas de umidade. A divergência entre os sensores evidencia que, apesar do ambiente refrigerado, as condições locais não eram homogêneas. O caso do Grupo C não representa uma falha metodológica, mas sim uma variação experimental planejada que permitiu demonstrar a sensibilidade dos sensores às condições ambientais. O resultado destaca a importância de controlar rigorosamente variáveis externas e reforça que o domínio conceitual deve incluir a capacidade de reconhecer e prever interferências do ambiente no experimento.

7.10.4– A mediação social como mecanismo estruturante da aprendizagem científica (grupo D)

O grupo D apresentou baixas pontuações em “compreensão conceitual” e “uso dos sensores”, mas conseguiu produzir um gráfico que expressa corretamente o comportamento do resfriamento evaporativo, revelando uma queda de aproximadamente 2 °C ao longo da coleta.

Esse desempenho, aparentemente contraditório, pode ser explicado pelo excelente resultado no critério “trabalho em grupo”, no qual o grupo atingiu a pontuação máxima.

Sob a perspectiva da teoria sociocultural de Vygotsky, o caso do grupo D exemplifica o papel da mediação social na aprendizagem científica. A intensa colaboração entre os membros permitiu que o grupo superasse dificuldades individuais e obtivessem aprendizagem de acordo com (ZDP). O resultado experimental, embora não reflita o domínio conceitual individual, representa a capacidade do coletivo de executar a tarefa com êxito graças à troca de saberes, à distribuição de responsabilidades e à construção compartilhada de estratégias.

Assim, o gráfico do grupo D constitui não apenas um registro experimental, mas também um artefato pedagógico que evidencia como a interação social pode possibilitar a realização bem-sucedida de atividades científicas, mesmo quando os indivíduos apresentam limitações técnicas ou conceituais.

7.11 Conclusão Geral

A análise comparativa dos Grupos A, B, C e D demonstram que o sucesso em uma investigação científica escolar pode emergir de diferentes mecanismos, que vão além do domínio conceitual individual. O Grupo A baseou-se na força do conhecimento teórico para superar falhas procedimentais; o Grupo B compensou limitações conceituais por meio da proficiência técnica; o Grupo C evidenciou a influência do ambiente físico e a importância do controle experimental; e o Grupo D materializou a potência da mediação social no desenvolvimento de competências investigativas.

7.12 Conclusão Comparativa

A análise integrada dos grupos A, B, C e D revelam quatro mecanismos distintos que conduziram à obtenção de resultados fisicamente válidos:

- **Grupo A:** o domínio conceitual permitiu a superação de falhas procedimentais momentâneas;
- **Grupo B:** a proficiência técnica compensou em parte a fragilidade teórica inicial;
- **Grupo C:** a investigação evidenciou a influência direta do ambiente e reforçou a importância do controle de variáveis externas;

- **Grupo D:** A mediação social possibilitou que um grupo com dificuldades individuais executasse o experimento corretamente.

Esses resultados reforçam que a aprendizagem científica se constrói na intersecção entre conceitos, procedimentos e interações sociais, e que diferentes trajetórias podem conduzir a resultados igualmente válidos e significativos.

7.13 Síntese para a replicação experimental

A decisão de replicar o experimento de resfriamento evaporativo da acetona em ambientes distintos laboratório climatizado versus sala de aula fundamenta-se na necessidade de isolamento e controle da variável ambiental, um princípio basilar da metodologia científica.

A análise comparativa inicial dos resultados obtidos pelos grupos B e C revelou uma similaridade inesperada nos valores de resfriamento da acetona. Tal convergência, em um contexto onde o grupo C demonstrou fragilidade conceitual e metodológica, sugeriu a influência de variáveis de confusão não controladas, notadamente a ação do sistema de ar-condicionado. A replicação do experimento em um ambiente não climatizado sala de aula visa neutralizar a interferência do microambiente laboratorial, permitindo:

1. Validar a pureza do dado: Assegurar que o resultado de resfriamento seja atribuído primariamente ao fenômeno físico da evaporação da acetona, e não a fatores externos de refrigeração.
2. Diagnosticar a influência: Isolar o impacto da climatização na taxa de resfriamento, transformando a variável ambiental de um fator de confusão em um objeto de análise metodológica.

Portanto, a replicação experimental é uma medida de rigor metodológico indispensável para garantir a validade interna dos dados e a robustez das conclusões sobre a relação entre domínio conceitual, proficiência técnica e resultado experimental.

7.14 Análise da aula de intervenção e interpretação de gráficos e fenômenos físicos

A aula, realizada em 24/11/2025 com duração de 50 minutos, estruturou-se em quatro etapas. O foco inicial foi a interpretação de gráficos, seguida pela aplicação conceitual em um experimento prático sobre calor, temperatura e evaporação, utilizando álcool e acetona como substâncias de teste. A intervenção priorizou o diálogo e a participação ativa, visando sanar as dificuldades de análise gráfica observadas anteriormente nos alunos dos 2º e 3º ano (GNs).

7.14.1 Mediação tecnológica e análise e análise de dados.

A etapa inicial da intervenção pedagógica, com duração aproximada de 20 minutos, foi destinada à análise coletiva dos dados produzidos pelos próprios estudantes em aulas anteriores. Esse momento caracterizou-se como uma ação de mediação tecnológica orientada à reflexão científica, na qual foram projetados, por meio de data show, quatro slides contendo gráficos elaborados a partir das medições realizadas pelos diferentes grupos de trabalho.

O objetivo principal dessa etapa consistiu em promover o deslocamento do estudante de uma postura predominantemente executora para uma posição analítica e interpretativa diante dos dados experimentais. Ao visualizarem os gráficos correspondentes aos seus próprios experimentos (1 a 4 slides), os alunos foram orientados a realizar a leitura das curvas de temperatura e umidade, reconhecendo as variáveis envolvidas e estabelecendo relações entre os fenômenos observados empiricamente e suas representações gráficas.

A utilização de dados reais e autorais mostrou-se uma estratégia pedagógica relevante, uma vez que possibilitou aos estudantes: (i) identificar inconsistências nos processos de coleta, como as falhas observadas nos experimentos conduzidos pelos Grupos; (ii) demonstrar fenômenos físicos esperados, a exemplo do resfriamento evaporativo evidenciado nos gráficos considerados bem-sucedidos; e (iii) desenvolver o pensamento crítico, ao transitar da simples visualização dos gráficos para a interpretação científica dos eixos, das tendências e das taxas de variação representadas.

Dessa forma, a análise dos slides foi explorada de forma construtiva e expositiva, configurando-se como um processo de diálogo e interpretação. Nesse contexto, os estudantes puderam confrontar suas observações empíricas realizadas durante a prática experimental com os registros digitais fornecidos pelos sensores, favorecendo a construção de significados mais consistentes e a compreensão dos limites e das potencialidades dos instrumentos de medição utilizados. Tal abordagem contribuiu para o fortalecimento da autonomia intelectual dos alunos e para a consolidação de uma postura investigativa diante dos dados científicos.

7.15 Etapa 1: Projeção e Análise de Gráficos

(tempo estimado: 20 minutos)

Objetivo: introduzir e reforçar a análise básica de gráficos, identificando eixos, grandezas e variações.

Procedimento: utilização de *datashow* para projetar gráficos de temperatura, tempo e umidade e tempo foi projetado 4 slides. (slides 1,2,3,4).

7.15.1 Etapa 2: Discussão e intervenção

Questionamento individual sobre a visualização no gráfico.

Identificação dos eixos (abscissas e ordenadas) e das grandezas físicas correspondentes tempo, temperatura e umidade. Análise da variação comportamento das curvas.

Observação: Os alunos demonstraram hesitação e vergonha nas respostas iniciais, confirmando a dificuldade na interpretação.

Intervenção do professor (a): Diálogo e explicação sobre o significado de cada grandeza, sua posição nos eixos (x e y) e a relação de dependência que o gráfico expressa.

7.15.2 Etapa 2: experimento ativo e conceitos físicos

(tempo estimado: 20 minutos)

Objetivo: Conectar a visualização gráfica com a prática, introduzindo conceitos de calor, temperatura, umidade e evaporação.

Procedimento:

- Projeção do *software* (ID) do Arduino para visualização dos dados em tempo real.
- Explicação do *software* e sua função aquisição de dados.
- Montagem do experimento: Um aluno montou o experimento; outro umedeceu tubos de ensaio proveta graduada de vidro e, em seguida, de plástico com acetona.
- Conexão do sensor Arduino ao tubo para medição em tempo real da temperatura e umidade.

7.15.3 Discussão e intervenção

Durante a atividade experimental, a professora conduziu momentos de discussão orientada, com o objetivo de estimular a interpretação dos dados obtidos em tempo real a partir do sensor Arduino conectado ao tubo experimental, responsável pela medição da temperatura e da umidade. Nesse contexto, foram propostos questionamentos aos estudantes, tais como: *o que está acontecendo com a umidade?* e *o que ocorre com a temperatura ao longo do experimento?* bem como as possíveis explicações físicas para esses comportamentos.

Diante das respostas apresentadas e das dificuldades observadas, especialmente relacionadas à compreensão da variação de temperatura, realizou-se uma breve revisão conceitual sobre o cálculo da variação térmica (ΔT). Essa intervenção ocorreu de forma pontual, com a mediação da professora, que solicitou aos alunos a identificação dos valores inicial e final diretamente no gráfico projetado, favorecendo a articulação entre representação matemática e interpretação gráfica.

Além disso, foi promovida uma comparação experimental usando diferentes fluídos como álcool e acetona e materiais, por meio do uso de tubo provetas graduadas de vidro e de plástico, possibilitando aos estudantes observar a influência do material na variação da temperatura e da umidade. Essa estratégia contribuiu para o reforço de conceitos relacionados à troca de calor e à caracterização de sistemas físicos, ampliando a compreensão dos fenômenos observados durante a atividade experimental.

7.15.4 Etapa 3: Interpretação e Plotagem de Gráficos

(tempo não estimado, foi como integrado com a Etapa 2).

Objetivo: retomar a análise gráfica, focando na interpretação dos dados reais obtidos e no processo de plotagem.

Procedimento: análise do gráfico plotado pela professora dados do experimento usando o *software* SciDAVis mencionado como exemplo, junto com Excel e outros.

Foco na intervenção: Reforço do processo de interpretação gráfica o que o gráfico mostra, como ele se relaciona com o fenômeno.

Explicação de como os dados de tempo (eixo x) em função da temperatura (eixo y) e umidade (eixo y) são organizados para visualização.

A intervenção foi ajustada para focar na leitura e análise dos gráficos devido à constatação da deficiência dos alunos.

7.15.5 Etapa 4: Síntese Conceitual

(tempo restrito)

Objetivo: Sintetizar os conceitos trabalhados calor, temperatura, evaporação em um vocabulário científico.

Procedimento: Diálogo simples e direto, sem a solicitação de produção escrita devido ao tempo.

7.15.5.1 Sugestão para futuras aulas

Foi deixada a sugestão para que o professor(a) subsequente solicite um parágrafo final aos alunos, utilizando vocabulário científico para interpretar o comportamento da acetona em relação ao álcool e as diferenças nos dados.

7.15.6 Avaliação e observações finais

A avaliação foi conduzida de forma dialogada e ativa/passiva durante todas as etapas. O foco principal da intervenção tornou-se a interpretação de gráficos, dada a lacuna de conhecimento identificada nos alunos (2º e 3º anos), que não sabiam analisar o comportamento das variáveis plotadas. O diálogo e os questionamentos contínuos foram as ferramentas centrais para a compreensão e o reforço dos conceitos de calor, temperatura, evaporação e a correlação desses fenômenos com suas representações gráficas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O percurso metodológico e experimental traçado ao longo deste trabalho, que culminou no desenvolvimento de uma abordagem prática para o ensino de Termodinâmica, nos conduz a este capítulo final. Tendo como objetivo central facilitar a compreensão dos conceitos de calor, temperatura e evaporação através de um protótipo com Arduino e vasos cerâmicos, este texto irá agora sintetizar os resultados obtidos, ponderar sobre suas contribuições para a prática docente e, finalmente, propor aprimoramentos e novos horizontes de investigação.

A pesquisa realizada teve como objetivo central analisar uma intervenção didática baseada no uso do Arduino para o ensino de conceitos fundamentais da Termodinâmica, tais como calor, temperatura, evaporação e resfriamento evaporativo. Buscou-se desenvolver e avaliar a habilidade dos estudantes de interpretar gráficos, relacionar dados experimentais a fenômenos físicos e compreender como a mediação social, à luz de Vygotsky, contribui para a aprendizagem em atividades de investigação científica no ensino médio.

Os objetivos propostos foram alcançados. A intervenção evidenciou avanços significativos na capacidade dos estudantes de interpretar e plotar gráficos, compreender fenômenos associados à transferência de energia e analisar dados reais coletados pelos sensores. Além disso, a atividade confirmou que a interação social desempenha papel essencial na superação de dificuldades individuais, especialmente na compreensão dos conceitos estudados.

Os resultados revelaram contribuições pedagógicas relevantes. O uso do Arduino permitiu a visualização em tempo real de variações de temperatura e umidade, o que potencializou a compreensão dos fenômenos físicos. A aprendizagem tornou-se mais significativa ao articular teoria e prática, permitindo que os estudantes observassem, discutissem e relacionassem os dados com os conceitos estudados. Além disso, a intervenção evidenciou a necessidade de fortalecer a alfabetização científica, especialmente no que se refere à interpretação de gráficos, habilidade que se mostrou deficitária antes da intervenção.

A análise dos grupos confirmou os pressupostos da teoria. O desempenho do grupo D demonstrou que a colaboração entre pares pode compensar fragilidades individuais, permitindo que o coletivo avance além da zona de desenvolvimento proximal de cada estudante. Os resultados reforçam que a aprendizagem se constrói socialmente, mediada pela linguagem, pelos instrumentos e pela interação. A pesquisa confirma que a investigação científica em grupo funciona como um espaço privilegiado para o desenvolvimento cognitivo.

É fundamental reconhecer as limitações inerentes à execução deste estudo em um ambiente escolar real. Primeiramente, constatou-se que a precisão dos dados coletados pelos sensores é suscetível a interferências externas, como correntes de ar e a variação da temperatura ambiente, em alguns dos resultados. Essa constatação abre um importante via para estudos futuros: a replicação do experimento em um ambiente climatizado.

Além disso, o contexto pedagógico impôs restrições significativas. O tempo de aula limitado restringiu o espaço para um aprofundamento teórico mais robusto e para a produção de registros escritos pelos alunos. Somado a isso, o tamanho das turmas dificultou um acompanhamento individualizado, essencial para avaliar o processo de aprendizagem de cada estudante.

Recomenda-se ampliar o tempo destinado à coleta experimental, utilizar ambientes mais controlados, comparar diferentes fluidos e materiais e investigar o desenvolvimento da leitura gráfica de forma longitudinal. Sugere-se também aplicar a intervenção em turmas menores ou em outras séries, além de incorporar instrumentos de avaliação individual que permitam analisar mais detalhadamente o impacto cognitivo da atividade.

A pesquisa confirmou que é possível integrar experimentação, tecnologias acessíveis e mediação social no ensino de Física, promovendo ambientes investigativos. O Arduino se mostrou uma ferramenta eficaz para tornar visíveis fenômenos termodinâmicos que, muitas vezes, são tratados de forma abstrata. Os resultados dos grupos revelaram que diferentes mecanismos de domínio conceitual, proficiência técnica e cooperação social podem levar ao sucesso na investigação científica.

Conclui-se que a aprendizagem em ciências se fortalece quando o estudante atua como agente ativo, interagindo com seus pares, manipulando instrumentos e interpretando dados reais. Esta pesquisa reafirma que a mediação docente, aliada à interação social e ao uso de ferramentas culturais, constitui para a construção de conhecimentos científicos sólidos e significativos no ensino médio.

REFERÊNCIAS

- ADEMOVIĆ, N. et al. Influence of physical properties on thermal conductivity of polystyrene insulation materials. *Contemporary Materials (Renewable Energy Sources, Environmental and New Materials)*, v. 8, n. 1, p. 59–67, 2017. Disponível em: <https://doisrpska.nub.rs/index.php/conterporarymaterials3-1/article/download/4397/4218>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- ARDUINO OFFICIAL STORE. Arduino Uno Rev3. Disponível em: <https://store.Arduino.cc/usa/Arduino-uno-rev3>. Acesso em: 23 out. 2024.
- BARROS, M. Paes de. Resfriamento evaporativo da água em um refrigerador de vaso cerâmico: estudo experimental da transferência de calor e massa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, e20200124, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0124>.
- BARROS FILHO, Jomar *et al.* Geladeira do deserto: uma iniciação científica forjada nas aulas de termodinâmica de um curso de engenharia ambiental. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE)*, 39., 2011, Blumenau. Anais [...]. Blumenau: Ed. FURB, 2011. p. 1-8
- BEZERRA, E. A. ROBÓTICA EDUCACIONAL: um guia para implantação de baixo custo com Arduino. 2019. 167 f. TCC (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul, Naviraí, 2019.
- BEZERRA, Everton Antunes. Desenvolvimento de uma bomba simulada com Arduino para o ensino da associação de resistores. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.
- BORGES, A. T.; GOMES, R. A. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 59–76, 2005.
- BONJORNO, José Roberto et al. Física: terminologia, óptica geométrica, ondulatória. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016. (Física, 2).
- BOROCHOVICIUS, E.; TASSONI, E. C. M. Aprendizagem baseada em problemas: uma experiência no ensino fundamental. *Educação em Revista*, v. 37, n. 1, p. 1-28, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/qWyNpvw94bycsjL9Qw6pZxC/>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Educação Infantil e Ensino Fundamental. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018. Disponível em:

http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf.

Acesso em: 16 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018.

Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/abril-2018-pdf/85121-bncc-ensino-medio/file>. Acesso em: 16 dez. 2024.

BROOKHART, Susan M. How to create and use rubrics for formative assessment and grading. Alexandria, VA: ASCD, 2013. 159 p. ISBN 978-1-4166-1507-1.

CAMPOS, Dirson Santos de; FERREIRA, Deller James. Um Estudo Exploratório do uso de Rubricas Pedagógicas para Avaliar a Aprendizagem Corregulada e a Regulação Compartilhada de Estudantes de Disciplinas Introdutórias de Programação. *In: CONGRESSO SOBRE TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO (CTRL+E)*, 8. , 2023, Santarém/PA. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023 . p. 370-379. DOI: <https://doi.org/10.5753/ctrl.e.2023.232953>.

CAMICO, A. C. da S.; GOMES, T. A.; NICOT, Y. E. Aprendizagem ativa, formação e desenvolvimento de conceitos científicos de termodinâmica. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, Brasil, São Paulo, v. 8, n. 18, p. e082021, 2025. DOI: 10.55892/jrg.v8i18.2021. Disponível em: <https://www.revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/2021>. Acesso em: 20 nov. 2025.

CASTRO, Nandjara Novo. Vigotski: os conceitos espontâneos e científicos. *RELACult*, v. 5, n. 4, 2019.

CASTRO, Leidiane da Luz. A Teoria de Vygotsky aplicada ao ensino de física. 2016. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/5422>. Acesso em: 19 nov. 2025. CARVALHO, A. M. P. (org.).

Ensino de Ciências por investigação: condições para o ensino em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. Transferência de calor e massa: uma abordagem prática. Tradução de Fátima A. M. Lino. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Termodinâmica. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

CHAIKLIN, Seth. A zona de desenvolvimento próximo na análise de Vygotsky sobre aprendizagem e ensino. Tradução de Juliana Campregher Pasqualini. *Psicologia em Estudo*, Maringá, PR, v. 16, n. 4, p. 659-675, out./dez. 2011.

CHEMIN, Arsène et al. Heat transfer and evaporative cooling in the function of pot-in-pot coolers. *American Journal of Physics*, v. 86, n. 3, p. 206-211, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.5016041>. Acesso em: 8 nov. 2025.

CICLOVIVO. Geladeira de argila pode refrigerar alimentos sem eletricidade. *CicloVivo*, 12 nov. 2024. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/inspiracao/geladeira-de-argila-pode-refrigerar-alimentos-sem-eletricidade/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CHITOLINA, Diogo; SANTOS, Paulo José Sena dos. Uma revisão de escopo sobre a relação entre a motivação estudantil e o uso do arduino no ensino da física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 20., 2024, [S. l.]. Anais [...]. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2024. p. 1-8..

COELHO, Luana; PISONI, Silene. Vygotsky: sua teoria e a influência na educação. *Revista e-Ped – FACOS/CNEC Osório*, v. 2, n. 1, p. 144-152, ago. 2012. Disponível em: https://facos.edu.br/publicacoes/revistas/eped/agosto_2012/pdf/vygotsky_-_sua_teor%C3%ADa_e_a_influ%C3%AAncia_na_educacao.pdf. Acesso em: 7 nov. 2025.

CORDOVA, H.; AGUIAR JR, O. Arduino no ensino de física: das demonstrações à exploração experimental de baixo custo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 4, e4502, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0105>. Acesso em: 20 dez. 2025.

CORRÊA, Marcelo Bomfim; MOREIRA, Júlio Cesar dos Santos; QUEIROZ, Gloria Regina Pessoa Campello. Formação de professores de física: desenvolvendo um referencial pedagógico, tecnológico e de conteúdo. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 20., 2024, [S. l.]. Anais [...]. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2024. p. 1-8

Costa Amorim, L. L., Cazadini Carlos, M. M., & Medeiros Marcolano Thebas, A. A. (2017). A IMPORTÂNCIA DA FORMAÇÃO CONTINUADA NA PRÁTICA DOCENTE. *Revista Univap*, 22(40), 633. <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1320>.

EVANGELISTA, Fábio Lombardo; CHAVES, Lara Tibolla. Da sucata à Física: uma proposta para o ensino de gases perfeitos e da primeira lei da termodinâmica com mediação de instrumentos e signos. *A Física na Escola*, v. 19, n. 1, p. 1–11, 2019. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol19-Num1/FNE-19-1-200501.pdf>.

Acesso em: 3 fev. 2026.

ECOLMEIA. Geladeira de argila ecológica atinge 8 °C. Ecolmeia, [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://ecolmeia.org.br/geladeira-de-argila-ecologica-atinge-8oc/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

Formação continuada: a importância da formação docente. Eventos Pedagógicos, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 132–141, 2011. DOI: [10.30681/rep.v2i2.9098](https://periodicos.unemat.br/index.php/rep/article/view/9098). Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/rep/article/view/9098>. Acesso em: 22 jan. 2026.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Volatilidade. Mundo Educação, Mundo Educação, s.d. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/por-que-os-metais-parecem-mais-frios-que-madeira.htm>. Acesso em: 22 jan. 2026.

FERREIRA, Álex de Carvalho. Experimentação no ensino de Física: enfoque no processo de ensino e aprendizagem. Revista de Iniciação à Docência, v. 8, n. 1, e11959, 2023. DOI: 10.22481/riduesb.v8i1.11959.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. de C. Atividades experimentais de Demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 2, p. 227 – 254, 2016.

GASPAR, Antônio José de Oliveira; MONTEIRO, Elisa Maria Ribeiro. O Ensino de Física Experimental nas Escolas Públicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA, 2016. Anais... [S. l.]: [S. n.], 2016.

GOMES, E. C.; FRANCO, X. L. S. O.; ROCHA, A. S. Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino de Física. Araguaína: EDUFT, 2020.

GUIMARÃES, Ueudison Alves; SILVA, Laíse Bacelar; FIGUEIREDO, Deolinda Angela de Araújo de. Tecnologias da Informação e Comunicação: Uma perspectiva do Ensino Aprendizagem no Contexto Atual. Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2024. DOI: 10.29327/5395368. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/744763/2/Tecnologias%20Da%20Informa%C3%A7%C3%A3o%20-%20digital.pdf>

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. Física. Vol. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. Vol. 2. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física – Termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HARARI, Yuval Noah. Sapiens: uma breve história da humanidade. Tradução de Janaína Marco antonio. Porto Alegre: L&PM, 2015.

JR., John W. J.; SERWAY, Raymond A. Física para cientistas e engenheiros. Vol. 2. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

JÚNIOR, S. L. C. G.; MOTA, M. A. L.; REIS, P. R.; BEZERRA, A. S. A disciplina de física no ensino médio: as dificuldades de aprendizagem na voz dos discentes do 2º ano de uma escola estadual em São Gabriel da Cachoeira/AM. **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFAM**, v. 11, n. 2, 2017.

KARPOV, Yuri V. Vygotski e os conceitos científicos: implicações para a educação contemporânea. Obutchénie. Revista de Didática e Psicologia Pedagógica, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 1–25, 2019. DOI: [10.14393/OBv3n2.a2019-51565](https://doi.org/10.14393/OBv3n2.a2019-51565). Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/Obutchenie/article/view/51565>. Acesso em: 7 jan. 2026.

KENSKI, V. M. Educação e Tecnologias: o novo ritmo da informação. 8ª ed. Campinas, SP: Papirus, 2012.

KENSHIMA, G. Introdução ao Fritzing. Blog Maker Hero, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/introdução-ao-fritzing/>. Acesso em: 22 out. 2024.

KIPPER, L. B. et al. Alumínio – uma análise do seu contexto histórico, da reciclabilidade à transmissão energética. In: Engenharia no Século XXI – Volume 5. [S. l.]: Editora Poisson, 2024. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/LianeKipper/publication/379649821_Aluminio_-_uma_analise_do_seu_contexto_historico_da_reciclabilidade_a_transmissao_energetica/links/667c7ccd2aa57f3b824f6176/Aluminio-uma-analise-do-seu-contexto-historico-da-reciclabilidade-a-transmissao-energetica.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.

LAL BASEDIYA, A.; SAMUEL, D. V.; BEERA, V. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - a review. J Food Sci Technol, v. 50, n. 3, p. 429-42, jun. 2013. DOI: 10.1007/s13197-011-0311-6.

LEÃO, Núbia Maria Menezes; KALHIL, Josefina Barrera. Concepções alternativas e os conceitos científicos: uma contribuição para o ensino de ciências. Latin-American Journal of Physics Education, v. 9, n. 4, p. 4601-4603, 2015. Disponível em: http://www.lajpe.org/dec15/4601_Nubia.pdf. Acesso em: 22 jan. 2026.

LLERENA-ESPINOZA, Edith María *et al.* La rúbrica en el proceso de enseñanza-aprendizaje en plataformas educativas. [S. l.]: SciELO Preprints, 5 abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.8391>. Acesso em: 23 jan. 2026.

LIMA JUNIOR, José Gidauto dos Santos. Atividades experimentais com Arduino Abordando fundamentos da Cinemática, Termometria e Eletrodinâmica na escola Estadual de Ensino Médio Dr. Gabriel Sales Pimenta em Marabá (PA). 2019. 158 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Marabá, 2019. Disponível em: <https://ri.unifesspa.edu.br/handle/123456789/2640>. Acesso em: 22 Jan.2026.

MINÉ, A. S.; SOUSA, F. C. S.; LOPES, R. P. A metodologia científica como instrumento transformador no processo de pesquisa acadêmica. *Revista Multidisciplinar*, v. 23, n. 1, p. 1–14, 2020.

MIHELIC, J. R., ZIMMERMAN, J. B., RAMASWAMI, A. Integrating Developed and Developing World Knowledge into Global Discussions and Strategies for Sustainability. 1. Science and Technology. *Environmental Science & technology*. v.41, n.10, p. 3415-3521, 2007.

MCROBERTS, M. Arduino Basico. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. *Teorias da aprendizagem*. 2. ed. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do professor de física*, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

MOREIRA, R. A.; SILVA, C. R.; FERREIRA, L. F. G. A UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO EM SALA DE AULA: Um Estudo de Caso. In: JORNADA CIENTÍFICA E MOSTRA DE EXTENSÃO DO IFSULDEMINAS, 4., 2018, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: IFSULDEMINAS, 2018. Disponível em: <https://memoriajornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcmch4/jcmch4/paper/viewFile/3546/239>. Acesso em: 23 out. [2024].

NETO et al. Metodologias Ativas: Teorias de Aprendizagem. *Revista Unitins*, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://revista.unitins.br>. Acesso em: 7 ago. 2024.

NEWTON, H.; HELOU, A.; GUALTER, J. Física. São Paulo: Ática, 2016.

NÓVOA, António. Formação de professores e profissão docente. In: NÓVOA, António (coord.). Os Professores e a sua Formação. 3. ed. Lisboa (Portugal): Publicações Dom Quixote, 1997. p. 15-33.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor. v. 2, 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2014.

OLIVEIRA, A. A. S.; MARINHO, Í. M. M.; BRANDÃO, I. R. Uma Breve Análise das Contribuições de VYGOTSKY para a Educação. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 6., 2019, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Realize, 2019. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV127_MD4_SA4_ID7014_25092019195355.pdf. Acesso em: 7 nov. 2025.

OLIVEIRA, M. K. Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento - um processo sócio-histórico. São Paulo: Scipione, 1993. Acesso em: 4 mar. 2025.

PACCA, J. L. D. A.; VILLANI, A. A formação continuada do professor de Física. Estudos Avançados, v. 32, n. 94, p. 57–71, 2018. DOI: 10.1590/s0103-40142018.3294.0005.

PÁGINA OFICIAL DO SCIDAVIS. SciDAVis. [S. l.]: [S. n.]. Disponível em: <http://scidavis.sourceforge.net/>. Acesso em: [Inserir data de acesso].

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Um exemplo de "distribuição social da mente" em uma aula de Física quântica. Ciência & Educação, Bauru, v. 18, n. 2, p. 257-270, 2012.

PEREIRA DA SILVA, Edson; TAVARES LIRA, Marcos Antônio. A UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE ELETRODINÂMICA. Revista do Professor de Física, v. 6, n. Especial, p. 78–87, 2022. DOI: 10.26512/rpf.v1i1.45934. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/45934>. Acesso em: 6 fev. 2025.

PIERRE, Perrenoud. Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PIFER, Anderson; AURANI, Katya Margareth. A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, p. 1603, 2015.

RAMALHO, F. P.; NICOLAU, M. C.; TOLEDO, P. A. Física: Conceitos e Contextos. São Paulo: Moderna, 2009.

REGO, Teresa Cristina. Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/volatilidade-1.htm>> acesso : 25 nov. 2025.

RIBEIRO, B. T. O. As dificuldades no Ensino de Física: Uma Análise da Educação Básica. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5., 2022, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Realize,

2022.

Disponível

em:

http://mail.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2022/TRABALHO_EV174_MD1_ID9330_TB293_20062022113325.pdf. Acesso em: 29 jul. 2024.

SILVA, Carla Daniella Pereira da. Avaliação do desempenho de uma embalagem termo-ativa para produtos alimentares refrigerados utilizando materiais de mudança de fase. 2020. Dissertação (Mestrado em Tecnologias de Produção e Transformação Agroindustrial) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2020.

SILVA, T. G. da; LOYOLA, G. V.; OLIVEIRA, K. G. Propagação do calor – utilização do Arduino no processo de ensino e aprendizagem com a aplicação da metodologia ativa Team Based Learning (TBL). Caderno Pedagógico, v. 21, n. 6, e5023, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n6-176.

Disponível

em:

<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/5023>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SILVÉRIO, A. A. As dificuldades no ensino/aprendizagem da Física. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105360>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SOUSA, S. S. F. de. Utilização da plataforma Arduino no processo de ensino/aprendizado de fundamentos de eletricidade na física. Research, Society and Development, v. 13, n. 3, e5213345227, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i3.45227. Acesso em: 23 out. 2024.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros. Vol. 1. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. Física para Cientistas e Engenheiros. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

URUKAWA, Claudio Hiroyuki. Termoscópio de Galileu. Laboratório de Demonstrações de Física, Universidade Federal do Pará (UFPA). s.d. Disponível em: <https://labdemon.ufpa.br/fisica-termica/termoscopio-de-galileu>. Acesso em: 22 jan. 2026.

UFPR (Universidade Federal do Paraná). Alumínio e Suas Ligas. Material Didático do Departamento de Engenharia Mecânica, Curitiba, [s.d.]. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Sheid/Aula_Aluminio.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.

VASCONSELOS et al. Metodologia Ativas no Ensino Superior: Um relato da Monitoria da Psicologia Educacional. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5., 2018, Olinda.

Anais... Olinda: Realize, 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_MD1_SA1_ID_10461_17092018183048.pdf. Acesso em: 26 jul. 2024.

VIGOTSKI, Lev S. A construção do pensamento e da linguagem. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. Pensamento e linguagem. Tradução de Nelson Jahr Garcia. São Paulo: Martins Fontes, 2008. Disponível em: <http://www.jahr.org>. Acesso em 07 de jan. 2026.

VIGOTSKII, Lev Semenovich; LURIA, Alexander Romanovich; LEONTIEV, Alex N. Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem. Tradução de Maria da Pena Villalobos. 11. ed. São Paulo: Ícone, 2010.

Vigotski: os conceitos espontâneos e científicos. RELACult - Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade, [S. l.], v. 5, n. 4, 2019. DOI: 10.23899/relacult.v5i4.1137. Disponível em: <https://periodicos.claec.org/index.php/relacult/article/view/1137>. Acesso em: 21 nov. 2025.

VYGOTSKY, Lev S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. A formação social da mente. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VYGOTSKY, L. S. Pensamento e linguagem. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

VYGOTSKY, L. S. Pensamento e linguagem. Edição eletrônica. [S. l.]: Ed Ridendo Castigat Mores. Disponível em: <https://www.institutoelo.org.br/site/files/publications/5157a7235ffccfd9ca905e359020c413.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

VYGOTSKY, L. S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991

YAHAYA, S. A.; AKANDE, K. A. Development and performance evaluation of pot-in-pot cooling device for Ilorin and its environ. USEP: Journal of Research Information in Civil Engineering, v. 15, n. 1, 2018.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. O ensino por investigação no contexto da formação de professores de Ciências. Revista Ciência & Educação, v. 17, n. 3, p. 573–588, 20

ZOMPERO, Andreia de Freitas; ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de; MASTELARI, Tânia Belizario; VAGULA, Edilaine. Ensino por investigação e aproximações

com a aprendizagem baseada em problemas. Debates em Educação, [S. l.], v. 11, n. 25, p. 222–239, 2019. DOI: 10.28998/2175-6600.2019v11n25p222-239. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/7740>. Acesso em: 19 dez. 20



Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos

Jacquecélia de Souza

Prof. Dr. Giovani Manzeppi Faccin



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

POLO 45

PRODUTO EDUCACIONAL

Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica

Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos

Jacquecélia de Souza

Giovani Manzeppi Faccin

Dourados -MS

Março/2026

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é parte integrante da dissertação de mestrado intitulada “Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos”. O trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), junto ao Polo 45 da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Sou uma professora com pouco tempo de experiência na área de ensino básico, mas com uma atuação intensa e dedicada. Desde o início da minha carreira, em 2021 tenho buscado inovar minhas aulas, indo além dos métodos puramente tradicionais. Tenho procurado tornar o ensino de física mais engajador e relevante para os estudantes. Para alcançar esse objetivo na minha prática pedagógica tenho tentado fazer uso de experimentos de baixo custo, utilizar recursos tecnológicos e buscar por conectar os conceitos científicos ao cotidiano dos alunos.

Este material didático foi desenvolvido como um recurso de apoio ao ensino de Física, unindo a fundamentação teórica da Termodinâmica à prática tecnológica da cultura maker. Este produto educacional está organizado em dois eixos complementares:

- **SEQUÊNCIA DIDÁTICA:** Planejamento estruturado dos objetivos, competências e do percurso pedagógico baseado na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).
- **CADERNO DO PROFESSOR:** Guia prático com roteiros de montagem, códigos para o Arduino, orientações de mediação e gabaritos para as atividades experimentais.

O trabalho tem como objetivo principal promover a aprendizagem dos conceitos de temperatura, calor e evaporação por meio de uma proposta que articula aulas teóricas a atividades experimentais de caráter lúdico e interativo. A fundamentação teórica está ancorada nos pressupostos da teoria histórico-cultural de Lev Vygotsky, com ênfase na mediação pedagógica e na construção do conhecimento no contexto social da aprendizagem.

Este produto educacional foi desenvolvido por meio de uma abordagem de metodologias ativas por investigação, culminando em uma proposta prática para o ensino da Termodinâmica utilizando Arduino e vasos cerâmicos. A proposta utiliza esses recursos didáticos com o intuito de favorecer a compreensão dos fenômenos térmicos por parte dos estudantes, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais significativo.

Esta sequência didática está estruturada da seguinte forma:

- a) Apresentação;
- b) Habilidades e o objeto de conhecimento;
- c) Objetivos pedagógicos;
- d) Referencial teórico;
- e) Metodologia e roteiros de atividades;
- f) Apresentação do Arduino e instruções para download e instalação do software;
- g) Apresentação do SciDAVis instruções para download e instalação do software;
- h) Arduino como ferramenta educacional
- i) Aplicação do produto educacional e a sequência didática;
- j) Tabelas para colocar dados coletados;
- k) Plano de intervenção;
- l) Referências;
- m) Apêndice A. Tutorial de como baixar o software Arduino (IDE);
- n) Apêndice B. Tutorial software SciDAVis;
- o) Apêndice C. Esquema montado no Fritzing;
- p) Apêndice D. Código fonte de programação;

SUMÁRIO

1 HABILIDADES	5
1.1 JUSTIFICATIVA.....	6
1.2 OBJETIVOS PEDAGÓGICOS	6
1.2.1 Objetivo Geral	6
1.2.2 Objetivos Específico	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTO CONCEITUAL	9
2.1 Desafios do Ensino de Física.....	9
2.2 A Construção do Conhecimento: Contribuições de Vygotsky	11
2.3 Fundamentação Conceitual sobre Temperatura.....	12
2.3.1 Temperatura	12
2.3.2 Conversão de Escalas Termométricas	17
2.4 CALOR.....	17
2.4.1 O conceito de Calor e Equilíbrio Térmico	17
2.4.2 Unidades de Calor: do Calórico ao Joule	18
2.4.3 Calor Específico e Capacidade Térmica.....	19
2.4.4 Calor Específico	19
2.4.5 Calor Latente	20
2.5 Fenômeno da Evaporação e Mudanças de Fase	20
2.6 O Resfriamento Evaporativo: Princípio Físico dos Vasos Cerâmicos.....	22
2.7 Arduino como Ferramenta Educacional.....	23
2.8 SciDAVis.....	25
3 METODOLOGIA	26
4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO.....	28
5 AULA EXPERIMENTAL - AULA 5.....	42
5.1 ROTEIRO PARA EXPERIMENTOS - AULA 6.....	44
6 SÍNTESE FINAL E FEEDBACK DOCENTE	82
REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE A - TUTORIAL DE COMO BAIXAR O SOFTWARE ARDUINO (IDE)	100
APÊNDICE B - TUTORIAL SOFTWARE SCIDAVIS.....	104
APÊNDICE C – ESQUEMA DO CIRCUITO MONTADO NO FRITZING.....	110
APÊNDICE D – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO	11

1 HABILIDADES DA BNCC

As habilidades que foram selecionadas da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), listadas no quadro 1, orientam desenvolvimento da sequência didática e garantem a articulação entre os conteúdos de Física e as competências gerais do ensino médio.

Quadro 1 - Habilidades da BNCC e objetos de conhecimento

Habilidade	Objeto de Conhecimento
(MS.EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).	Aplicação dos conceitos de calorimetria em sistemas de ocorrências de trocas de calor, transformação de energia e variações de temperatura.
(MS.EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.	Estudo sobre os sistemas térmicos e variáveis termodinâmicas; análise dos diferentes processos de propagação do calor.
(MS.EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.	Análise do funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos com estudos sobre os sistemas de automação.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

1.1 JUSTIFICATIVA

Esta sequência didática foi desenvolvida como parte do produto educacional vinculado à dissertação “Uma Abordagem Prática para o Ensino da Termodinâmica Utilizando Arduino e Vasos Cerâmicos”. Tem como objetivo de aproximar a teoria da prática no ensino de Física. No contexto da disciplina de Física, essa abordagem permite o desenvolvimento de um ensino mais lúdico e interativo, facilitando a compreensão dos conceitos termodinâmicos de maneira mais acessível e aplicada. A proposta integra experimentação, tecnologia e materiais acessíveis, permitindo que os estudantes investiguem fenômenos térmicos por meio de atividades concretas e medições reais. Ao utilizar o Arduino associado a um sistema evaporativo com vasos cerâmicos, busca-se favorecer o ensino e aprendizagem, no qual os alunos relacionam conceitos abstratos da Termodinâmica a situações observáveis e contextualizadas.

1.2 OBJETIVOS PEDAGÓGICOS

Os objetivos pedagógicos desta sequência didática orientam o planejamento das atividades e fundamentam as escolhas metodológicas adotadas. Eles visam promover a construção do conhecimento por meio da mediação social e instrumental, articulando a teoria, a prática e também favorecer o desenvolvimento dos estudantes por meio de estratégias investigativas e do uso de tecnologias educacionais. A seguir, apresentam-se o objetivo geral e os objetivos específicos da proposta.

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar uma sequência didática utilizando metodologias ativas, considerando os conhecimentos prévios dos alunos e fundamentada na perspectiva histórico-cultural de Vygotsky. A proposta utilizará vasos de cerâmica para demonstrar um sistema de refrigeração sem eletricidade, incorporando materiais alternativos para explicar o processo de evaporação de diferentes líquidos. Além disso, será integrada a plataforma Arduino para medição da temperatura do sistema, abordando, de forma contextualizada, os conceitos de temperatura, calor e evaporação. Este produto educacional foi elaborado para aplicação nas turmas do 2º e 3º ano do Ensino Médio.

1.2.2 Objetivos Específicos

A seguir, são apresentados os objetivos específicos desta sequência didática.

- i. Promover o desenvolvimento de habilidades investigativas e experimentais nos estudantes;
- ii. Aplicar uma sequência didática envolvendo práticas laboratoriais mediadas pela tecnologia;
- iii. Utilizar sensores de temperatura integrados à plataforma Arduino para a coleta de evidências físicas;
- iv. Analisar a capacidade de interpretação de dados científicos pelos alunos durante a atividade;
- v. Explorar a construção dos conceitos de calor, temperatura e evaporação, sob a ótica da mediação instrumental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTO CONCEITUAL

O capítulo 2 estabelece a base teórica que sustenta a proposta pedagógica e experimental deste trabalho. Inicialmente, serão discutidos os desafios contemporâneos no ensino de física e a importância da adoção de metodologias ativas, com foco nas contribuições de Vygotsky para a construção social do conhecimento. Em seguida, será apresentada a fundamentação conceitual em termodinâmica, detalhando os conceitos de calor, temperatura e evaporação, que são o foco das atividades experimentais propostas.

2.1 Desafios do Ensino de Física

O ensino de física nas escolas se depara com uma série de desafios, como a apatia dos estudantes pela disciplina, a complexidade na interpretação de conceitos, a deficiência em conhecimentos matemáticos básicos, a dificuldade em estabelecer conexões entre a física e o cotidiano e a escassez de docentes qualificados para inovar e estimular o aprendizado que dificultam o processo de ensino e aprendizagem. Segundo Ribeiro (2023), as dificuldades no ensino de física podem estar relacionadas à falta de base matemática dos estudantes, a problemas na formação dos professores e à falta de contato com conceitos básicos de Física no ensino fundamental. Poucos professores participam de programas de formação ou atualização, o que é preocupante. Nesse contexto, a baixa adesão dos professores a programas de atualização e formação continuada é percebida como um fator limitante. Embora a educação nas universidades seja focada no conhecimento, a ausência de formação permanente a torna insuficiente para as demandas atuais, levando muitos docentes a basearem suas metodologias em práticas tradicionais e no senso comum.

Mas em que momento começam as dificuldades dos alunos com a Física? No ensino fundamental, os alunos já têm algum contato com a disciplina no 8º e 9º anos, mas o conteúdo é abordado de forma superficial. Em muitos casos, a disciplina é ministrada por professores de Ciências Biológicas. Ensinar Física no ensino fundamental não é uma tarefa fácil, pois existem deficiências básicas em Matemática que representam um obstáculo significativo para a compreensão dos fenômenos físicos.

Além disso, no ensino básico, há a falta de materiais e a ausência de laboratórios, o que limita o ensino à abordagem teórica no quadro. Essa abordagem contribui para a percepção, por parte dos estudantes, que a Física é feita apenas de fórmulas, dificultando a construção de uma

aprendizagem significativa. É fundamental que os profissionais da educação básica busquem capacitação e formação no ensino de Ciências para que aprendam a despertar a curiosidade dos alunos.

Segundo Ferreira (2023), os profissionais da educação precisam de capacitação e formação que proporcionem uma nova dinâmica no cotidiano escolar, permitindo que os estudantes superem essas dificuldades e promovam uma interação mais prazerosa com o conhecimento, entendendo sua importância no dia a dia. O papel do professor não é fornecer respostas prontas, mas sim ser um mediador na construção do conhecimento. A maneira como o aluno é orientado hoje influenciará a forma como ele conduzirá suas ações no futuro.

Carvalho (2013) reforça que propor um problema para que os alunos possam resolvê-lo é o divisor de águas entre o ensino expositivo, realizado pelo professor, e o ensino que proporciona condições para que o aluno raciocine e construa seu próprio conhecimento. Na construção do conhecimento escolar, é essencial que os alunos não apenas recebam informações passivamente, mas também se envolvam ativamente na construção de seu conhecimento. Para isso, é importante adotar estratégias de ensino que promovam a manipulação e compreensão dos conceitos físicos, incluindo experimentos que conscientizem os estudantes sobre a possibilidade de erro. Em uma aula expositiva e experimental, o conhecimento está inicialmente com o professor. No entanto, quando se propõe um problema a ser resolvido, o aluno passa a ser o construtor de seu conhecimento, sob as orientações do professor.

Segundo Carvalho (2013), ao se deparar com novas experiências, o estudante passa por momentos de desequilíbrio, que lhe motivam a modificar suas estruturas mentais e alcançar um novo estado de equilíbrio, mais complexo e abrangente. Além disso, leva em conta o conhecimento prévio do aluno é fundamental nas teorias construtivistas, que indicam que não se pode começar uma aula ou conteúdo sem reconhecer o que o estudante já sabe. Com base nesses conhecimentos prévios, é possível propor problemas que relacionem a vivência do aluno com o conteúdo escolar.

(Araújo; Abib, 2003; Carvalho 2013) afirmam que, diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de propostas didáticas que articulem teoria e prática, promovendo o contato experimental desde a educação básica e favorecendo uma aprendizagem mais significativa. Nesse sentido, o uso de atividades experimentais de baixo custo, aliado a metodologias investigativas, apresenta-se como uma alternativa viável para minimizar as dificuldades identificadas no ensino de Física, especialmente em contextos escolares marcados pela escassez de recursos. Essa discussão fundamenta a proposta do produto educacional

desenvolvido nesta pesquisa, o qual foi estruturado a partir de atividades experimentais de baixo custo e de caráter investigativo, com o objetivo de favorecer o protagonismo discente e a articulação entre conceitos teóricos e situações práticas, conforme evidenciado no diagnóstico realizado no contexto escolar investigado.

2.2 A Construção do Conhecimento: Contribuições de Vygotsky

A teoria histórico-cultural de Lev Vygotsky (2007) destaca que o desenvolvimento do indivíduo ocorre por meio da interação social, sendo o aprendizado resultado das relações estabelecidas com outras pessoas e com o contexto cultural em que o estudante está inserido. Nessa perspectiva, o conhecimento não é construído de forma isolada, mas mediado por instrumentos sociais e culturais, com destaque para a linguagem. No contexto escolar, a relação professor-aluno assume papel central, uma vez que o professor atua como mediador do processo de aprendizagem. Essa mediação ocorre por meio de diferentes artefatos culturais, como a linguagem oral e escrita, os símbolos, os instrumentos didáticos e as situações-problema propostas em sala de aula.

A linguagem, em especial, é compreendida por Vygotsky como um instrumento fundamental para o desenvolvimento do pensamento, pois permite ao estudante organizar ideias, compartilhar significados e reconstruir conhecimentos de maneira consciente (Vygotsky, 2008). A interação em sala de aula vai além da comunicação direta entre professor e aluno. O estudante também interage com os colegas, com os conteúdos abordados, com os problemas apresentados e com os valores culturais presentes no ambiente escolar. Essas interações favorecem a construção coletiva do conhecimento e contribuem para o desenvolvimento intelectual e social dos alunos.

Um conceito central da teoria de Vygotsky (2007) é a Zona de Desenvolvimento Proximal, definida como a distância entre aquilo que o aluno é capaz de realizar de forma autônoma (nível de desenvolvimento real) e o que ele consegue realizar com o auxílio de um adulto ou de colegas mais experientes (nível de desenvolvimento potencial). Nesse sentido, o aprendizado ocorre de maneira mais eficaz quando o professor propõe desafios adequados e oferece suporte pedagógico, permitindo que o estudante avance gradualmente em sua compreensão.

Carvalho (2013) afirma que, sob a teoria de Vygotsky, o professor deixa de ser apenas um transmissor de conteúdos e passa a assumir o papel de mediador, organizando situações

didáticas que estimulem o diálogo, a cooperação e a resolução de problemas. Ao considerar os conhecimentos prévios dos alunos e propor atividades investigativas, o docente cria condições para que os estudantes participem ativamente da construção do conhecimento, favorecendo uma aprendizagem mais significativa no ensino de Física.

À luz dessas contribuições teóricas, o produto educacional desenvolvido nesta pesquisa fundamenta-se nos pressupostos da teoria histórico-cultural de Vygotsky, ao propor situações de ensino que valorizam a interação social, a mediação docente e a participação ativa dos estudantes. As atividades que compõem o produto foram estruturadas de modo a favorecer o trabalho colaborativo, o diálogo e a resolução de problemas, permitindo que os alunos avancem de seus conhecimentos prévios para níveis mais complexos de compreensão, com o apoio do professor e dos colegas. Dessa forma, o produto busca explorar a Zona de Desenvolvimento Proximal dos estudantes, promovendo a articulação entre teoria e prática e contribuindo para uma aprendizagem mais significativa no ensino de Física.

2.3 Fundamentação Conceitual sobre Temperatura

O estudo do calor representa uma das bases fundamentais da termodinâmica, ramo da Física que investiga as transformações e transferências de energia entre corpos. Desde os primeiros experimentos sobre o comportamento térmico da matéria, os cientistas buscaram compreender como a energia térmica se manifesta e influencia os fenômenos naturais, como o aquecimento, a evaporação e as mudanças de estado físico. Com o avanço dos estudos, principalmente a partir das contribuições de Joule e da formulação das Leis da Termodinâmica, o calor passou a ser entendido não como uma substância material, mas como uma forma de energia em trânsito, que se transfere de um corpo a outro em virtude da diferença de temperatura. Assim, compreender os conceitos de temperatura, calor, escalas termométricas, capacidade térmica e calor específico é essencial para a análise dos processos energéticos que ocorrem na natureza e nas aplicações tecnológicas, como os sistemas de refrigeração, aquecimento e controle térmico automatizado.

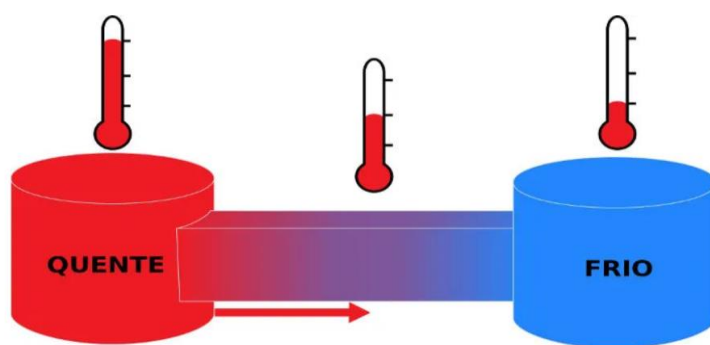
2.3.1 Temperatura

Para compreender os fenômenos de temperatura, calor e evaporação, é essencial abordar previamente as grandezas físicas fundamentais da termodinâmica. Entre elas, destacam-se as

escalas termométricas, os modos de transferência de calor, a capacidade térmica, as mudanças de fase e o calor latente. Além disso, a evaporação, os fatores que a influenciam, o calor latente de vaporização e o resfriamento evaporativo desempenham papéis centrais na análise desses processos. A temperatura, no contexto da termodinâmica, é uma propriedade macroscópica fundamental de um sistema, responsável por determinar seu equilíbrio térmico com outros sistemas. Dois sistemas encontram-se em equilíbrio térmico quando, ao serem colocados em contato, não ocorre troca de calor entre eles.

A temperatura é o parâmetro que estabelece a direção natural do fluxo de calor: esse fluxo ocorre espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

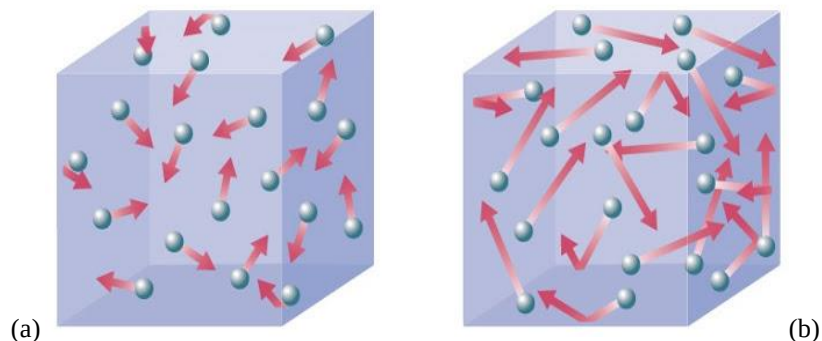
Figura 1- Representação esquemática do fluxo de calor entre dois corpos de diferentes temperaturas.



Fonte: Helerbrock [s.d.] adaptada pela autora.

A Figura 1 representa a relação entre temperatura, agitação molecular e transferência de calor. Corpos a maior temperatura apresentam maior agitação molecular, o que corresponde a uma maior energia cinética média de suas partículas, enquanto corpos a menor temperatura possuem menor agitação molecular e, conseqüentemente, menor energia cinética média. Nessas condições, o calor é compreendido como energia em trânsito, transferida espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. O processo de transferência de calor prossegue até que se estabeleça o equilíbrio térmico, situação em que as temperaturas dos corpos se igualam e não há mais fluxo líquido de calor entre eles. No nível microscópico, essa relação é descrita pela Teoria Cinética dos Gases, segundo a qual a temperatura absoluta é proporcional à energia cinética média das moléculas.

Figura 2 - Representação microscópica da relação entre temperatura e agitação térmica



Fonte: Valim [s.d].

A figura 2 ilustra essa relação na imagem (a) observa-se um sistema a menor temperatura, caracterizado por menor agitação das partículas, enquanto na imagem (b) observa-se um sistema a maior temperatura, com maior agitação térmica das partículas.

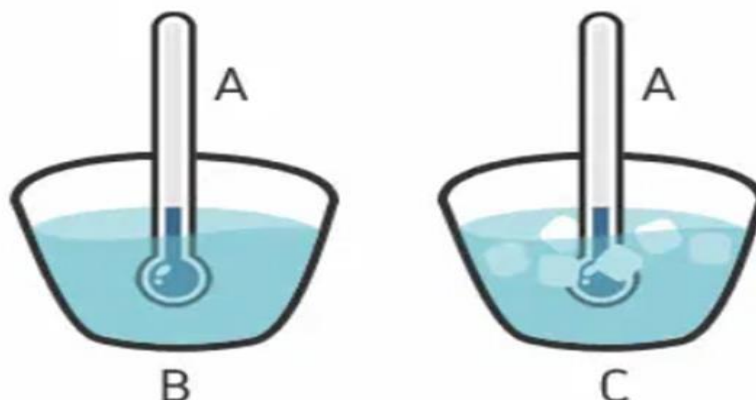
Segundo Nussenzveig (2002) a escala termodinâmica de temperatura (Kelvin) é definida com base no ponto triplo da água, estabelecido como 273,16 K, e no zero absoluto (0 K), condição em que cessaria todo movimento molecular.

Outras escalas, como Celsius e Fahrenheit, são definidas a partir de pontos de referência práticos como os pontos de fusão e ebulição da água e relacionam-se à escala Kelvin por transformações lineares. A lei zero, que estabelece a transitividade do equilíbrio térmico fundamenta a definição de temperatura.

Nesse contexto, ocorre a transferência de energia na forma de calor entre os corpos, do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura, até que ambos atinjam a mesma temperatura. Quando essa condição é alcançada, diz-se que os corpos estão em equilíbrio térmico. O equilíbrio térmico constitui o princípio fundamental expresso pela Lei Zero da Termodinâmica, a qual estabelece que a igualdade de temperatura é o critério para caracterizar o estado de equilíbrio térmico entre sistemas.

Assim, se um corpo A se encontra em equilíbrio térmico com um corpo B, e este, por sua vez, está em equilíbrio térmico com um corpo C, então os corpos A e C também estarão em equilíbrio térmico entre si. Esse enunciado sintetiza a Lei Zero da Termodinâmica e evidencia o papel da temperatura como grandeza física que permite comparar e relacionar sistemas em equilíbrio térmico.

Figura 3 - Representação esquemática da Lei Zero da Termodinâmica.



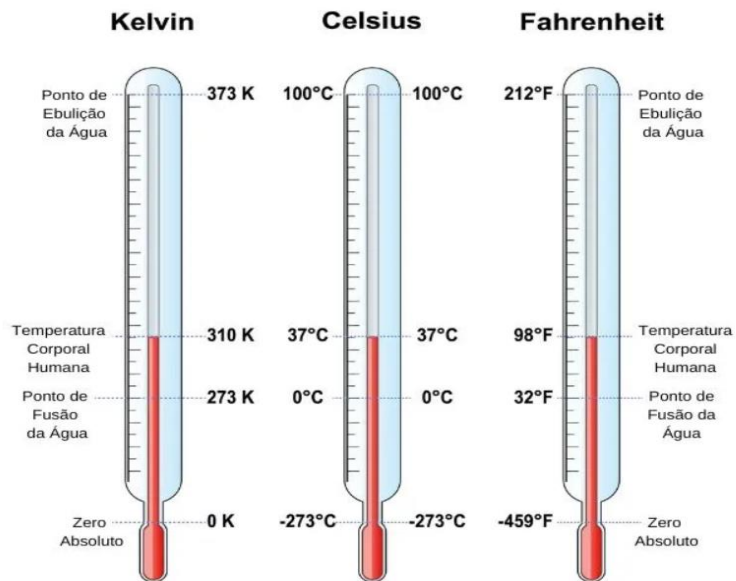
Fonte: Asth [s.d.].

Na figura 3 o termômetro (A) entra em equilíbrio térmico com os sistemas B e C separadamente. Se o termômetro indica as mesmas temperaturas em ambos os casos, conclui-se que os sistemas B e C estão em equilíbrio térmico entre si, evidenciando a transitividade do equilíbrio térmico. Podemos usar qualquer uma dessas propriedades como base para um instrumento que nos ajudará a explicar exatamente o conceito de temperatura, conforme afirmam (Halliday, Resnick e Walker, 2002, p.141).

A primeira lei da termodinâmica, por sua vez trata da conservação da energia e relaciona a variação da energia interna ao calor e ao trabalho realizados. Já a segunda lei da Termodinâmica estabelece a direção dos processos espontâneos e introduz o conceito de entropia, grandeza fortemente associada à temperatura e aos fenômenos irreversíveis.

De acordo com Halliday & Resnick, (2016), escalas termométricas mais utilizadas para medição de temperatura são as mais escalas termométricas Kelvin, Celsius e Fahrenheit.

Figura 4 - Comparação entre escalas termométricas Kelvin, Celsius e Fahrenheit



Fonte: Mello,[s.d.].

Conforme ilustra a Figura 4, as escalas termométricas Kelvin, Celsius e Fahrenheit utilizam diferentes pontos de referência para a medição de temperatura, embora apresentem relações lineares entre si.

- **Escalas Celsius (°C):** é amplamente usada no cotidiano e adotada para fins práticos pela maioria dos países. É uma escala de temperatura cuja unidade é o grau Celsius (° C). Ao nível do mar, sob pressão atmosférica padrão, o ponto de fusão da água corresponde a (°C e o ponto de ebulição a 100° C).
- **Kelvin (K):** é a escalas absoluta de temperatura, fundamentalmente utilizada na comunidade científica e em toda termodinâmica. Kelvin (K) é a unidade de base do Sistema Internacional de Unidades (SI) para a grandeza. O zero absoluto representa a menor temperatura teoricamente possível, na qual a energia térmica das partículas é mínima. A variação de temperatura é equivalente à escala Celsius, de modo 1K corresponde a 1° C ($\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}C)$) em intervalo.
- **Fahrenheit (°F):** é a escala empregada principalmente nos Estados Unidos. Nessa escala, ao nível do mar e sob a pressão atmosférica padrão, a água apresenta ponto de fusão a (32°F) e o ponto de entra em ebulição a ocorre em (212°F). Segundo Halliday, Resnick e Walker (2002), a escala Fahrenheit utiliza unidades de grau menores do que

as da escala Celsius e adota um zero de temperatura distinto, definido a partir de critérios históricos, o que resulta em uma numeração diferente para a representação dos mesmos fenômenos térmicos.

2.3.2 Conversão de Escalas Termométricas

A fórmula usada na conversão das escalas termométricas é baseada na proporção entre as variações de temperatura:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5} \quad (1)$$

onde:

- T_C é a temperatura na escala Celsius, medida em $^{\circ}\text{C}$;
- T_F é a temperatura na escala Fahrenheit, medida em $^{\circ}\text{F}$;
- T_K é a temperatura na escala Kelvin, medida em $[\text{K}]$;

2.4 CALOR

A termodinâmica, disciplina central da física, estuda a energia e as transformações que ela sofre. Se o conceito de temperatura estabelece a medida da agitação molecular média de um sistema, o calor define a maneira pela qual a energia é trocada entre sistemas devido às diferenças nessa agitação.

2.4.1 O conceito de Calor e Equilíbrio Térmico

O equilíbrio térmico caracteriza-se como o estado final alcançado por sistemas termodinâmicos em contato, quando as trocas de calor cessam e as temperaturas se equalizam. Um exemplo cotidiano desse processo ocorre no uso de sistemas de climatização: ao acionar um condicionador de ar em ambientes com elevada temperatura, promove-se a transferência de calor do recinto para o fluido refrigerante do aparelho. Esse processo de troca térmica continua até que o ambiente atinja uma temperatura preestabelecida, buscando-se o equilíbrio entre a massa de ar interna e a meta térmica do sistema.

Halliday, Resnick e Walker (2002), quando se tira um alimento de dentro do freezer e o deixamos sobre a pia da cozinha, sua temperatura aumentará até que se iguale à temperatura do ambiente. Da mesma maneira, a temperatura de uma xícara de café quente, deixado sobre a mesa, cairá até que atinja a temperatura ambiente.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2002), ao generalizar esta situação, o alimento retirado do freezer e o café quente deixado em cima da mesa podem ser descritos como um sistema com temperatura T_s e as partes da cozinha como um ambiente com temperatura T_A desse sistema. Observa-se que, se $T_s \neq T_A$ então, ambas as temperaturas irão variar até se igualarem, atingindo o que se define como equilíbrio térmico.

Essa variação nas temperaturas deve-se à transferência de energia térmica entre o sistema e o ambiente. A essa energia dá-se o nome de calor. O calor é uma forma de energia em trânsito, que é transferida de um corpo para outro em razão da diferença de temperatura. Esse fluxo ocorre sempre do corpo mais quente para o corpo mais frio, até que ambos alcancem o equilíbrio térmico. A energia térmica é uma energia interna que é composta pelas energias cinética e potencial associadas aos movimentos aleatórios dos átomos, moléculas e outros corpos microscópicos no interior de um objeto (Halliday, Resnick e Walker, 2002, p.147).

2.4.2 Unidades de Calor: do Calórico ao Joule

Inicialmente, acreditava-se que o calor era um fluído chamado “calórico”, que se deslocava entre substâncias e provocava mudanças de temperatura. Dessa ideia surgiu a unidade caloria (cal), definida como quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C para 15,5 °.

Segundo Junior e Serway (2013), mais tarde, ao se compreender que a energia térmica e a energia mecânica estão diretamente relacionadas, tornou-se desnecessário manter unidades específicas para processos térmicos. O joule (J), já estabelecido como unidade de energia mecânica passou a ser utilizado, também, na descrição de fenômenos térmicos. Com isso, cientistas têm abandonado cada vez mais o uso da caloria e do Btu (unidade térmica Britânica) definido como a energia necessária para aquecer 1 libra de água de 63 °F para 64 °F adotando o joule como padrão.

2.4.3 Calor Específico e Capacidade Térmica

A capacidade térmica (C) de um objeto é a constante de proporcionalidade entre o calor (Q) absorvido ou perdido pelo objeto e a sua variação de temperatura ΔT , ou seja:

$$Q = C \cdot \Delta T = C \cdot (T_f - T_i) \quad (2)$$

na qual T_f e T_i são as temperaturas final e inicial, respectivamente. A capacidade térmica é medida em unidades de energia por temperatura (J/K). A capacidade térmica depende também da substância que constitui o corpo. Ela é a razão entre a quantidade de calor trocada (Q) e a variação de temperatura (ΔT):

$$c = \frac{Q}{\Delta T} \quad (3)$$

Onde $\Delta T = T_f - T_i$ são as temperaturas final e inicial.

2.4.4 Calor Específico

Para comparar a facilidade com que diferentes substâncias se aquecem (água, metal, areia), definimos uma grandeza que não depende da massa do objeto: o calor específico (c). O calor específico (c) é a quantidade de calor necessária para elevar em de 1 °C a temperatura de uma unidade de massa (1g ou 1kg) de uma determinada substância. A água possui um alto calor específico ($\approx 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}} ^\circ\text{C}$), o que significa que ela precisa absorver ou perder uma grande quantidade de calor para que sua temperatura mude.

Metais possuem um baixo calor específico ($\approx 0,1 \frac{\text{cal}}{\text{g}} ^\circ\text{C}$), o que significa precisou de uma pequena quantidade de calor para mudar sua temperatura, utensílios fabricados com metais apresentam variações de temperatura acentuadas em curtos intervalos de tempo, facilitando trocas térmicas rápidas com o meio. A relação entre o calor específico e a massa do corpo e a capacidade térmica pode ser expressa pela seguinte equação:

$$C = m \cdot c \quad (4)$$

A quantidade de calor Q associada a uma variação de temperatura pode ser determinada a partir da capacidade térmica do corpo e do intervalo de temperatura considerado. Como a capacidade

térmica depende da massa do corpo e do calor específico da substância que o constitui, a quantidade de calor trocada em um processo térmico está diretamente relacionada a esses fatores. Dessa forma, a quantidade de calor absorvida ou cedida por um corpo pode ser expressa pela equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m.c.\Delta T \quad (5)$$

Essa relação mostra a variação térmica de um corpo depende da massa envolvida, da natureza do material, representada pelo calor específico e da variação de temperatura sofrida pelo sistema. Quando essa troca de calor ocorre sem alteração do estado físico da substância, o processo é denominado calor sensível, caracterizando situações em que apenas a temperatura do corpo se modifica.

2.4.5 Calor Latente

O calor latente é a energia térmica que um corpo absorve ou perde para mudar de fase mantendo a temperatura constante ($\Delta T = 0$). O efeito dessa energia é usado para romper ou formar as ligações entre as moléculas, transformando o material. O calor latente é definido por:

$$Q = m.l \quad (6)$$

onde (L) é o calor latente de fusão ou vaporização, característico de cada substância.

2.5 Fenômeno da Evaporação e Mudanças de Fase

Os estados ou fases da matéria mais comum no cotidiano são: sólido, líquido e gasoso. A água é um exemplo clássico, podendo ser encontrada nesses três estados: como gelo sólido, água líquida e vapor d'água gasoso.

No estado sólido, as forças de coesão são intensas, o que limita o movimento das partículas a pequenas vibrações em torno de posições praticamente fixas. O sólido apresenta forma e volume definidos.

No estado líquido, as partículas estão mais afastadas e possuem maior liberdade de movimento em relação ao estado sólido, o que reduz as forças de coesão. O líquido apresenta volume definido, mas sua forma depende do recipiente que o contém.

No estado gasoso, a elevada energia cinética das partículas supera as forças de coesão intermolecular, as quais tornam-se desprezíveis. Esse cenário resulta em um grande espaçamento médio entre as moléculas, conferindo ao sistema alta desordem e total liberdade de movimentação. Nessa fase, o gás não apresenta forma nem volume definidos.

Figura 5 – Mudanças de estado físico



Fonte: Criado por inteligência artificial.

As mudanças de estado físico apresentadas na Figura 5 representam transformações naturais que ocorrem quando uma substância recebe ou perde energia térmica. Esses processos são reversíveis e fundamentais para compreender fenômenos cotidianos, como a evaporação da água, a formação do gelo e a condensação do vapor atmosférico. Cada mudança de estado está associada a variações nas interações entre as partículas da matéria, sem alterar sua composição química, permitindo que o mesmo material exista em diferentes estados conforme as condições de temperatura e pressão.

As principais mudanças são:

- Fusão: sólido $\rightarrow$ líquido
- Solidificação: líquido $\rightarrow$ sólido
- Sublimação: sólido $\rightarrow$ gasoso
- Ressublimação: gasoso $\rightarrow$ sólido
- Liquefação ou condensação: gasoso $\rightarrow$ líquido

- Vaporização ou evaporação: líquido → gasoso

No contexto deste trabalho, o foco está na evaporação, que é o processo de vaporização lento que ocorre na superfície do líquido em qualquer temperatura, sendo o princípio físico por trás do resfriamento dos vasos cerâmicos.

2.6 O Resfriamento Evaporativo: Princípio Físico dos Vasos Cerâmicos

A evaporação é um processo de mudança de fase no qual as moléculas da superfície de um líquido adquirem energia suficiente para vencer as forças intermoleculares e se desprendem para o estado gasoso. Segundo Çengel e Boles (2013), esse fenômeno ocorre mesmo em temperaturas inferiores ao ponto de ebulição, sendo fortemente influenciado pela temperatura, pressão e umidade relativa do ar. Durante o processo, parte da energia térmica do líquido é convertida em energia latente de vaporização, o que provoca diminuição da temperatura do líquido remanescente, caracterizando o resfriamento evaporativo.

Hallyday, Resnick e Walker (2016), explicam que, ao evaporar o líquido perde moléculas com maior energia cinética, resultando em redução na temperatura média das partículas restantes, um fenômeno que pode ser observado, por exemplo, quando o suor evapora da pele e provoca uma sensação de frescor.

Esse princípio físico é aplicado em sistemas de refrigeração natural, como os vasos cerâmicos porosos, em que a água migra pelos microporos do material e evapora continuamente, retirando calor do interior do recipiente. Essa aplicação evidencia como conceitos da termodinâmica podem ser utilizados para soluções sustentáveis e de baixo custo, promovendo a compreensão prática da relação entre transferência de calor e a mudança de fase.

2.7 Arduino como Ferramenta Educacional

O Arduino é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico de código aberto, amplamente utilizada no ensino de eletrônica e programação. A plataforma é composta por duas partes principais:

1. Uma placa de hardware contendo um microcontrolador da Atmel;

2. Um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que é o *software* responsável por permitir que os usuários desenvolvam o código utilizado pela placa.

A principal característica do Arduino é a sua linguagem de programação de alto nível, e sua Interface de Programação de Aplicativos (API) que simplifica e que facilita o processo de desenvolvimento. Embora o aprendizado de conceitos básicos de programação seja necessário, a plataforma reduz significativamente curva de aprendizado, tornando o desenvolvimento acessível até mesmo a estudantes com poucos conhecimentos prévios em eletrônica ou em linguagens de programação mais complexas.

O Arduino interage com o mundo externo através de pinos digitais e analógicos. Os pinos digitais podem ser configurados como entrada ou saída, permitindo ler dados de sensores (como botões) e controlar dispositivos (como LEDs e motores). Os pinos analógicos, por sua vez, são utilizados para ler valores contínuos, como a intensidade de luz ou a temperatura. A família Arduino oferece diversas placas com diferentes características, como o Uno, Mega e Nano, cada uma adequada a projetos específicos Bezerra (2019).

O Arduino Uno, ilustrado na Figura 4, é reconhecido por sua ampla aplicabilidade. Este modelo é equipado com um processador ATMEGA328p e oferece uma gama de opções de conectividade, incluindo 6 portas analógicas e 14 portas digitais, das quais 6 suportam saída PWM. Além disso, sua flexibilidade é acentuada pela capacidade de ser alimentado tanto por uma conexão USB quanto por um conector de alimentação externa, o que o torna ideal para uma variedade de aplicações e experimentos.

Os pinos digitais do Arduino funcionam com dois níveis lógicos: alto, com 5V, e baixo, com 0V. Esses pinos podem ser configurados como entrada para detectar os níveis de tensão de um botão (0V ou 5V), ou como saída para controlar o acendimento ou o desligamento de um LED. Já os pinos analógicos trabalham com valores de leitura de 0 a 1023, dividindo uma faixa de tensão de 0V a 5V em 1024 níveis (BEZERRA, 2019).

Nos pinos PWM (Pulse Width Modulation, ou Modulação por Largura de Pulso), é possível obter resultados analógicos por meio de um método digital. Neste produto educacional foi utilizada a placa Arduino Uno R3

Figura 6 - Arduino Uno



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A linguagem de programação utilizada na plataforma Arduino é baseada em C/C++, porém adaptada com funções simplificadas que facilitam o controle dos pinos digitais e analógicos, bem como a interação com componentes. O ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino, apresentado na Figura 5, oferece uma interface acessível para a escrita, edição e envio do código à placa, permitindo que mesmo iniciantes possam programar de forma intuitiva e organizada.

Figura 7 - Exemplo elaborado do Software IDE do Arduino

```
11
12
13
14 #define DELTAT 10 // Tempo entre leituras em segundos
15 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
16
17 #define DHTPIN 2 // Digital pin connected to the DHT sensor
18 #define DHTPINB 3 // Digital pin connected to the DHT sensor
19 // Feather HUZZAH ESP8266 note: use pins 3, 4, 5, 12, 13 or 14 --
20 // Pin 15 can work but DHT must be disconnected during program upload.
21
22 // Uncomment the type of sensor in use:
23 #define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
24 // #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
```

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

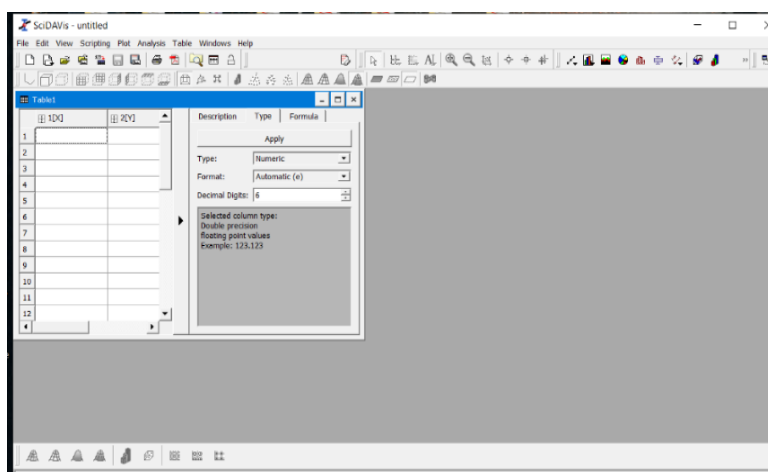
O Arduino possui uma plataforma de desenvolvimento integrada (IDE) de código aberto para programação. A IDE permite a escrita, compilação e carregamento de códigos diretamente para a placa Arduino, facilitando o desenvolvimento de projetos eletrônicos e de automação. Dessa forma, é possível criar projetos educacionais e protótipos de automação de maneira

acessível e prática. Para que o professor possa replicar o experimento descrito nesta sequência didática, é necessário instalar e configurar o ambiente de programação do Arduino. Assim, a seguir, apresenta-se um tutorial inicial com os procedimentos básicos para instalação do Arduino IDE e preparação da placa, que serão utilizados nas etapas práticas do produto educacional. O tutorial está disponível passo-a-passo no Apêndice A desta sequência didática e no link abaixo, disponível no You Tube link: <https://youtu.be/0nLkjAF5uNg>.

3.5 SciDAVis

SciDAVis é um programa gratuito e de código aberto destinado à análise de dados e criação de gráficos de alta qualidade. Possui uma interface intuitiva e adequada tanto para iniciantes quanto para usuários experientes, permitindo o uso de scripts, extensões e ferramentas avançadas. O software disponível para sistemas GNU/Linux, Windows e MacOS X. SciDAVis oferece uma alternativa livre a programas pagos, como Origin e SigmaPlot, além de alternativas gratuitas, como QtiPlot, Labplot e Gnuplot. Nesta pesquisa, o SciDAVis foi utilizado para organizar e desenhar gráficos dos dados coletados pelos sensores de temperatura do Arduino. O manual completo e o instalador do SciDAVis podem ser acessados pelos links: Página oficial para download do SciDAVis: <http://scidavis.sourceforge.net/> Manual completo do SciDAVis (em inglês): <https://highperformancecoder.github.io/scidavis-handbook/>. Acesso em: 21 jan. 2026.

Figura 8 - Software sciDAVis.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

O tutorial está disponível passo a passo no Apêndice B desta sequência didática e no link abaixo, disponível no YouTube.

O tutorial software SciDAVis está disponível no link: <https://youtu.be/oANJRBamSD4>

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Com base nos fundamentos teóricos apresentados no capítulo anterior, o presente capítulo detalha o itinerário de aplicação e os roteiros de atividades experimentais que compõem o produto educacional. Para a investigação dos fenômenos, serão utilizadas diferentes tecnologias aplicadas à coleta de dados, como sensores e sistemas automatizados baseados em Arduino, além de softwares para a construção, desenho e análise gráfica dos resultados. Essa abordagem permite que os estudantes compreendam, de forma prática e investigativa, os princípios termodinâmicos relacionados ao processo de resfriamento evaporativo. A contextualização dos conteúdos com situações do cotidiano dos estudantes será fundamental para que reconheçam a relevância do estudo da Física. Em consonância com as orientações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o produto educacional buscará promover o protagonismo estudantil, incentivando a autonomia no desenvolvimento cognitivo e favorecendo a interação social no processo de ensino e aprendizagem.

Durante a pesquisa bibliográfica observam -se diversos estudos que utilizam a plataforma Arduino no ensino e aprendizagem a experimentação prática de conceitos abstratos de física.

Segundo Moreira, Silva e Ferreira (2017), um dos grandes desafios dos professores contemporâneos é manter seus alunos interessados em sala de aula. Uma das formas de manter esse interesse é a utilização de tecnologia para potencializar o aprendizado. O Arduino tem se destacado como uma ferramenta educacional eficaz no ensino de ciências exatas, permitindo que os alunos interajam diretamente com circuitos eletrônicos. Sua aplicação no ensino de física possibilita a realização de experimentos práticos de forma acessível, tornando os conceitos mais concretos e estimulando a aprendizagem ativa.

Sobre a importância das tecnologias no ensino (Silva e Lira 2022, p.2) afirmam que a utilização de plataformas tecnológicas no ensino de Física promove um maior engajamento dos alunos e possibilita a experimentação prática dos conceitos teóricos, tornando o aprendizado mais significativo. Para ilustrar isso, os autores aplicaram seu produto educacional utilizando a plataforma Arduino com o objetivo de ensinar eletrodinâmica. Esses autores observaram que o método permitiu que os estudantes trabalhassem em grupo, interagindo de maneira colaborativa, em consonância com a perspectiva de Vygotsky.

Em estudo recente, Bezerra (2024) demonstrou que a utilização do Arduino como ferramenta educacional tem se mostrado promissora, pois permite maior interatividade e

participação dos estudantes durante as aulas, possibilitando um aprendizado mais significativo e motivador. O autor, pensando em suas aulas de física, desenvolveu uma bomba simulada para que os alunos trabalhassem o conceito de eletrodinâmica. Nesse experimento, os alunos foram divididos em grupos para desarmar a bomba, o que possibilitou testar o trabalho em equipe e estimulou o raciocínio dos alunos ao calcular a forma correta para obter sucesso na atividade. De acordo com a teoria de Vygotsky (1998), o aprendizado depende das condições internas e externas do sujeito. O conhecimento do aluno é construído de acordo com material didático pedagógico associado e aulas lúdicas que instigam o aluno no seu processo de aprendizagem, sendo estes os elementos mediadores que os professores utilizam em sala de aula. Nesse contexto, o Arduino apresenta-se como um elemento mediador fundamental, pois as aulas lúdicas e experimentais que utilizam essa tecnologia instigam o aluno em seu processo de aprendizagem, permitindo que a construção do conhecimento ocorra de forma colaborativa e prática. A plataforma Arduino tem sido uma excelente ferramenta para compor a aprendizagem, na medida em que permite ilustrar o conteúdo e automatizar coleta de dados, facilitando a realização de experimentos e tornando-os mais interessantes para os alunos e professores. Esse ponto é reforçado por Sousa (2024), que destaca a importância de integrar a prática e a tecnologia à teoria.

4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

A sequência didática está estruturada em nove encontros, organizados em fases de diagnóstico, fundamentação teórica e experimentação. O processo se inicia com a Aula 1, dedicada à aplicação de um questionário prévio para o diagnóstico dos conhecimentos iniciais dos estudantes, etapa crucial para o planejamento das atividades subsequentes. As Aulas 2 e 3 são reservadas à fundamentação teórica do conteúdo, com o apoio de material didático específico. A fase de investigação e experimentação começa na Aula 4, com a aplicação de um questionário pré-experimental, culminando na Aula 5 com a coleta de dados e a aplicação de questionários pós-experimentais (individuais e em grupo). A Aula 6 foca na análise e representação gráfica dos dados utilizando o software SciDAVis. A Aula 7 é dedicada à intervenção pedagógica sobre os vasos cerâmicos e a influência de seus diferentes materiais internos. A Aula 8 consiste em um experimento de evaporação com Aprendizagem Baseada em Investigação, utilizando diferentes fluidos. O ciclo se encerra na Aula 9, reservada para a consolidação final dos conceitos, a avaliação conclusiva e a replicação da atividade experimental dos fluidos. Nas próximas páginas encontram-se apresentados os roteiros de cada aula.

Título da Aula 1 - Avaliação de conhecimentos prévios.

Duração Prevista: 50 minutos (uma hora - aula)

1. Objetivos:

Levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos sobre: temperatura, calor e evaporação.

2. Metodologia

A estratégia de ensino fundamenta-se nas Metodologias Ativas e na teoria histórico-cultural de Vygotsky. O professor atua como mediador, utilizando instrumentos e signos para promover a interação social e o desenvolvimento das funções psicológicas superiores, incentivando a construção colaborativa do conhecimento.

2.1 Avaliação Diagnóstica

Para alinhar o conteúdo ao nível de compreensão da turma, a etapa inicial seguirá o seguinte cronograma:

Levantamento de conhecimentos prévios: na primeira aula, será aplicado um questionário prévio aos estudantes. O objetivo é identificar o nível de desenvolvimento real o que o aluno já sabe fazer sozinho, servindo como ponto de partida para a atuação na Zona de desenvolvimento proximal (ZDP).

Acesso ao questionário completo, com todas as questões e critérios de análise, encontra-se disponível na página 30 ou na próxima página deste produto educacional.

2.2 Análise de Resultados do Questionário Prévio

Os resultados permitirão ao professor organizar a mediação pedagógica de forma dirigida. Isso possibilitará que as atividades sejam planejadas para desafiar o aluno a alcançar o nível de desenvolvimento potencial, ajustando os conteúdos conforme a necessidade de internalização dos conceitos científicos.

2.3 Problematização:

Após os estudantes responderem ao questionário, será apresentada a situação-problema. Busca-se que os estudantes partam de seus conceitos espontâneos (cotidianos) para formularem hipóteses, iniciando o processo de transição para a construção de conceitos científicos por meio do diálogo coletivo.

1º Etapa da aula: Solicitar que os estudantes que respondam ao questionário prévio 1.

Questionário Aula 1

Questionário Conhecimentos Prévios

1. O que você entende por calor?

2. Qual a diferença entre calor e temperatura?

3. Cite exemplos do dia a dia onde você observa o processo de evaporação?

4. Cite exemplos do cotidiano em que ocorre a troca de calor entre corpos?

5. O que é evaporação? Dê um exemplo?

6. Quais fatores podem influenciar na velocidade da evaporação de um líquido?

7. Você já ouviu falar sobre o uso de vasos de cerâmica para conservar alimentos ou água?
Como você acha que eles funcionam?

8. Você já ouviu falar em sistemas de refrigeração que não utilizam energia elétrica?

9. Como você acha que os conceitos de calor e evaporação podem ser aplicados na construção de sistemas de conservação de alimentos?

10. Por que a água evapora?

11. Considerando o conceito de sustentabilidade, como o uso de vasos de cerâmica para conservação pode contribuir para a preservação ambiental em comunidades rurais?

Gabarito 1 - Aula 1

Questionário Conhecimentos Prévios

1. O que você entende o que é calor?

Calor é a energia térmica em trânsito que flui de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura.

2. Qual a diferença entre calor e temperatura?

Calor é a energia transferida entre corpos devido à diferença de temperatura. Temperatura é a medida do grau de agitação das partículas de um corpo.

3. Cite exemplos do dia a dia onde você observa o processo de evaporação?

Roupas secando no varal, poças de água secando ao sol, suor evaporando da pele.

4. Cite exemplos do cotidiano em que ocorre a troca de calor entre corpos:

Mão tocando uma caneca quente, gelo derretendo em contato com a mão, banho quente aquecendo o corpo.

5. O que é evaporação? Dê um exemplo:

Evaporação é a passagem lenta do estado líquido para o gasoso. Exemplo: água de uma panela evaporando quando aquecida.

6. Quais fatores podem influenciar na velocidade da evaporação de um líquido?

A velocidade de evaporação de um líquido depende da energia das moléculas e das condições do meio. Ela aumenta com a temperatura, pois as moléculas ganham mais energia cinética para escapar da superfície. Também cresce quando há maior área de superfície exposta e maior ventilação, que removem o vapor formado. Por outro lado, alta umidade do ar diminui a evaporação, pois o ar já está saturado de vapor. Além disso, o tipo de líquido (ligação intermolecular e volatilidade) e a pressão atmosférica também influenciam. Líquidos mais voláteis e ambientes de menor pressão favorecem uma evaporação mais rápida.

7. Você já ouviu falar sobre o uso de vasos de cerâmica para conservar alimentos ou água? Como você acha que eles funcionam?

Sim. A cerâmica porosa permite a evaporação da água da superfície externa, o que retira calor do interior e ajuda a manter a temperatura mais baixa.

8. Você já ouviu falar em sistemas de refrigeração que não utilizam energia elétrica? Se sim, cite exemplos:

Sim. Exemplo: refrigerador de cerâmica ou de barro, geladeira de argila, sistemas com resfriamento evaporativo.

9. Como você acha que os conceitos de calor e evaporação podem ser aplicados na construção de sistemas de conservação de alimentos?

A evaporação pode ser usada para retirar calor do interior de recipientes, mantendo os alimentos frescos sem o uso de eletricidade.

10. Por que a água evapora?

Porque as moléculas de água ganham energia suficiente para vencer as forças de coesão e passar para o estado gasoso.

11. Considerando o conceito de sustentabilidade, como o uso de vasos de cerâmica para a conservação pode contribuir para a preservação ambiental em comunidades rurais?

Esses vasos não utilizam energia elétrica, são acessíveis, reutilizáveis e reduzem o consumo de recursos naturais, promovendo uma conservação sustentável de alimentos.

Título da Aula 2 e 3 : Conceito de Temperatura, Calor e Evaporação.

Duração Prevista: 100 minutos (uma hora aula)

Objetivos de Aprendizagem:

- Promover a internalização dos conceitos de temperatura, calor e evaporação por meio da leitura orientada e da interação social entre pares utilizando o Questionário 2 como instrumento de registro de reflexão individual e coletiva.

Metodologia

Nesta etapa, cada grupo de estudantes receberá capítulos selecionados. A proposta é que os estudantes realizem uma leitura ativa, onde o livro didático atua como instrumento mediador. O foco recai na construção colaborativa do conhecimento, permitindo que a troca de informações entre os alunos impulse o desenvolvimento individual dentro da zona de desenvolvimento proximal.

1º Etapa: materiais de apoio e leituras sugeridas:

As leituras selecionadas abaixo visam dar suporte teórico para a resolução do Questionário 2, fazendo o papel de ferramentas conceituais necessários para que o estudante transite do conhecimento espontâneo para o conhecimento científico. Abaixo estão os livros de referência que foram utilizados:

- **Livro 1: Bonjorno, J.R. et. al.**
 - **Conteúdo:** capítulos 1 ao 7.
 - **Intervalo:** páginas 12 a 113.
- **Livro 2: Ramalho, F.J.; Nicolau, G.F.; Toledo, P. A. (2009)**
 - **Conteúdo:** capítulos 1 ao 9.
 - **Intervalo:** páginas 16 a 161.
- **Livro 3: Newton, V. B. Helou, R.; Gualter, J. B. (2016)**
 - **Conteúdo:** capítulos 1 ao 5.
 - **Intervalo:** páginas 11 a 49.

Verificação da Aprendizagem (Pós – teste)

Como forma de verificar a internalização do conteúdo da aprendizagem, será aplicado um questionário pós-teste, nos últimos 30 minutos da aula, com questões que permitam avaliar a compreensão individual dos conceitos abordados. Esta etapa visa avaliar o nível de desenvolvimento potencial alcançado pelo estudante após o processo de mediação ocorrido durante a leitura em grupo. Os estudantes não terão acesso prévio às perguntas, durante a seção de estudo, de modo a garantir a autenticidade das respostas e estimular a atenção ao conteúdo durante a leitura.

Questionário 2

Pós-Teste – Aulas 2 e 3

1. Explique com suas palavras o que é temperatura. Como ela difere do conceito de calor?

2. Por que dizemos que o calor “passa” de um corpo para outro? Em que condições isso acontece?

3. Explique o fenômeno da evaporação e dê um exemplo cotidiano.

4. Qual é a relação entre evaporação e calor? A evaporação absorve ou libera calor? Justifique.

5. Durante um experimento, dois copos com a mesma quantidade de água são deixados ao sol: um coberto e o outro descoberto. Qual deles evapora mais rápido? Explique o motivo com base nos conceitos estudados.

Gabarito 2

Pós-Teste – Aulas 2 e 3

Gabarito com a resposta esperada dos estudantes. (tempo de resposta: 30 minutos)

1. Explique com suas palavras o que é temperatura. Como ela difere do conceito de calor?

Temperatura é uma medida da agitação térmica das partículas de um corpo; calor é energia térmica em trânsito entre corpos com diferentes temperaturas.

2. Por que dizemos que o calor “passa” de um corpo para outro? Em que condições isso acontece?

Porque o calor é uma forma de energia que se transfere do corpo de maior temperatura para o de menor, até atingir o equilíbrio térmico.

3. Explique o fenômeno da evaporação e dê um exemplo cotidiano?

A evaporação é a passagem lenta do estado líquido para o gasoso, que ocorre na superfície do líquido. Exemplo: roupas secando no varal.

4. Qual é a relação entre evaporação e calor? A evaporação absorve ou libera calor? Justifique.

A evaporação absorve calor do ambiente; é um processo endotérmico, pois as moléculas precisam de energia para escapar do líquido.

5. Durante um experimento, dois copos com a mesma quantidade de água são deixados ao sol: um coberto e o outro descoberto. Qual deles evapora mais rápido? Explique o motivo com base nos conceitos estudados?

O descoberto evapora mais rápido porque o vapor não fica preso. No coberto, o ar fica cheio de vapor e a água não consegue evaporar mais.

Título da Aulas 5 e 6 - Resfriamento natural, Ciência e Sustentabilidade na Prática.

Duração Prevista: 100 minutos (duas horas aulas)

Problema: Você foi contratado para desenvolver um sistema de resfriamento sustentável para uma vila sem acesso à eletricidade. Como é possível utilizar materiais simples e os conceitos de temperatura, calor e evaporação para manter alimentos e água frescos?

Objetivos:

- Montar e testar um mini sistema de refrigeração natural, utilizando vasos de cerâmica, utilizando materiais alternativos como vaso de cerâmicas, plástico, isopor e metal.
- Aplicar os conceitos de temperatura, calor, evaporação e transferência de energia térmica em uma situação prática e contextualizada.
- Medir e registrar a temperatura e a umidade dentro e fora do sistema, utilizando sensores simples (como DHT11 com Arduino).
- Refletir sobre a viabilidade e sustentabilidade do sistema em contextos reais sem acesso à eletricidade.

Metodologia: Metodologias Ativas por Investigação

Conforme as orientações técnicas, a estratégia adota a Investigação como eixo central, fundamentada na teoria histórico-cultural, onde o estudante é conduzido à resolução de problemas reais por meio da mediação pedagógica.

Etapa 2: Planejamento e Investigação

As etapas abaixo aplicam-se ao conjunto das Aulas 4 e 5 para garantir a continuidade do fluxo investigativo.

Critério de Agrupamento: A formação dos grupos utiliza como base os resultados do Questionário 2. O objetivo é criar agrupamentos produtivos, onde estudantes com diferentes níveis de compreensão interagem, permitindo que o colega mais experiente atue como mediador na Zona de Desenvolvimento Proximal do outro.

Etapa 3: Problematização

Nesta etapa, o docente retoma o problema central da sequência didática:

- Questão norteadora: "Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso a eletricidade, utilizando materiais alternativos e acessíveis?"
- Reflexão coletiva: Os alunos são convidados a refletir sobre possíveis soluções, mobilizando os conhecimentos construídos nas aulas anteriores sobre temperatura, calor e evaporação.
- Socialização: A discussão ocorre inicialmente em pequenos grupos, seguida de uma breve socialização das ideias com toda a turma.

Etapa 4: Planejamento da Investigação

- Organização dos grupos: O professor organiza a turma em grupos com 3 a 4 estudantes.
- Critério de Agrupamento: A formação dos grupos utiliza como base os resultados do Questionário 2: Pós-teste (Aulas 2 e 3), garantindo a troca de saberes entre diferentes níveis de compreensão.
- Cada grupo discute soluções viáveis para o problema, relacionando suas ideias aos conceitos científicos estudados.
- Em seguida, definem o protótipo que irão montar e quais materiais utilizarão, preparando-se para a experimentação da aula 5, que ocorrerá mais tarde, no mesmo dia.

Perguntas Norteadoras:

O professor (a) irá fazer algumas perguntas para estimular a reflexão e iniciar a discussão.

- Por que a cerâmica ajuda no resfriamento?
- Qual o papel da evaporação nesse processo?
- Como esses vasos ajudavam na conservação sem o uso de eletricidade?
- Vocês acham que esses métodos são utilizados hoje? Onde?

Instrução para o Experimento: os alunos são desafiados a montar o sistema que irão utilizar em sala de aula.

Os alunos serão desafiados a testar o sistema de refrigeração natural, baseado no princípio da evaporação. Para isso deverão utilizar sensores de temperatura e umidade para registrar as variações térmicas e, assim, avaliar a eficiência do sistema. O registro dessa atividade deverá ser feito através de um questionário.

Etapa 5. Justificativa:

Nesta etapa, cada grupo deverá apresentar uma justificativa detalhada de suas escolhas experimentais, fundamentando -se nos conceitos de temperatura, calor e umidade discutidos previamente em sala de aula nas aulas anteriores. As respostas deverão ser registradas no questionário de acompanhamento 4, com base nas seguintes questões:

- Qual kit experimental foi utilizado pelo grupo e por que escolheu os materiais utilizados?
- Qual a sua compreensão do conceito de temperatura, calor e umidade em relação ao experimento que está sendo desenvolvido?

A intenção desta etapa é promover a reflexão crítica sobre as decisões tomadas e estabelecer conexões entre a teoria estudada e a prática desenvolvida, fortalecendo a argumentação científica e conceitual.

Questionário 3

Questionário 3 - Investigação Sobre o Experimento - Aula 4 e 5

Etapa 1: Problematização.

1. Como manter alimentos e água frescos em locais sem acesso a eletricidade, utilizando materiais alternativos e acessíveis?

2. Perguntas Norteadoras:

- a) O professor (a) irá fazer algumas perguntas para estimular a reflexão e iniciar a discussão. Por que a cerâmica ajuda no resfriamento?

- b) Qual o papel da evaporação nesse processo?

- c) Como esses vasos ajudavam na conservação sem o uso de eletricidade?

Vocês acham que esses métodos são utilizados hoje? Onde?

3. Justificativa:

- a) Qual kit experimental foi utilizado pelo grupo e por que escolheu os materiais que está se sendo utilizando?

- b) Qual a sua compreensão do conceito sobre temperatura, calor e umidade em relação ao experimento que está sendo desenvolvido?

AULA EXPERIMENTAL - AULA 5

Nesta etapa, os grupos deverão testar a eficiência de um sistema de refrigeração natural, utilizando os kits experimentais fornecidos pelo professor(a), os materiais foram selecionados por sua viabilidade em contexto escolares e seu potencial para demonstrar o efeito da evaporação na redução da temperatura.

Cada kit contém uma combinação de materiais diferentes, permitindo variações estruturais no sistema e estimulando comparações entre os resultados obtido. Os materiais serão fornecidos pelo professor(a).

Kit Arduino 2: Sistema com dois vasos de cerâmica (interno e externo).

- Vaso de cerâmica externo, 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 cm de espessura.
- Vaso interno de cerâmica, 18 cm de diâmetro, 10 cm de altura e 1 cm de espessura.
- Kit Arduino pronto para ser utilizado.
- Pano de algodão.
- Areia.
- Água.
- Becker (para medir a quantidade de água).

Etapa 1: Preparação dos materiais.

Vaso Externo

O vaso de cerâmica utilizado no experimento é confeccionado em argila cozida, material poroso que permite a migração da água através de suas paredes. O vaso externo, possui dimensões aproximadas de 28 cm de diâmetro, 13 cm de altura e 1,25 cm de espessura. Essa estrutura possibilita a passagem de pequenas quantidades de água região interna para da superfície externa, onde ocorre o processo de evaporação.

Figura 7 -Vasos externo e interno.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Conforme ilustrado na figura 7, é possível observar um espaço entre os dois vasos que será preenchido com areia e ser molhada com água. A água passará por um processo de evaporação na superfície externa, retirando calor do sistema. Esse processo provoca uma redução da temperatura interna, que pode ser registrado com sensores de temperatura.

Vaso interno

O vaso de menor diâmetro será usado em versões diferentes materiais: cerâmica plástica, isopor e alumínio. O vaso menor posicionado dentro do vaso maior deixando entre eles uma distância média de 2 cm. Esta montagem encontra-se ilustrada na figura 8.

Camada intermediária (areia)

A camada de aproximadamente 2 cm de areia é posicionada entre o vaso interno e o externo. A areia atua como meio poroso que retém a água e distribui uniformemente a umidade nas paredes dos vasos. A evaporação dessa água consome energia térmica, reduzindo a temperatura no interior do sistema. A observação da importância da areia no processo reforça a compreensão do fenômenos naturais. Essa discussão favorece o desenvolvimento da

curiosidade, do pensamento crítico e da capacidade de experimentação. Observações para o professor:

- Organize todos os itens do kit 1, 2, 3 e 4 sobre a mesa ou bancada.
- Pese previamente com a balança as quantidades de areia e reserve.
- Deixe água disponível para ser medida pelos alunos com o auxílio de um béquer.
- Deixar o pano de algodão disponível junto aos materiais.

O kit foi pensando como o modelo mais completo para demonstrar o efeito da evaporação na redução da temperatura. A escolha de dois vasos de cerâmica, um interno e outro externo, baseia-se no princípio tradicional do sistema pot-in-pot. Este método utiliza a porosidade do material para promover o resfriamento evaporativo, sendo amplamente utilizados em regiões de clima árido para conservar alimentos.

O pano de algodão umedecido potencializa ainda mais esse processo, aumentando a área de evaporação. O kit utiliza sensores de temperatura e umidade conectados ao Arduino, o que permite uma coleta de dados automatizada e mais precisa. Assim, os estudantes conseguem acompanhar em tempo real as variações de temperatura, o que torna a experiência mais significativa e próxima das práticas científicas atuais.

Etapa 2 - Montagem do Experimento

Figura 8 - Vaso interno e externo com areia.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Etapa 3 - Molhe a terra (areia)

Com auxílio do béquer, peça ao aluno que analise a quantidade de água necessária para colocá-la lentamente sobre a areia, até que ela fique uniformemente úmida, mas sem encharcar. A umidade deve ser suficiente para permitir a evaporação gradual da água através das paredes do vaso de barro. Para molhar a areia, é necessário aproximadamente 900 ml de água. O sistema deve ser deixado em repouso, com o monitoramento contínuo de sua temperatura interna e externa ambiente, para que se possa registrar o processo de evaporação e a consequente redução de temperatura.

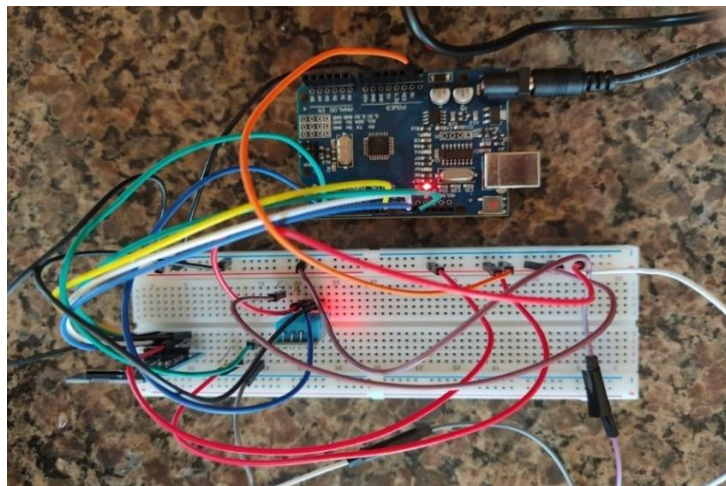
Figura 9 - Vaso interno e externo com areia molhada e sensores instalados.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Posicione o sensor de temperatura e umidade (DHT11) próximo a parede interna do vaso de barro, de forma que ele possa captar as variações dentro do recipiente. Após a instalação do sensor, tampe o vaso interno cuidadosamente com a tampa conforme ilustra a figura 9 garantindo que o sistema esteja isolado, sem interferências nas medições internas.

Figura 10 - Circuito de aquisição de dados com Arduino e protoboard.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

O conjunto figura 10 mostra o sistema de aquisição de dados montado com placa de Arduino Uno R3 e um protoboard, interligados por fios jumper.

Etapa 4: Instalação do Arduino e sensores

Figura 11 - Sistema de resfriamento evaporativo vaso de cerâmica ligado ao sistema de Arduino.



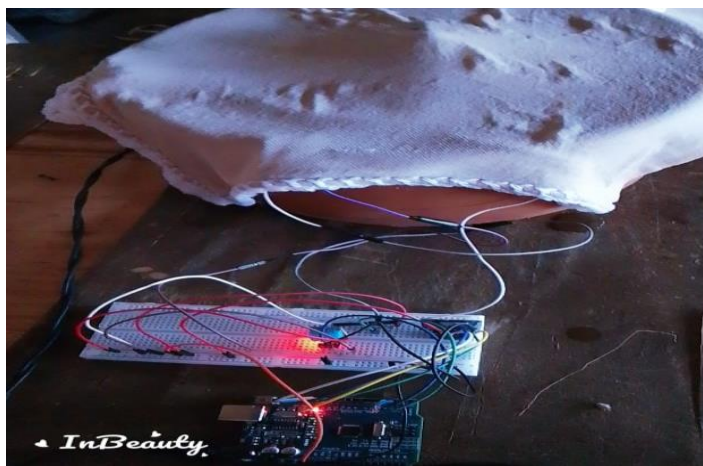
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Na Figura 11 observa-se a montagem do primeiro experimento, que consiste na utilização de um sistema Arduino Uno conectado a um sensor DHT11, responsável pela medição da temperatura e umidade. O sensor foi posicionado junto ao recipiente interno do vaso de cerâmica (pot-in-pot), permitindo o monitoramento das variáveis físicas durante o processo de resfriamento por evaporação.

Etapa:5 do Pano de Algodão

A Figura 12 ilustra o vaso utilizado no experimento de resfriamento evaporativo, protegido por um pano que atua como meio de retenção de umidade. Este recurso favorece a evaporação gradual da água presente no vaso, promovendo a redução da temperatura interna e permitindo a análise dos fenômenos térmicos.

Figura 12 - Conjunto do protótipo com os vaso cobertos com um Arduino com pano de algodão



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Essa etapa é essencial para que os alunos compreendam como a evaporação está diretamente relacionada a troca do calor e a redução de temperatura, estabelecendo um vínculo entre o fenômeno físico e a sua aplicação prática.

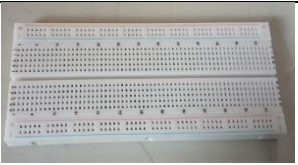
Dica ao professor:

Mantenha o pano úmido durante toda a coleta de dados. Caso ele comece a secar, reidrate-o com o auxílio de um borrifador ou béquer. Isso garantirá que o processo de evaporação continue e o resfriamento ocorra de forma contínua.

Note que este roteiro pressupõe que o kit Arduino tenha sido montado previamente pelo professor. A orientação para essa montagem aparece na próxima seção.

Etapa 6: Montagem do kit 1 Arduino, a ser feito pelo professor (a) previamente á aula.

Tabela 2 - Componentes para a montagem do kit Arduino

Componente	Função	Descrição	Imagem
Arduino uno	Controlar o sistema, processar dados dos sensores	Placa com microcontrolador programável. Executa o código, se comunica com o computador e controla os sensores conectados.	
Protoboard	Montagem do circuito sem solda	Placas com furos interligados. Permite testes rápidos e reutilização de componentes	
Fios jumper (macho-fêmea)	Uma ponta com pino (macho) e outra com encaixe (fêmea).	Conectar pinos do Arduino (macho), componentes com pino macho, como sensores que não vão na protobord. Estender conexões entre componentes que precisam ser montados fora da protoboard.	
Fios jumper (fêmea-fêmea)	Ambas extremidades possuem conectores tipo fêmea (encaixe)	Realizar a conexão dos pinos do Arduino a módulos que possuem terminais macho, tais como displays, sensores e outros componentes eletrônicos	

Fios jumper (macho-macho)	Ambas extremidades possuem pinos metálicos (macho), que se encaixam em protoboard ou diretamente nos conectores fêmea do Arduino.	Realizar a conexão da protoboard à placa Arduino e estabelecer a interconexão entre diferentes áreas da protoboard para expansão do circuito.	
Sensor DHT11	Medir temperatura e umidade	Sensor digital que envia informações do ambiente ao Arduino. Permite comparações de dados internos e externos do sistema.	
Resistor (300 Ω)	Controla a corrente elétrica	Componente que limita o fluxo de corrente elétrica em circuitos. Protege LEDs e sensores de danos por excesso de corrente. O resistor da imagem possui faixas laranja, preto e dourado correspondendo a 10 k Ω $\pm$ 5%.	

Cabo USB	Conectar o Arduino ao computador	Transfere o código IDE para o Arduino e alimenta a placa	
Módulo de leitor de cartão MicroSD	Armazenar dados registrados no Arduino.	Permite que o Arduino grave dados como temperatura e umidade, em tempo real em um cartão microSD. Ideal para experimentos de coletas de dados.	
Cartão microSD (32GB) e adaptador SD	Armazenar dados dos sensores e transferências de dados para o computador	O cartão microSD é inserido no modo leitor para registrar dados coletados.	

Fonte de energia	Fonte de alimentação	Converte a tensão da rede elétrica em uma tensão adequada para alimentar a placa Arduino e demais componentes.	
------------------	----------------------	--	---

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Tabela 3 - Quantidade de componentes necessário para montar o kit Arduino

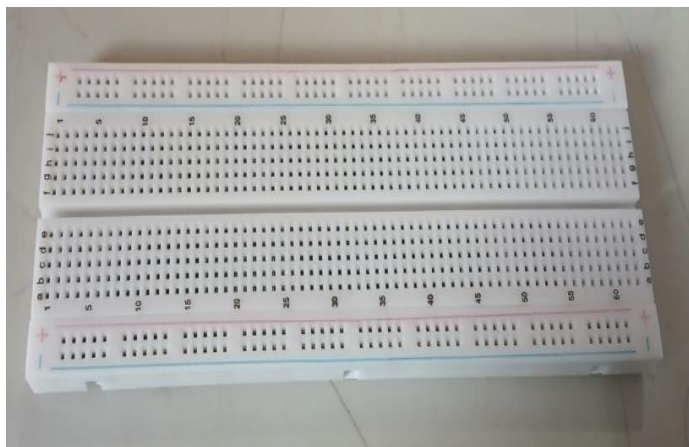
Componente	Quantidade
Placa de Arduino Uno	1
Protobord	1
Sensor DHT11	2
Resistores	2
Fios jumper	6
Fios jumper	3
Fios Jumper	10
Cabo USB	1
Módulo de leitor de cartão MicroSD	1
Cartão microSD (32GB) e adaptador SD	1

Fonte: Elaborada pela autora 2025.

Montagem do Circuito

Importante: Antes de ligar o Arduino no computador, monte todo o circuito.

Figura 13 - Protoboard 830 pontos



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A protoboard, também conhecida como placa de ensaio, é um dispositivo essencial para o desenvolvimento de circuitos eletrônicos temporários, sem a necessidade de soldagem.

O modelo utilizado neste experimento é uma protoboard de 830 pontos, amplamente empregada em práticas de prototipagem eletrônica e projetos educacionais. Uma foto da Figura13.

Essa placa é constituída por uma matriz de furos conectados eletricamente em seu interior, distribuídos da seguinte forma:

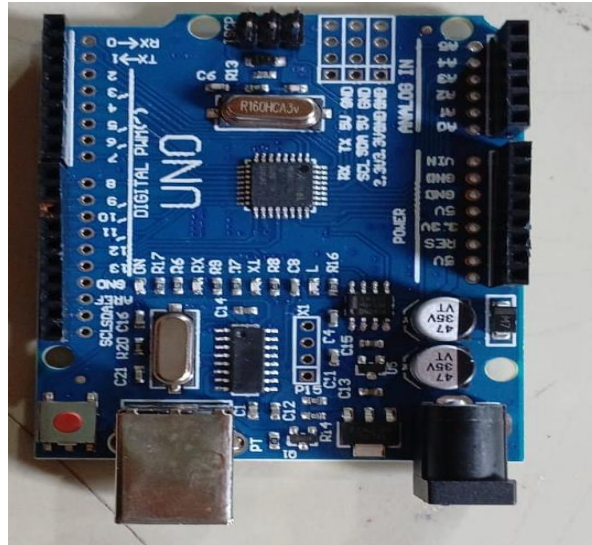
- Barramentos laterais (superiores e inferiores), identificados por faixas vermelhas (+) e
- Barramentos laterais (superiores e inferiores), identificados por faixas azuis (-) e são destinados à alimentação do circuito, permitindo a distribuição dos níveis de tensão como 5V e GND) de forma eficiente e organizada.

Área central de conexão é composta por colunas verticais agrupadas em dois blocos (de A a E e de F a J), separados por um canal central.

Cada coluna conecta internamente cinco terminais em linha, facilitando a inserção de componentes eletrônicos como resistores, sensores, transistores, LEDs, entre outros.

A protoboard de 830 pontos permite a montagem de circuitos complexos de pequeno e médio porte, oferecendo flexibilidade na modificação do projeto durante testes e investigações experimentais.

Figura 14 - Placa Microcontroladora Arduino Uno R3.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

O Arduino Uno R3 é uma plataforma de prototipagem eletrônica baseada no microcontrolador Atmega 328P, amplamente utilizada em projetos educacionais. Ilustrada na Figura 14, destacam-se os seguintes elementos:

- 14 pinos digitais (6 com função PWM);
- 6 entradas analógicas;
- Conexão USB para alimentação e envio do código;

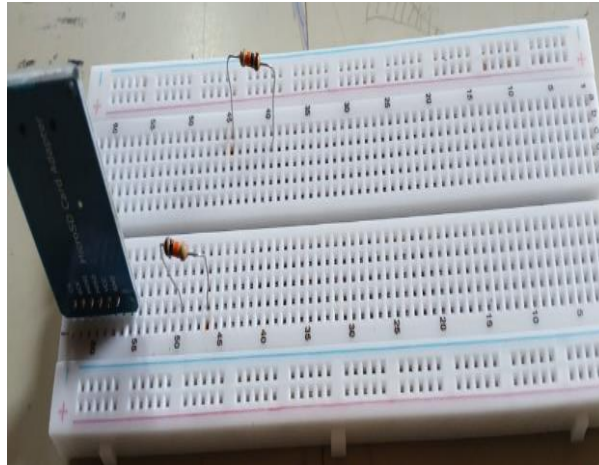
Neste experimento, a placa é responsável por receber dados dos sensores de temperatura e umidade, processar as informações e acionar dispositivos. Sua alimentação pode ser feita via USB ou fonte externa.

Nas Figura 15 e 16 observam-se a montagem inicial do circuito utilizando uma protoboard de 830 pontos.

Nesta etapa ilustrada na Figura 15, foram inseridos dois resistores de 10 k Ω .

Figura 15: Montagem inicial em uma protobord, com dois resistores de 10 k Ω conectados ao módulo leitor de cartão microSD. Os dois resistores limitam a corrente elétrica para proteger o circuito e garantir o funcionamento adequado do módulo.

Figura 15 - leitor de cartão microSD e Resistores.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Os resistores de 10 k Ω foram escolhidos por oferecerem resistência suficiente para atuar como pull – down ou pull -up, conforme a lógica do circuito. A utilização do módulo micro SD nesse estágio permite a futura gravação de dados provenientes de sensores ao Arduino, sendo fundamental para projetos que envolvem coleta e armazenamento de informações.

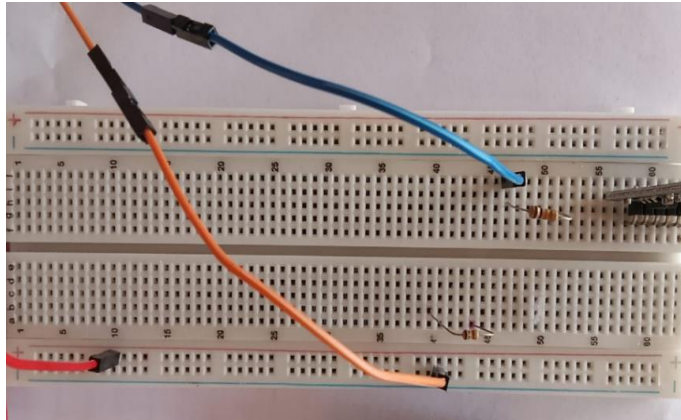
Figura 16 – Leitor de cartão microSD na protoboard



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na Figura 18, ilustra-se as próximas etapas da montagem:

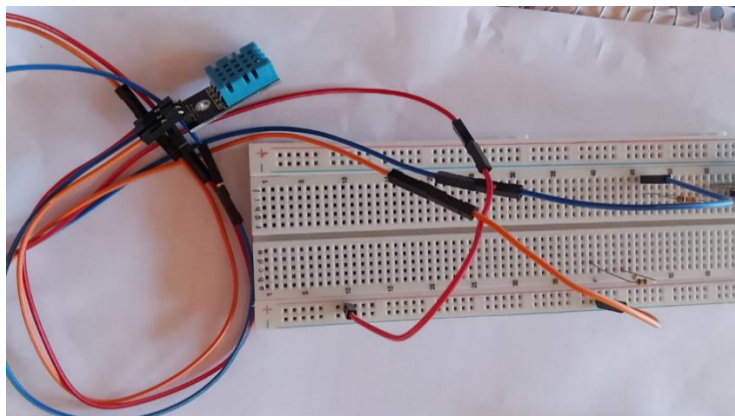
Figura 17 - Conexão dos fios do sensor interno do sistema.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

- O fio laranja foi conectado ao barramento positivo (+) da protoboard, que futuramente será ligado ao pino 5V do Arduino, responsável por fornecer alimentação ao sensor.
- O fio vermelho foi conectado ao barramento negativo (-), que será ligado ao pino GND do Arduino, fechando o circuito de alimentação.
- O fio azul está conectado a uma linha da protoboard onde será inserido o pino DAT do sensor DHT11, para a transmissão de dados.
- Foi adicionado um resistor de pull - up entre o terminal de dados e o VCC, para garantir a comunicação estável entre o sensor e o Arduino.

Figura 18 - Sensor de temperatura e umidade interno do sistema conectados aos fios.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

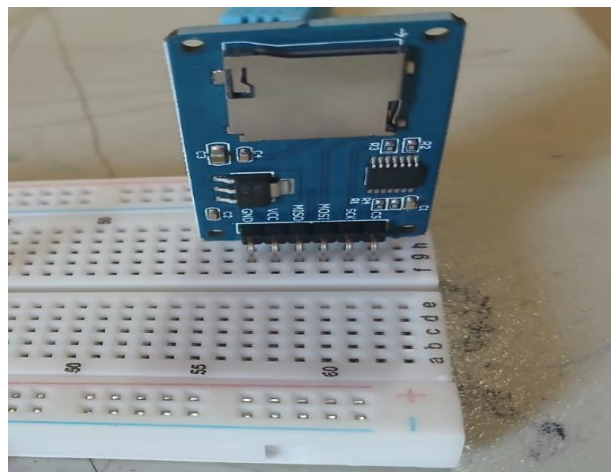
Continuando a montagem, Figura 18 os seguintes passos destacam-se.

- O sensor DHT11 foi encaixado nos fios laranja, azul e vermelho. Essas foram as cores utilizadas, mas as cores dos fios não interferem no funcionamento do sensor.
- Os fios contêm, 2 fio jumper (macho - fêmea) e fio jumper (macho- macho), para cada ligação unindo-os até o comprimento necessário para liga na protoboard ao sensor (DHT11).
- O fio laranja foi conectado ao pino VCC, fornecendo alimentação de 5V.
- O fio azul foi conectado ao pino DAT, responsável pela comunicação de dados entre o sensor e o Arduino.
- O fio vermelho foi conectado ao pino GND, garantindo o aterramento do circuito.
- O resistor de pull-up (10 k Ω) permanece entre o pino DAT e o VCC, assegurando estabilidade no sinal de dados.

Essa configuração permite que o sensor DHT11 envie os valores de temperatura e umidade para a placa Arduino, possibilitando a coleta de dados.

Na Figura 19 observa-se o encaixe do módulo leitor de cartão micro SD na protoboard. Esse componente será utilizado para armazenar os dados captados automaticamente pelo sistema, como temperatura e umidade. A instalação foi feita de forma que os pinos do módulo ficassem visíveis e acessíveis para a conexão com fios jumper, facilitando a organização dos terminais na próxima etapa.

Figura 19 - Instalação do módulo leitor de cartão microSD na protoboard.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Na Figura 20 é possível observar como os fios jumper foram conectados aos pinos do módulo microSD, que permitirá a comunicação com a placa Arduino. Cada pino do módulo

foi ligado a um fio de cor diferente, facilitando a organização e a identificação durante a montagem.

Figura 20 - Conexão dos fios jumper ao módulo microSD.



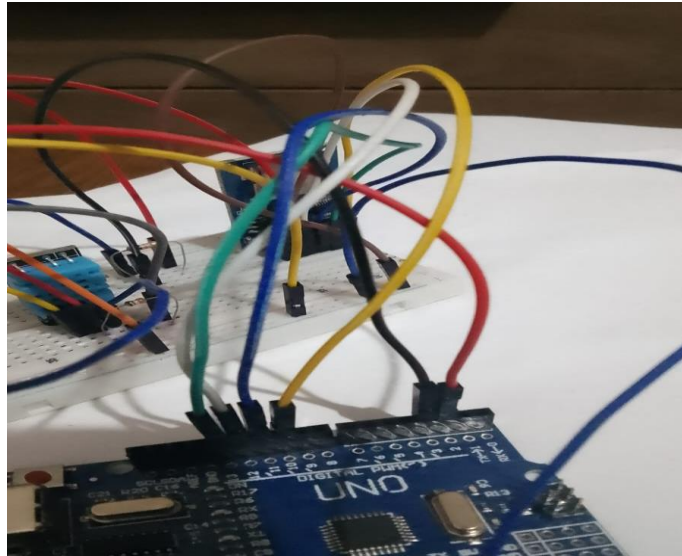
Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Nas conexões realizadas foram usados fios jumper macho-macho, no seguinte arranjo:

- CS (fio amarelo): utilizado para seleccionar o cartão no momento da leitura ou gravação.
- SCK (fio verde): controla o sinal de sincronização (serial clock) da comunicação SPI (Serial Peripheral Interface).
- MOSI (fio azul): Envia dados do Arduino para o cartão.
- MISO (fio branco): responsável por enviar dados do cartão para o Arduino.
- VCC (fio vermelho): fornece energia ao módulo, ligado ao pino 5V do Arduino.
- GND (fio marrom): conectado à terra do circuito (GND do Arduino), necessário para completar o circuito elétrico.

Essa conexão completa comunicação entre módulo e Arduino, permitindo que os dados lidos pelo sistema sejam salvos diretamente no cartão microSD. Na Figura 21 observa-se a ligação dos pinos do cartão microSD que faz ligação com o Arduino Uno, utilizando uma comunicação chamada SPI, que permite a troca de informações entre os dois dispositivos, os fios jumper utilizados foram (fêmea- fêmea) de várias cores.

Figura 21 - Ligação do cartão SD ao Arduino UNO.

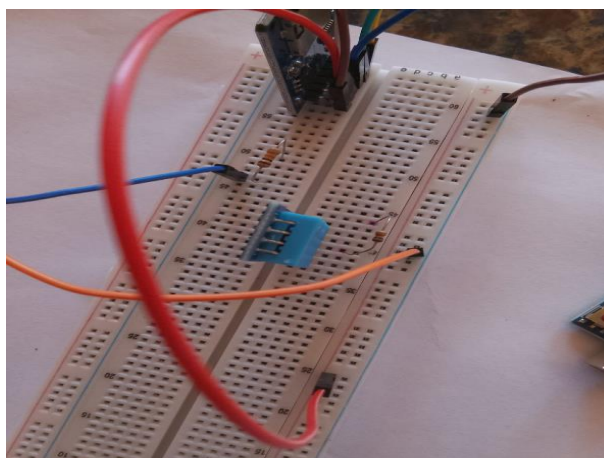


Fonte: Elaborada pela autora, 2025

A ligação está descrita passo a passo:

- CS (Chip Select): fio amarelo do módulo SD, conecta ao pino digital 10 do Arduino. Esse fio é responsável pela comunicação do cartão SD.
- SCK (serial Clock): fio verde do módulo. Conecta ao pino digital 13 do Arduino.
- MOSI (Master Out Slave In): o fio azul conecta ao pino digital 11 do Arduino.
- MISO (Master In Slave Out): o fio Branco conecta ao pino digital 1 do Arduino.

Figura 22 - Ligação do fio vermelho VCC – alimentação.

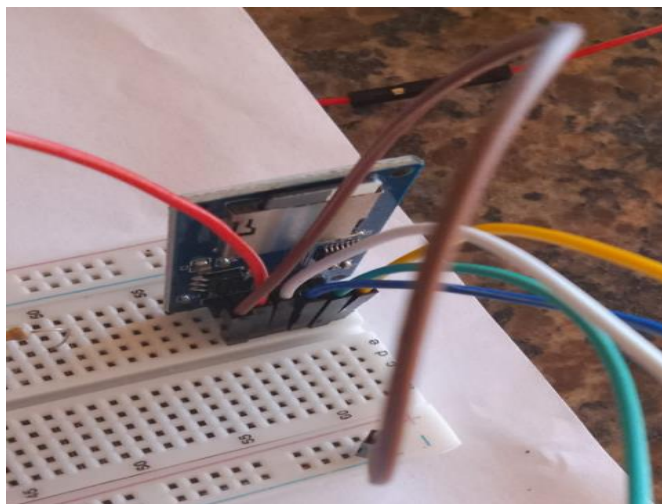


Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na Figura 22 o fio vermelho conecta o pino VCC do módulo leitor do cartão SD à linha positiva (vermelha) da protoboard. Essa linha está interligada com a alimentação de 5V do

Arduino, fornecendo a energia necessária para o funcionamento do módulo. Essa ligação é essencial, pois o módulo SD precisa estar corretamente alimentado para realizar leituras e gravações no cartão de memória.

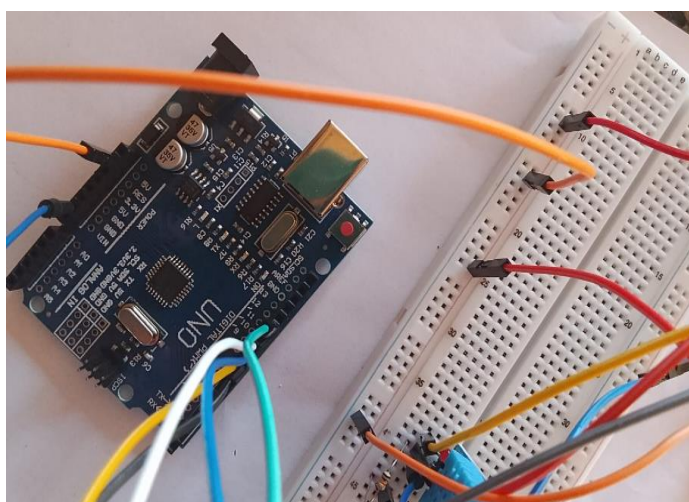
Figura 23 - Ligação marrom – GND (Terra).



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na Figura 23 o GND (terra fio marrom) do módulo leitor de cartão SD conecta à linha azul da protoboard, que representa o GND (negativo) do sistema. Essa ligação estabelece o referencial elétrico comum entre todos os componentes.

Figura 24 - Fio laranja

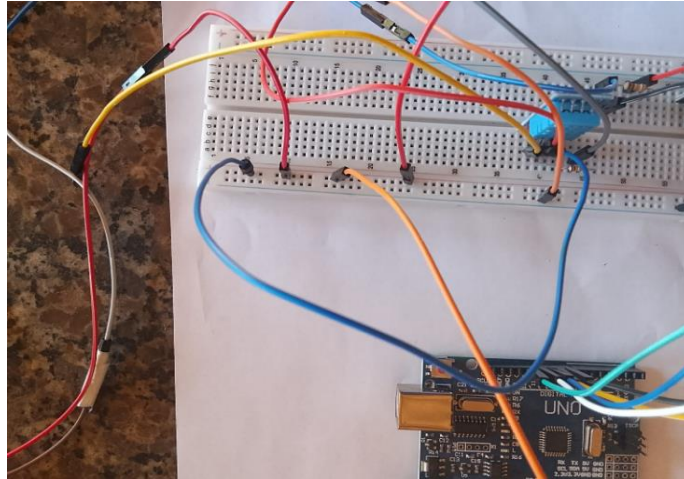


Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na Figura 24 o fio laranja conecta o pino 5V da placa Arduino à linha positiva (vermelha) protoboard.

Essa ligação é responsável por fornecer energia elétrica de 5 volts para os componentes conectados a protoboard, permitindo que o circuito funcione corretamente.

Figura 25 - Conexão do fio azul



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

O fio azul conecta o pino VCC do sensor de umidade à linha positiva da protoboard, responsável por distribuir a alimentação de 5V vinda do Arduino. Essa conexão é fundamental para que o sensor receba a energia necessária para funcionar corretamente. Ao utilizar a linha positiva da protoboard, é possível alimentar vários componentes de forma prática e organizada.

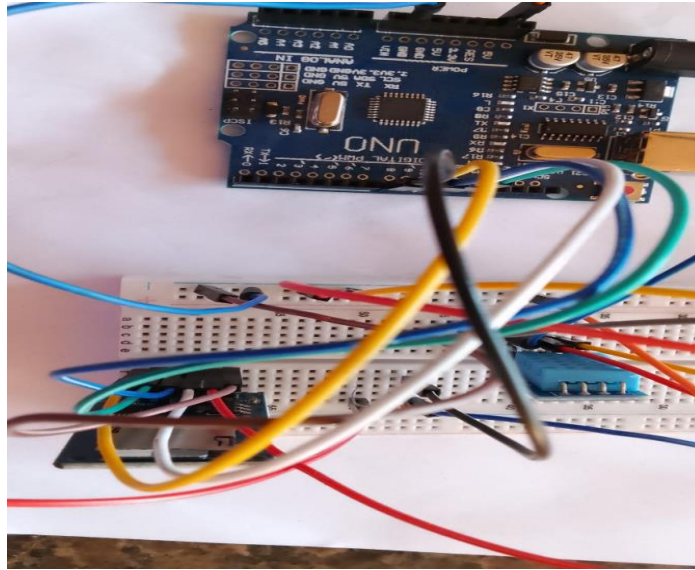
Figura 26 - Conexão fio vermelho VCC do sensor de umidade externo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A imagem da Figura 26 ilustra fio vermelho que sai do pino VCC do sensor de temperatura e umidade externa e conecta no pino 2 digital do Arduino. O fio amarelo sai do GND e vai para linha negativa (-) da protoboard.

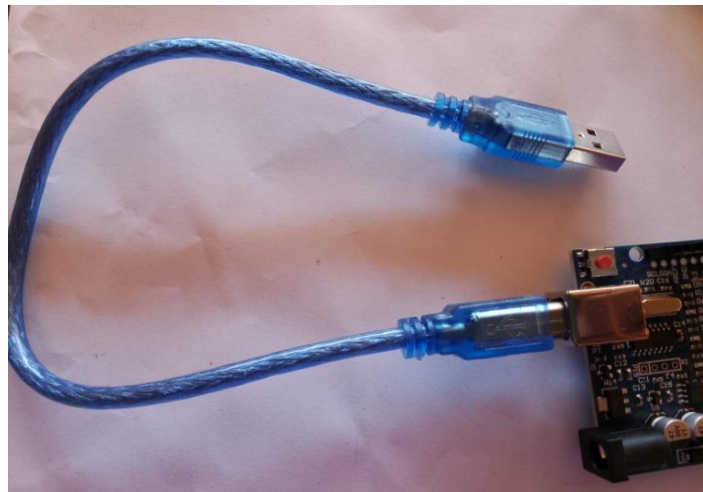
Figura27: Conexão do fio preto que está conectando o resistor ao pino digital 3 do Arduino



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O fio preto presente na imagem estabelece uma conexão entre o resistor (posicionado na protoboard) e o pino digital 3 da placa Arduino. Essa ligação é fundamental para leitura ou controle de sinal digital por parte do microcontrolador.

Figura 28 - Cabo USB e conexão no Arduino.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Na imagem na figura 28 observa-se o cabo USB tipo A-B, responsável por realizar duas funções essenciais no projeto com Arduino.

1. Alimentação elétrica: fornece energia de 5V para a placa Arduino, permitindo funcionamento de seus componentes.

2. Comunicação de dados: permite a comunicação entre o computador e o Arduino, possibilitando o envio do código (programa) desenvolvido no software Arduino IDE para a placa.

3. A extremidade USB tipo A (reta) deve ser conectada ao computador, enquanto a extremidade tipo B (quadrada) é conectada à porta USB da placa Arduino.

Nesta imagem na Figura 29, observa -se a conexão de um cabo USB tipo A-B (cabo azul) entre a placa Arduino e um notebook. Esta conexão é essencial para o funcionamento do sistema, pois cumpre duas funções principais:

Figura 29 - Conexão cabo USB entre Arduino e computador.



Fonte Elaborada pela autora, 2025.

Alimentação elétrica da placa Arduino: o cabo USB fornece energia elétrica de 5V proveniente da porta USB do computador, permitindo que o Arduino funcione sem a necessidade de uma fonte de alimentação externa adicional.

Comunicação Serial (transferência de dados): essa conexão permite que o Arduino se comunique com o computador através da interface serial. É por meio dela que o código (programa) é carregado para a placa via ambiente de desenvolvimento Arduino IDE. Além disso, essa comunicação permite o monitoramento dos dados dos sensores ou o controle de atuadores em tempo real, utilizando o Monitor Serial da IDE.

Essa etapa é fundamental para a programação e o teste de qualquer projeto envolvendo o Arduino, permitindo que os professores e alunos compreendam na prática a importância da interface entre hardware (placa e sensores) e software (código fonte).

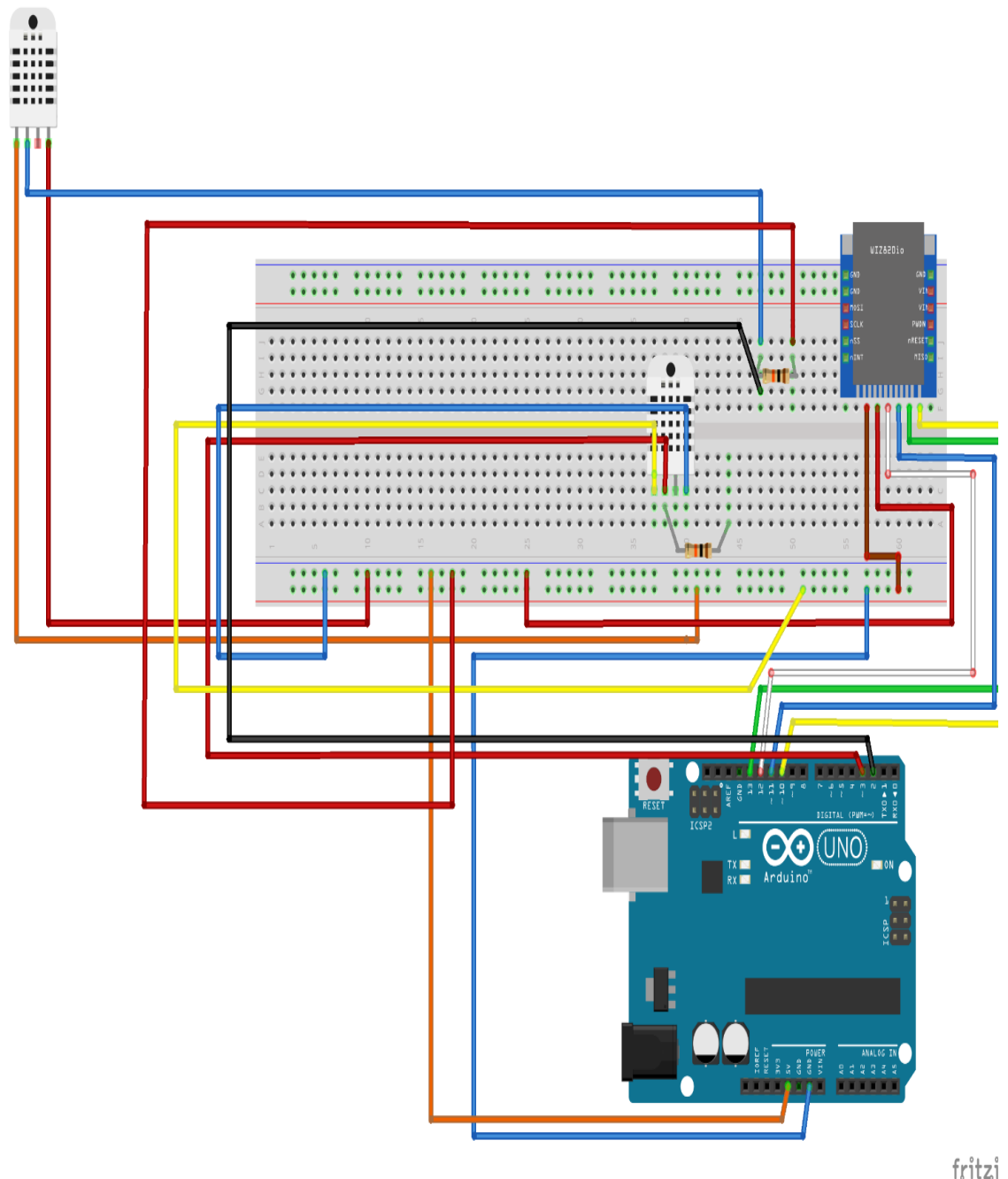
A imagem na figura 29 mostra um circuito já totalmente montado, com a placa Arduino conectada à protoboard, fios jumper distribuídos, componentes inseridos e o cabo USB pronto para ser conectado ao computador. Neste momento, é essencial que os professores(a) e alunos

adotem uma prática fundamental: a verificação cuidadosa de todas as conexões entre a placa e o sistema Arduino. Antes de encaixar o cabo USB e abrir a plataforma IDE, siga este checklist:

- Os fios estão conectados nos pinos corretos da placa e da protoboard, conforme o esquema;
- Encaixe firme dos componentes resistores e sensores, sem folgas nos terminais;
- A alimentação (5V e GND) está conectada corretamente nos trilhos laterais da protoboard;
- Certificar -se de que não existem fios soltos ou invertidos que possam causar curto-circuito;

Ligar o Arduino sem revisar pode causar erros no código, falhas nos sensores ou até danificar componentes.

Figura30 - Esquema montado no Fritzing.

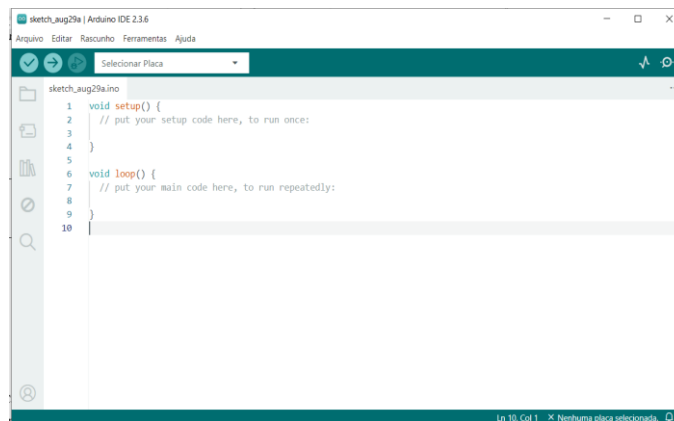


Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A montagem do circuito está ilustrada na figura 30 foi realizada no Fritzing, um programa que permite representar os componentes e suas conexões de forma visual. O uso dessa ferramenta facilita a compreensão do esquema elétrico pelos alunos e professores e garante que o circuito possa ser replicado com mais segurança e clareza.

Para a compilação e o envio de código, após a montagem do circuito no protótipo, é necessário, usar a IDE Arduino no computador, conforme: ilustrada na Figura 31

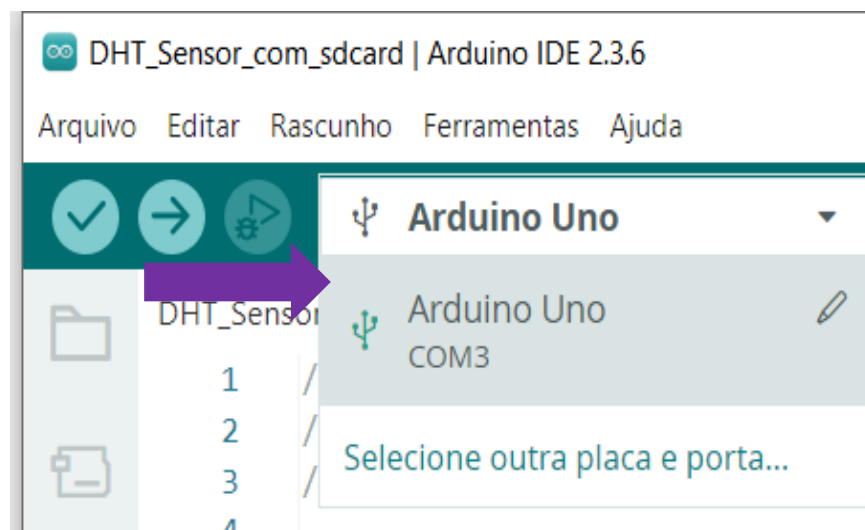
Figura 31 - Seleção da placa e porta na IDE Arduino antes da compilação.



Fonte: Elaborada pela autora

A etapa de compilação e upload é necessária para transferir o código ao Arduino, garantindo que os sensores funcionem corretamente e que os dados sejam armazenados para análise. A lista a seguir contém os próximos passos, ilustrados nas figuras 32 e 33

Figura 32 - seleção da porta Uno CM3



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

- Verificar o código (compilar)
- Clique no ícone ✓ (canto superior esquerdo da IDE).
- O programa vai compilar (traduzir) o código para a linguagem da placa.
- Se aparecer “compilação concluída com sucesso”, estará tudo certo.
- Enviar o código para a placa (Upload)
- Clique no ícone → (seta para a direita logo ao lado do ✓).
- Aguarde até aparecer a mensagem “upload concluído” na parte inferior da IDE.
- Testar o funcionamento
- Uma vez carregado, o Arduino já funciona automaticamente com o código.

Figura 33 - Código do projeto aberto e compilado, no IDE Arduino.



```

1 // REQUIRES the following Arduino libraries:
2 // - DHT Sensor Library: https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library
3 // - Adafruit Unified Sensor Lib: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor
4
5 #include <Adafruit_Sensor.h>
6 #include <DHT.h>
7 #include <DHT_U.h>
8
9 ///////////////////////////////////////////////////
10 // Coloque abaixo o tempo, em segundos, entre leituras e gravacoes:
11
12
13
14 #define DELTAT // Tempo entre leituras em segundos
15 ///////////////////////////////////////////////////
16
17 #define DHTPIN_A 2 // Digital pin connected to the DHT sensor
18 #define DHTPIN_B 3 // Digital pin connected to the DHT sensor
19 // Feather HUZZAH ESP8266 note: use pins 3, 4, 5, 12, 13 or 14 --
20 // Pin 15 can work but DHT must be disconnected during program upload.
21
22 // Uncomment the type of sensor in use:
23 #define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
24 // #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
25 // #define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
26
27 // See guide for details on sensor wiring and usage:
28 // https://learn.adafruit.com/dht/overview
29
30 DHT_Unified dhta(DHTPIN_A, DHTTYPE);
31 DHT_Unified dhb(DHTPIN_B, DHTTYPE);
32
33 //Parte do cartao SD

```

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A seguir, apresentamos os kits 2, 3 e 4. Todos seguem a mesma montagem do kit 1(já detalhado anteriormente) que irá mudar em cada sistema montado para experimento é o recipiente interno.

KIT 2: VASO EXTERNO DE CERÂMICA COM CAIXA INTERNA DE ISOPOR.

Para a etapa experimental também foi montado um sistema utilizando um vaso externo de cerâmica e uma caixa de isopor interna conforme mostra a figura ilustrada 34. A caixa de isopor utilizada nesse experimento tem a capacidade de 500 ml, medindo aproximadamente 8 cm de altura, 15 cm de comprimento e 12 cm de largura.

Kit Arduino 2:

- Vaso de cerâmica externo e caixa isopor pequena.
- Kit Arduino previamente montado.
- Pano de algodão.
- Areia
- Água
- Becker (para medir a quantidade de água).

Figura 34: Vaso externo de cerâmica e caixa interna de isopor.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

O objetivo desta variante é permitir que os alunos comparem o comportamento térmico entre diferentes materiais, observando que o isopor reduz a transferência de calor devida a sua baixa condutividade térmica, enquanto o vaso de barro promove o resfriamento por evaporação.

KIT 3: VASO EXTERNO DE CERÂMICA E INTERNO DE PLÁSTICO.

Nesta etapa experimental foi utilizado recipiente interno de plástico que possui capacidade de aproximada de 700 ml, medindo cerca de 8 cm de altura 15 cm de diâmetro. Trata-se de um material plástico polimérico impermeável e de baixa condutividade térmica, que impede a passagem de água pelas paredes e não permite a ocorrência de evaporação, mas permite que o processo de resfriamento aconteça pelas paredes internas. Esse material foi

escolhido para comparar a eficiência térmica em relação aos vasos de cerâmica. Esta montagem aparece Figura 35.

Figura 35- vaso externo de barro e o recipiente interno de plástico.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

A escolha do recipiente plástico como vaso interno tem a função de atuar como controle experimental, representando um sistema de desempenho térmico passivo. No contexto do estudo, a baixa condutividade térmica do plástico minimiza as perdas e ganhos de calor com o ambiente externo, diferentemente do mecanismo ativo de resfriamento evaporativo promovido pela cerâmica. O uso do controle passivo é uma estratégia metodológica para avaliar o ganho de eficiência do sistema ativo.

KIT 4: VASO EXTERNO DE CERÂMICA E RECIPIENTE DE ALUMÍNIO

Neste kit foi utilizado um recipiente interno de alumínio que possui capacidade de aproximada de 800 ml, medindo cerca de 7,5 cm de altura e 17 cm de diâmetro. O recipiente interno de alumínio foi incluído no aparato experimental devido a sua alta condutividade

A análise do processo de transferência de calor é essencial para a superação das concepções espontâneas dos estudantes, que frequentemente confundem calor com sensação térmica ou temperatura.

No experimento de comparação de materiais, o foco recai sobre o mecanismo de condução de calor. A Figura 36 ilustra a variação presente no kit 4, com o recipiente interno de alumínio.

Figura 36 - Vaso externo de barro e recipiente interno de alumínio.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A função do alumínio é maximizar a transferência de calor entre a água interna e a superfície fria do vaso de cerâmica. Esta montagem permite mensurar o limite superior de eficiência do resfriamento evaporativo.

Questionário 4 - Justificativa do Kit Utilizado para cada grupo - Aula 5

Nome do grupo: _____

1. Por que o grupo escolheu esse kit específico?

2. Qual a hipótese do grupo sobre o desempenho do sistema de refrigeração montado com este kit?

3. Como os conceitos de temperatura, calor e evaporação estão relacionados à escolha e ao funcionamento deste kit?

4. O que vocês esperam observar com o uso do sensor de temperatura e umidade?

5. Se pudessem modificar um elemento do kit, qual seria? Justifique.

Após a montagem dos kits inicia-se a etapa de teste e análise 50 minutos Neste momento, os grupos utilizam os equipamentos para executar o experimento e registrar as variações de temperatura e umidade para análise posterior.

Tabela 4 - Materiais Comparativo dos Kits

Kit	Recipiente	O que se observa	Justificativa
Kit1	Vaso de cerâmica interno e externo	Temperatura (Arduino) + umidade	Kit base: demonstra o funcionamento do vaso de cerâmica e serve de referência para os demais.
Kit 2	Vaso de cerâmica externo + interno recipiente de isopor.	Temperatura e umidade	Verificar se o isolamento térmico do isopor melhora a conservação de temperatura
Kit 3	Vaso de cerâmica externo + interno de plástico.	Temperatura e umidade	Comparar a precisão da medição entre Arduino e um termômetro convencional.
Kit 4	Vaso de cerâmica externo + interno de alumínio.	Temperatura Arduino + umidade	Investigar se a condutividade térmica do alumínio e a quantidade de areia influenciam o processo de resfriamento por evaporação.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A turma deve ser observada pelo professor e avaliada através da rubrica apresentada no quadro 2.

Quadro 2 - Rubrica de Avaliação –Atividade Experimental Investigativa

Critério Avaliado	Excelente (4)	Bom (3)	Regular (2)	Insuficiente (1)
Justificativa da Escolha do Kit	Justificativa clara, coerente e bem fundamentada nos conceitos científicos.	Justificativa razoável, com alguns fundamentos conceituais adequados.	Justificativa apresenta argumentos genéricos, carecendo de dados, superficial, sem conexão com os conceitos.	Não apresentou justificativa ou ela é irrelevante/incompleta.
Elaboração de Hipóteses	Hipóteses bem formuladas, relacionadas ao kit e aos conceitos físicos.	Hipóteses formuladas com alguma relação com o experimento.	Hipóteses genéricas ou mal relacionadas ao objetivo.	Ausência de hipóteses ou completamente desconectadas do contexto.
Compreensão Conceitual (temperatura, calor e evaporação)	Demonstra domínio conceitual e relaciona bem com o experimento.	Demonstra compreensão básica dos conceitos, com algumas conexões corretas.	Demonstra compreensão limitada, com erros ou confusões conceituais.	Apresenta conceitos incorretos ou ausência de entendimento.
Uso dos Sensores e Registro de Dados	Utiliza os sensores de forma precisa e registra dados com clareza e rigor.	Usa os sensores corretamente, com registro razoavelmente organizado.	Dificuldade no uso dos sensores ou registros incompletos.	Não utilizou adequadamente os sensores ou não registrou dados.
Trabalho em grupo e argumentação	Participação ativa de todos; argumentação organizada e colaborativa.	Participação distribuída; argumentação razoável.	Participação desigual; pouca argumentação entre os membros.	Falta de cooperação ou ausência de diálogo e argumentação.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM. (SEGUNDA OPÇÃO DE AVALIAÇÃO)

Avaliação: formativa, participação e engajamento:

- Entre a primeira e a terceira aulas a professora fará observações e análise sobre as atividades desenvolvidas.
- Avaliar o envolvimento dos alunos na discussão em grupo, sua contribuição para formulação de hipóteses e sua interação durante os debates.
- Raciocínio científico: observar se os alunos conseguem justificar suas hipóteses usando conceitos científicos básicos.
- Cooperação e trabalho em equipe: analisar como os alunos trabalham juntos e se são capazes de ouvir e respeitar as opiniões dos colegas.
- Interpretação de dados: Análise correta das medições obtidas durante a experimentação.
- O sistema realmente resfriou o conteúdo?
- O grupo apresentou ideias criativas e soluções alternativas?
- As explicações foram coerentes e bem fundamentadas nos conceitos de temperatura, calor e evaporação?
- O grupo trabalhou de forma colaborativa e organizada?
- O projeto foi bem documentado e organizado durante a apresentação?

Título da Aula 6: Organização e a Representação dos Dados SciDAVis.

Duração Prevista: 50 minutos

Objetivo Geral:

- Organizar os dados experimentais coletados, e representá-los graficamente no SciDAVis, por meio de um trabalho colaborativo de análise e interpretação.

Objetivos Específicos:

Sistematizar os dados obtidos nos experimentos construídos pelos grupos.

Inserir os dados no SciDAVis em tabelas organizadas com mediação do professor.

Construir gráficos de linhas de dispersão a partir das informações fornecidas pelos grupos.

Analisar os gráficos coletivamente, identificando os padrões e tendências.

Metodologia

- Trabalho em grupo: cada grupo organiza seus dados e sugere a forma de representá-los.
- Zona de desenvolvimento proximal: o professor atua como mediador entre o conhecimento real do aluno (dados coletados) e o conhecimento potencial (análise gráfica complexa).
- Os alunos internalizam a lógica da construção e interpretação de gráficos através da linguagem e instrução, mesmo antes de dominarem o software tecnicamente.
- E os alunos aprendem a pensar como construir e interpretar gráficos mesmo sem manipular o software diretamente.
- Discussão coletiva: os resultados são analisados em conjunto, valorizando a troca de ideias
- Mediação instrumental e social: o professor insere os dados no SciDAVis conforme as instruções dos grupos.
- O software SciDAVis e os sensores Arduino são instrumentos mediadores que transformam a percepção sensorial de "quente/frio" em signos científicos (desenhos gráficos), enquanto a discussão coletiva promove a aprendizagem através da fala e do intercâmbio com o outro.

Etapas da Aula:

1 Retomada dos Experimentos.

- Revisar os experimentos realizados e os dados coletados.
- Relembrar variáveis medidas temperatura inicial e temperatura final, tempo e o material que foi utilizado.

2 Sistematização dos dados.

- Em grupos, os alunos organizam os dados em tabelas (tabelas fornecidas pelo professor).
- Cada grupo entrega ou lê seus dados para o professor.
- Breve discussão sobre possíveis erros experimentais e consistência de valores.

3 Passo: Inserção no SciDAVis

O professor realizará a mediação dialógica, utilizando o projetor como uma ferramenta de visualização coletiva. Ao solicitar que os grupos orientem a entrada dos dados, o docente estimula a tomada de consciência sobre as variáveis físicas. Este processo de 'fazer junto' permite que o aluno saia da experiência concreta e entre no campo do pensamento abstrato-científico.

- Utilizando recursos visuais (projetor multimídia ou tela de computador) para apresentar as instruções detalhada a cada grupo.
- Cada grupo orienta a entrada dos seus dados:
- Em qual coluna inserir;
- Qual variável será eixo X e qual será o eixo Y;
- O professor executa o comando conforme instruções dos alunos(mediação)|

4 Construção e Interpretação dos Gráficos.

- O professor desenha os gráficos escolhidos (linha de dispersão).
- Após cada gráfico, o grupo faz uma leitura inicial:
- O que o gráfico mostra?
- Há um padrão?
- Como comparar com os outros materiais?

5 Passo: Discussão e Expansão

A comparação entre água, álcool e acetona visa a desestabilização dos conceitos espontâneos, levando o aluno a perceber padrões que exigem uma explicação científica mais profunda (volatilidade e calor latente). A socialização dos diferentes gráficos favorece a

interação social, onde o confronto de resultados diferentes gera a necessidade de argumentação e validação coletiva do saber. A turma discute a semelhança e diferenças entre os gráficos de todos os grupos.

Após a coleta de dados, a turma inicia uma discussão coletiva para identificar semelhanças e diferenças entre os gráficos gerados pelos diferentes grupos. Esse momento de socialização é fundamental para que os alunos percebam padrões e anomalias nos resultados obtidos com a água.

Para aprofundar a investigação, propõe-se uma expansão experimental utilizando substâncias com diferentes taxas de volatilidade: álcool e acetona, permitindo uma análise comparativa que consolida a transição para o pensamento conceitual científico.

O objetivo desta nova fase é:

- Conceituar a volatilidade: observar como substâncias que evaporam mais rápido que a água retira calor do sistema de forma mais acelerada.
- Análise termodinâmica: comparar as curvas de resfriamento nos gráficos, relacionando a velocidade de evaporação de cada líquido com a queda de temperatura registrada nos sensores de Arduino.

6 Encerramento

- Professor orienta que os alunos registrem no caderno seu gráfico do seu grupo (copiando a forma aproximada ou colando a impressão, se possível).
- Solicitar que cada grupo formule uma hipótese explicativa sobre os padrões encontrados.

Cada grupo analisa seus resultados com base nas seguintes perguntas:

- Qual material resfriou melhor? Qual foi menos eficiente?
- Como a porosidade do barro influenciou no resfriamento?
- Que tipo de transferência de calor predominou no experimento?
- No experimento da evaporação: qual líquido evaporou mais rápido? Por quê?
- O resfriamento foi mais eficiente no vaso de cerâmica, no plástico, alumínio ou no isopor?
- Como a evaporação da água influenciou a temperatura dos sistemas?
- A umidade teve algum impacto no resfriamento?

- O que acontece se aumentarmos a superfície da evaporação (exemplo: cobrindo o vaso com pano de algodão)?
- Relacionar os resultados com os conceitos de transferência de calor, evaporação e capacidade térmica dos materiais?
- Como os sistemas de refrigeração sem eletricidade podem ser úteis em locais remotos?
- Como esses conceitos podem ser aplicados para construir novas tecnologias sustentáveis?
- Como a evaporação pode ser usada para criar tecnologias sustentáveis em áreas sem acesso à eletricidade?

5.1 ROTEIRO PARA EXPERIMENTOS - AULA 6

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Tabela 1. Temperatura vaso interno x temperatura vaso externo. (°C)

[illegible]

Para o Professor: Representação Gráfica.

A proposta de construção de gráficos utilizando o SciDAVis (ou outro software equivalente) tem como objetivo favorecer a compreensão visual da variação das grandezas físicas ao longo do tempo. Para que essa compreensão seja significativa e crucial que os alunos participem ativamente do processo. Importante orientar os alunos quanto à compreensão da umidade relativa do ar como variável de estudo, uma vez que ela exerce influência direta no processo de evaporação e, conseqüentemente, na diminuição da temperatura no interior do sistema. Dessa forma, recomenda-se que os alunos, em grupos, organizem seus dados em tabelas e orientem o professor na inserção das informações no SciDAVis.

A organização dos dados e a orientação ao professor devem ser realizadas coletivamente, pois o trabalho colaborativo atua como um espaço de mediação e troca de saberes. Nessa etapa, a interação entre os pares permite a confrontação de diferentes perspectivas sobre os dados, transformando a investigação em um processo de construção social do conhecimento, característica central das metodologias ativas por investigação.

O ato de organizar os dados em tabela de forma conjunta e, em seguida, orientar o professor na inserção das informações no software estimula o desenvolvimento das habilidades essenciais, raciocínio lógico e crítico.

Ao trabalhar em grupo, os alunos precisam discutir e chegar a um consenso sobre como os dados devem ser organizados. Eles são levados a pensar criticamente sobre a coerência de suas medições e a lógica por trás da estrutura da tabela.

Comunicação e argumentação: para guiar o professor, os alunos devem se comunicar de forma clara e precisa, verbalizando suas decisões e justificando a escolha dos eixos, por exemplo. Isso fortalece a capacidade de argumentar com base em evidências.

Aprender a aprender: o grupo se torna um espaço seguro para dúvidas e erros. Um aluno pode questionar a forma como outro organizou os dados e a discussão leva a uma compreensão mais profunda do porquê certas escolhas são feitas. Eles aprendem a identificar e corrigir falhas no próprio processo de investigação. Exemplo de gráfico esperado:

- **Eixo X:** Tempo (min)
- **Eixo Y:** Temperatura sensor A externo (°C)
- **Eixo Y :** Temperatura sensor B interno (°C)
- **Eixo Y:** Umidade sensor A externo (%)
- **Eixo Y:** Umidade sensor B interno (%)

Título da Aula 7 : Intervenção Experimental sobre os Vasos de Cerâmicas e seus Diferentes Materiais Internos

Duração Prevista: 50 minutos (uma hora /aula)

Objetivo:

O objetivo desta aula é promover a tomada de consciência e a síntese do conhecimento, mediando a transição dos conceitos espontâneos (observados no experimento) para os conceitos científicos consolidados, conectando a prática às aplicações tecnológicas e socioambientais mostradas nos vídeos. Engajamento e conexão: recuperar as conclusões do experimento (cerâmica, plástico, metal e isopor) e a necessidade de materiais de baixa condutividade.

1.Nas Ações do Professor Interação Pedagógica

Apresentação do conteúdo: introduzir o vídeo como um instrumento mediador que expande o horizonte do aluno para além da sala de aula

2. Recurso Audiovisual: A Geladeira Ecológica

Vídeo 1: Geladeira ecológica: exploração da física argila e areia e das dimensões social e tecnológica.

- Título: Geladeira ecológica se torna alternativa para conservar alimentos.
- Link: <https://www.youtube.com/watch?v=9XmXSPYsdoA>
- Referência: Canal SUPREN. Publicado em 22 de abr. de 2020. Acesso em: 03 jan. 2025.
- Descrição: O vídeo apresenta o Ecoplanet, uma iniciativa mexicana que utiliza dois recipientes de argila separados por uma camada de areia e terra para refrigerar alimentos sem eletricidade. Esta tecnologia social demonstra a aplicação prática dos conceitos de evaporação e baixa condutividade térmica, alcançando temperaturas consideravelmente baixas com o uso apenas de água e energia solar.

Ações do professor: discussão orientada foco em física e tecnologia.

Intervenção pedagógica sobre o vídeo: o docente deve conduzir uma discussão orientada com foco nos pilares da Física e da Tecnologia Social:

- Apresentação do conteúdo: introduzir o vídeo (tempo total: 01:14) como um exemplo real e sustentável dos princípios físicos estudados em sala, reforçando como a ciência pode resolver problemas de vulnerabilidade social em áreas sem acesso à rede elétrica.
- Problematização e Feedback: O docente atua na Zona de Desenvolvimento Proximal, utilizando perguntas-chave para que o estudante consiga relacionar os dados do Arduino (signos) com a realidade social da geladeira ecológica. Após a exibição, utilizar a pergunta-chave para conectar a teoria à prática experimental realizada pelos alunos.

Considerando o experimento que realizamos em sala, qual material apresentou baixa condutividade térmica e desempenhou uma função semelhante à da argila na geladeira ecológica? Justifique sua resposta com base nos conceitos de isolamento térmico e troca de calor.

- Pausa estratégica: pausar o vídeo após a descrição dos materiais argila e areia.

Explicação complementar teoria: reforçar que a argila é um material poroso (porosidade) de baixa condutividade e que a argila úmida e a areia maximizam o processo físico estudado: a evaporação.

O professor deve chamar a atenção para a afirmação do vídeo de que a geladeira atinge temperaturas negativas (abaixo de 0°C).

- Pergunta-chave para os alunos: Considerando os princípios da termodinâmica e os resultados que obtivemos em nosso experimento com o Arduino, é fisicamente possível que um sistema baseado apenas em evaporação de água atinja temperaturas negativas? Justifiquem com base na análise dos gráficos.
- Discussão social e ambiental: Abordar o objetivo da empresa solução para famílias em vulnerabilidade.
- Na discussão social e interdisciplinaridade: Qual a importância dessa tecnologia de baixo custo para a sustentabilidade e para a redução da desigualdade social?

3. Na Mediação e Apresentação do Vídeo 2

O professor deve destacar que a base científica é universal. Isso demonstra que os signos da Física como as leis da termodinâmica funcionam como uma linguagem comum que permite a mediação entre diferentes culturas (Brasil, México e Marrocos) para resolver

Pergunta-chave para Reflexão:

4. Intervenção Pedagógica: Perspectiva Internacional e Soluções Sustentáveis

- Vídeo 2: Um refrigerador sem eletricidade (Un refrigerador sin electricidad)
- Link: <https://www.youtube.com/watch?v=nKg17yLy40Y>
- Referência: AJ+ Español. Publicado em 10 de fev. de 2019. Acesso em: 26 mar. 2025.
- Contexto: Este vídeo (01:08) apresenta o projeto Fresh It, desenvolvido em Marrocos, que utiliza o mesmo princípio físico do resfriamento evaporativo para conservar alimentos e medicamentos em áreas desérticas.

5. Mediação e Apresentação

O professor deve introduzir o vídeo destacando que, embora o contexto seja internacional (Marrocos) e o idioma seja o espanhol, a base científica é universal. O objetivo é mostrar como o conhecimento da física é aplicado globalmente para resolver desafios semelhantes.

6. Análise Crítica e Comparativa

Após a exibição, promover um debate guiado pelas seguintes questões:

- Design e Materiais: Quais as diferenças visuais entre o modelo marroquino (Fresh It) e o modelo apresentado no primeiro vídeo? O uso de ornamentos ou formatos específicos na argila altera a eficiência?
- Unidade Científica: O princípio físico (calor latente de evaporação) permanece o mesmo? Como os materiais locais (tipos de areia e barro) influenciam no resultado?
- Análise de Eficácia: Quais as vantagens e desvantagens de cada modelo (o nacional e o marroquino) considerando o transporte e a durabilidade?
- Discussão: Contexto Cultural e Inovação Social

6.1 Expandir a reflexão para a dimensão sócio tecnológica:

- Adaptação: Como a ciência e a tecnologia se moldam às diferentes realidades culturais e geográficas?

- **Inovação de Baixo Custo:** Por que soluções baseadas em princípios físicos básicos são, frequentemente, mais eficazes e resilientes em comunidades rurais ou vulneráveis do que tecnologias dependentes de redes elétricas complexas?

7. SÍNTESE FINAL E FEEDBACK DOCENTE

Neste momento, o professor assume a função de consolidador, ligando as três etapas
Experimento prático → Conceito teórico → Aplicação tecnológica.

7.1 Conexão com a Física Teoria e Prática:

Conexão com a Física (internalização): O professor assume a função de descentralizador do saber, ajudando o aluno a organizar suas funções psicológicas superiores. Ao explicar a Lei de Fourier e o Resfriamento Evaporativo, o docente fornece o andaime teórico para que o aluno internalize que o suor do corpo e a porosidade do barro seguem o mesmo princípio físico.

A Lei de Fourier na argila: A baixa condutividade térmica da argila e da cerâmica diminuiu a velocidade do fluxo de calor via lei de Fourier, estabilizando a temperatura interna e permitindo que o processo de resfriamento pela evaporação da água seja mais eficaz.

Resfriamento evaporativo: O resfriamento por evaporação é a transferência de calor do objeto/ambiente para a água que está evaporando e transformando-se em vapor, o que é, na verdade, uma forma contínua de troca de calor. É o mesmo princípio que resfria nosso corpo através do suor.

7.2 Desenvolvimento do pensamento investigativo:

Fornecer uma devolutiva sobre a ação investigativa dos alunos no experimento anterior. Desenvolvimento do pensamento investigativo: Fornecer uma devolutiva sobre a ação dos alunos, destacando que a interação social e o trabalho coletivo no experimento foram os motores para a construção da autonomia intelectual protagonismo. As ações dos alunos ao tentarem controlar as variáveis no experimento por exemplo, a água e a umidade refletem o pensamento investigativo, essencial para a ciência. Os alunos não apenas seguiram um protocolo, mas agiram como cientistas, buscando soluções para otimizar o resfriamento.

7.3 Propor a reflexão final:

A tecnologia nem sempre precisa ser complexa. O uso inteligente de princípios de termodinâmica pode levar a inovações sustentáveis e acessíveis, mostrando a força da ciência básica na resolução de problemas globais.

Título da Aula 8: Calor e Evaporação com Aprendizagem por Investigação.

Duração Prevista: 50 minutos (uma hora /aula)

1.Problema:

Por que alguns líquidos evaporam mais rápido do que outros, mesmo quando estão expostos as mesmas condições de temperatura e ambiente?

2.Objetivo:

- Investigar os efeitos do calor na evaporação de diferentes líquidos.
- Coletar, registrar e comparar dados experimentais usando o Arduino e termômetros tradicionais.
- Desenvolver habilidades de análise gráfica com o uso do software SciDAVis.

3.Metodologia

Aprendizagem baseada em investigação, estimulando o protagonismo dos estudantes na formulação de hipóteses, execução do experimento, análise de dados e construção das conclusões.

3.1- Organizar a turma:

Organizar a turma em grupos de 5 ou 6 alunos. Cada integrante terá uma função para realizar atividade.

4. Materiais disponíveis: Cada grupo terá um kit de materiais para cada grupo com diferentes fluidos. A lista de materiais é:

- Becker (para medir os líquidos).
- Diferentes líquidos (álcool e acetona).
- Cronômetro.
- Termômetro de laboratório.
- Papel toalha.
- Tubo de proveta graduada.
- Alfinetes ou fitas adesivas.

- Kit Arduino placa, protoboard, fios jumper, e sensor.
- Software SciDAVis ou outro software para plotagem de gráficos.
- Notebooks ou computadores.
- Roteiro para guiar a atividade (fornecido pelo professor).

5. Recursos Didáticos

- Computadores com SciDAVis
- Data show para demonstração
- Cadernos, tabelas impressas, ou planilhas digitais
- Internet.

6. Etapas da Atividade Experimental:

Antes de começar o experimento, o grupo deve formular resposta para algumas questões:

- Pré investigação, as questões estão disponíveis para impressão no final das instruções. (pag. 92). Em seguida pós aprendizagem está na pag. (98 e 99) . Disponível para impressão.

7. Contextualização e Levantamento de Hipóteses

Antes de iniciarem a coleta de dados com o Arduino, os grupos devem discutir e registrar suas previsões sobre o comportamento do experimento. Esta etapa visa estimular o pensamento científico e a antecipação de variáveis. Em vez de um questionário estático, esta etapa será conduzida por meio de uma aula dialogada, permitindo a troca de percepções entre os grupos e o docente.

8. Sugestão de questões norteadoras para professor conversar com os estudantes: Aula dialogada.

1. Previsão de curva térmica: De que maneira vocês esperam que a temperatura varie ao longo do processo de evaporação do líquido escolhido?
2. Taxa de evaporação: Com base no que conhecem sobre a substância (água, álcool ou acetona), vocês acreditam que ela evaporará rapidamente ou lentamente? Por quê?

3. Variáveis de interferência: Quais fatores externos podem influenciar a precisão da medição? (Exemplos: incidência de vento, umidade relativa do ar ou a quantidade de líquido utilizada).
4. Protocolos de experimentação: Quais cuidados técnicos e de segurança o grupo deve adotar para garantir que a medição seja precisa e que o manuseio dos componentes (Arduino e sensores) seja seguro?
5. Confronto de dados: Ao compararem os gráficos da água e do álcool, o que vocês perceberam sobre a inclinação da curva de temperatura? Por que isso acontece?"
6. Análise de variáveis: O vento ou a umidade hoje interferiram nos resultados de algum grupo? Como podemos provar isso pelos dados do Arduino?"
7. Pensamento crítico: O vídeo que assistimos mencionou temperaturas negativas. Com base no que vocês acabaram de medir e ver nos gráficos, essa informação é sustentável?"
8. Conclusão coletiva: Como poderíamos melhorar o design dessa geladeira ecológica para que ela fosse mais eficiente em nossa região?

9. Execução do experimento:

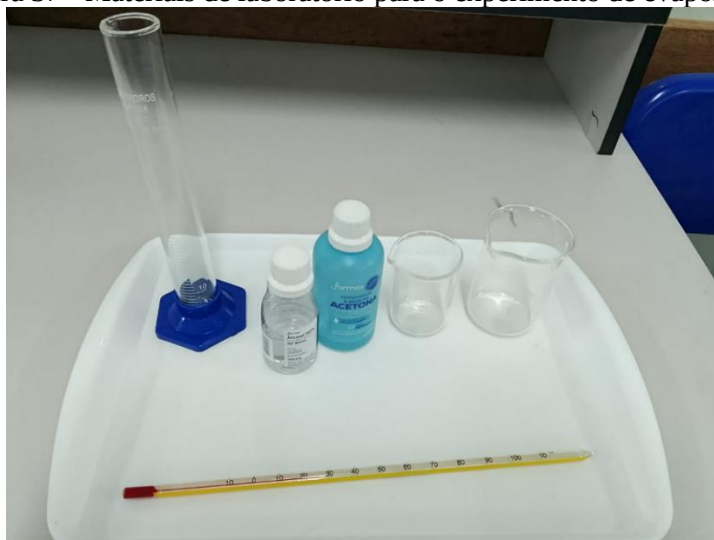
1.Como envolver a proveta graduada com papel:

- Envolvam a proveta graduada com papel toalha de forma uniforme.
- Umedecer o papel com o mesmo volume de líquido em cada amostra.
- Fixar com a fita adesiva para afirmar.

2.Medições:

- Usem cronômetro para marcar intervalos de tempo em intervalos a cada 5 minutos.
- Utilizar o termômetro e sensor para medir a temperatura dentro do tubo de proveta graduada.
- Registrar todos os dados em uma tabela que será entregue pela professor (a) organizada tempo x temperatura.

Figura 37 - Materiais de laboratório para o experimento de evaporação.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025

A imagem da figura 37 ilustra uma bandeja com diversos materiais de laboratório, para a preparação do experimento científico sobre fluídos utilizando álcool e acetona para compreensão de evaporação. Tubo de proveta graduada de vidro para medições precisas de volume, dois béqueres de vidro, um frasco de acetona, um frasco menor com álcool e um termômetro de laboratório. Esses materiais foram utilizados para que os estudantes observassem, comparassem e analisassem o comportamento térmico dos líquidos, que envolve a variação de temperatura e o processo de evaporação, permitindo a formulação e a verificação de hipóteses ao longo do experimento.

10. Coleta de Dados:

- Iniciar o cronômetro e registra-se as temperaturas a cada 5 minutos ou 10 minutos.
- Observar e anotar os dados obtidos pelos termômetros e pelo Arduino.

11. Análise de dados e plotagem de gráficos.

Registro e organização dos dados:

Inserir os dados coletados (tempo x temperatura) no SciDAVis ou outra ferramenta de análise.

- Cada grupo organiza os dados para orientar o professor (a) para plotagem de gráficos e cria dois gráficos para visualizar a curva de resfriamento e evaporação.

- Discuta as variações observadas, como a rapidez da evaporação de líquidos (álcool e acetona) em comparação com a água.

12 Conclusão e discussão coletiva.

- Cada grupo apresenta seu gráfico e conclusões respondendo as seguintes questões.
- Discussão orientada pelo professor (a):
- O que aprenderam sobre evaporação e influência de temperatura?
- O que fariam diferente se repetissem o experimento?
- Quais conceitos de física puderam aprender?
- Quais variáveis poderiam ser controladas para obter mais precisão nos resultados?

13.Variáveis de controle para precisão dos resultados.

Para garantir o rigor científico da investigação, os grupos devem discutir como controlar os seguintes fatores:

- Isolamento do sensor: garantir que o sensor de temperatura esteja em contato direto com o líquido ou a superfície úmida, evitando interferência da temperatura do ar ao redor.
- Volume estritamente igual: utilizar a mesma quantidade de líquido (água, álcool ou acetona) em todos os testes para que a massa não influencie na taxa de resfriamento.
- Ambiente controlado: evitar correntes de ar diretas ou exposição solar variável durante a medição, a menos que o vento seja a variável propositalmente testada.
- Frequência de registro: Padronizar o intervalo de tempo na IDE do Arduino para que todos os grupos tenham a mesma densidade de pontos no gráfico.

14.Avaliação formativa critérios

Em vez de apenas listar itens, apresente como o professor observará o desenvolvimento dos alunos durante a Sequência Didática:

A avaliação será processual e formativa, observando-se os seguintes indicadores de desempenho:

- Colaboração e engajamento: A capacidade de participação ativa e a divisão de tarefas dentro dos grupos de trabalho.
- Gestão de recursos: O cuidado e a organização no manuseio dos componentes eletrônicos Arduino, sensores e protoboard.

- Letramento científico: A precisão no registro dos dados coletados e a qualidade técnica dos gráficos gerados.
- Argumentação baseada em evidências: A habilidade do aluno em defender suas conclusões utilizando os dados reais do experimento para confrontar informações.

15. Porque utilizar Questionários Pré e Pós

A estrutura da Sequência Didática baseia-se na Metodologia Ativa por Investigação, onde o aprendizado não é linear, mas sim um processo de transformação de ideias.

1. O Questionário Pré-Investigação Levantamento de Hipóteses.

Nesta fase, o objetivo não é avaliar o certo ou errado, mas sim:

- Sondar conhecimentos prévios sobre o experimento: identificar o que o aluno já sabe sobre termodinâmica e evaporação antes de usar o Arduino.
- Criar conflito cognitivo: preparar o terreno para que, ao ver o vídeo, o aluno tenha ferramentas para questionar afirmações duvidosas, se houver como a temperatura graus negativos.

2. O Questionário Pós-Investigação Sistematização e Reflexão

Após a prática experimental com álcool e acetona, as perguntas servem para consolidar o aprendizado:

- Confronto de evidências: o aluno agora utiliza os gráficos gerados pelo Arduino como prova científica para responder às dúvidas iniciais.
- Análise de variáveis: permite que o aluno reflita sobre o que poderia ser controlado como vento e umidade para obter resultados mais precisos.
- Pensamento crítico: É o momento onde o aluno, munido de dados reais, refuta informações incorretas apresentadas na mídia (interdisciplinaridade).

Questionário pré – experimento.

Antes de começar o experimento, o grupo deve formular respostas para algumas questões:

1) Como a temperatura deve variar durante o processo de evaporação do seu líquido?

2) Esse líquido tende a evaporar rapidamente o lentamente?

3) Quais fatores pode interferir na medição vento,umidade, quantidade de líquido?

4) Que cuidados o grupo precisa ter para garantir uma medição precisa e segura?

Cada grupo deve preencher uma tabela com as medições de temperatura e umidade feitas ao longo do tempo usando o kit Arduino.

Nº do grupo: _____

Medidor Arduino ()

Tabela 5. Análise de tempo, temperatura e umidade.

[illegible]

TABELA 6 AULA 8:ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Cada grupo deve preencher uma tabela com as medições de temperatura e umidade feitas ao longo do tempo usando um termômetro de laboratório.

Fluido utilizado:_____

Nº do grupo: _____

Medidor termômetro ()

Medidor Arduino ()

Tabela 6 - Análise de tempo e temperatura, álcool.

[illegible]

Questionário 6

Questionário Pós – AULA 8

Cada grupo apresenta seu gráfico e conclusões respondendo as seguintes questões.

Discussão orientada pelo professor (a): comparar os diferentes líquidos álcool e acetona.

1. O que aprenderam sobre evaporação e influência de temperatura?

2. O que fariam de diferente se repetissem o experimento?

3. Quais conceitos de Física puderam aprender?

4. Quais variáveis poderiam ser controladas para obter mais precisão nos resultados?

5. Qual líquido evaporou mais rapidamente ? Por quê?

6. Se a experiência fosse feita em um ambiente mais seco ou mais úmido, os resultados seriam diferentes?

7. A temperatura ambiente influenciou a taxa de evaporação?

Quadro 8 – Aula 8 - Rubrica de Avaliação.

Critério	Excelente (3 pts)	Bom (2 pts)	Em desenvolvimento(1)
Participação e Trabalho em grupo	Participam ativamente, dividiram tarefas e colaboraram de forma organizada	A maioria participou, mas houve pouca divisão equilibrada das tarefas.	Participação limitada entre os grupos
Registro e Organização dos Dados.	Tabelas completas claras, bem organizadas, com todas as medições registradas	Tabelas parcialmente preenchidas ou com pequenos erros de organização.	Registro incompletos, desorganizados, ou ausente.
Elaboração de gráficos no SciDAVis	Gráfico completo, com eixo identificados, título adequado e legenda. Dados bem representados.	Gráfico incompleto com ausência de unidades de medida e as grandezas Física.	Gráfico incompleto ou com erros significativo eixo sem identificação, ausência de títulos ou legenda. Dados mal representados ou inconsistentes.
Análise e Interpretação	Explicações claras, conectando dados as propriedades dos líquidos ponto de ebulição. Inclui análise crítica das variações.	Explicações básicas, com pouca relação entre dados e conceitos.	Explicações confusas ou incoerentes, sem relações clara com os dados coletados. Não há conexão entre as observações e as propriedades dos líquidos.
Conclusões e Hipóteses	Conclusões organizada e coerente, compararam hipóteses com resultados e reconhecem limites do experimento.	Conclusões parciais, sem comparação clara com hipóteses.	Conclusões ausentes ou sem relação com os resultados obtidos. Não houve tentativa de comparação com as hipóteses iniciais.

Fonte: Elaborada pela autora, 2025

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- ASTH, Rafael C. Lei Zero da Termodinâmica. *Toda Matéria*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-zero-da-termodinamica/>. Acesso em: 20 jan. 2026.
- BERBEL, Neusi Aparecida Navas. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 25–40, 2012. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminasoc/article/view/10326>. Acesso em: 18 dez. 2024.
- BEZERRA, Everton Antunes. Desenvolvimento de uma bomba simulada com Arduino para o ensino da associação de resistores. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.
- BEZERRA, E. A. ROBÓTICA EDUCACIONAL: um guia para implantação de baixo custo com Arduino. 2019. 167 f. TCC (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul, Naviraí, 2019.
- CASTRO, L. H. M.; SANTOS, R. O uso do Arduino e a criação de objetos educacionais em tempos e espaços desarticulados. *Revista de Ciência da Computação*, v. 2, n. 1, p. 5–12, 2020.
- CARVALHO, A. M. P. (org.). Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. *Termodinâmica*. 7. ed. Tradução: Paulo Maurício Costa Gomes; revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2013. E-book.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física — Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. Tradução LTC, 10. ed., 2016.

HELERBROCK, Rafael. Equilíbrio térmico. *Mundo Educação*. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/autor/rafael-helerbrock/107>. Acesso em: 20 jan. 2026.

LAMIM-GUEDES, Valdir (org.). *Metodologias ativas: diferentes abordagens e suas aplicações*. São Paulo: Na Raiz, 2021. 117 p.: il.; 14,8 x 21 cm; PDF. ISBN 978-65-88711-10-1. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4628554>. Acesso em: 18 dez. 2024.

MELO, Pâmella Raphaella. *Mundo Educação*, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/autor/pamella-raphaella-melo/203>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MOREIRA, M. A.; AXT, R. (1992). “O papel da experimentação no ensino de Ciências”. *Tópicos em Ensino de Ciência*. São Paulo: Distribuidora, São Paulo.

SUHR, Inge Renate Frose. Expectativas dos alunos de cursos superiores blended learning utilizando metodologias ativas em relação à ação do professor nos momentos presenciais. *Boletim Técnico do Senac*, [S. l.], v. 43, n. 3, 2017. DOI: 10.26849/bts.v43i3.601. Disponível em: <https://www.bts.senac.br/bts/article/view/601>. Acesso em: 18 dez. 2024.

RIBEIRO, Paula de Souza Bello Stechman. *Inquiry-Based Learning (IBL): uma realidade para professores dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental*. 2023. 160 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Instituto de Educação, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2023. Disponível em: https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10451/61136/1/ulfpie057322_tm.pdf. Acesso em: 31 ago. 2025.

SILVA, Edson Pereira da; LIRA, Marcos Antônio Tavares. A Utilização da Plataforma Arduino como Recurso Didático no Ensino de Eletrodinâmica. *Revista do Professor de Física*, Brasília, v. 6, n. Especial, p. 78-87, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/45934>.

SOUSA, S. S. F. de. Utilização da plataforma Arduino no processo de ensino/aprendizado de fundamentos de eletricidade na física. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 3, e5213345227, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i3.45227. Acesso em: 23 out. 2024.

SUHR, Inge Renate Frose. Expectativas dos alunos de cursos superiores blended learning utilizando metodologias ativas em relação à ação do professor nos momentos presenciais.

Boletim Técnico do Senac, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 8–25, set./dez. 2017. Disponível em: <http://www.bts.senac.br/index.php/bts/article/view/601>. Acesso em: 19 dez. 2024.

VALIM, Paulo. Pressão, volume e temperatura: o que você precisa saber. *Ciência em Ação*, 2023. Disponível em: <https://cienciaemacao.com.br/pressao-volume-e-temperatura-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 20 jan. 2026.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e linguagem*. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

ZOMPERO, Andreia de Freitas; ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de; MASTELARI, Tânia Belizario; VAGULA, Edilaine. Ensino por investigação e aproximações com a aprendizagem baseada em problemas. *Debates em Educação*, [S. l.], v. 11, n. 25, p. 222–239, 2019. DOI: 10.28998/2175-6600.2019v11n25p222-239. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/7740>. Acesso em: 19 dez. 2025

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros. Vol. 1. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

APÊNDICE A - TUTORIAL DE COMO BAIXAR O SOFTWARE ARDUINO (IDE)

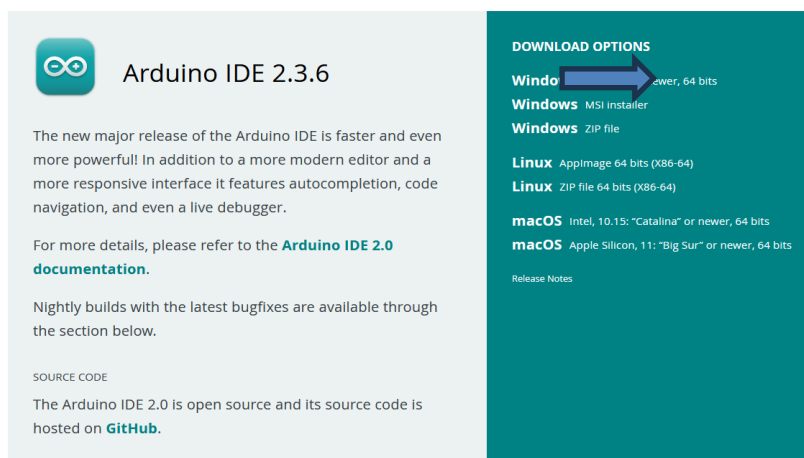
Passo 1: Acessar o site oficial.

Para realizar o download do software Arduino (IDE), o professor deve acessar o site oficial da plataforma, onde estão disponíveis as versões atualizadas do software para diferentes sistemas operacionais. O endereço de acesso é pelo link: <https://www.Arduino.cc/en/software/>

- Baixar e instalar o software Arduino (IDE);
- Configurar a placa e selecionar a porta de comunicação;
- Escrever, compilar e carregar (upload) códigos para a placa Arduino;
- Testar os exemplos básicos que serão utilizados nessa dissertação.

Na página, clique em “Windows Win 10 and newer, 64 bits”, como mostra a Figura A1.

Figura A1 - Acesso ao site para download da IDE do Arduino
Downloads



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Passo 2: Escolher a versão do software

Na página de download selecione a versão compatível com seu sistema operacional:

Depois, clique em “JUST DOWNLOAD”. Clique no link para realizar download.

- Windows (zip ou installer)

Figura A2 - Como baixar a IDE do Arduino.

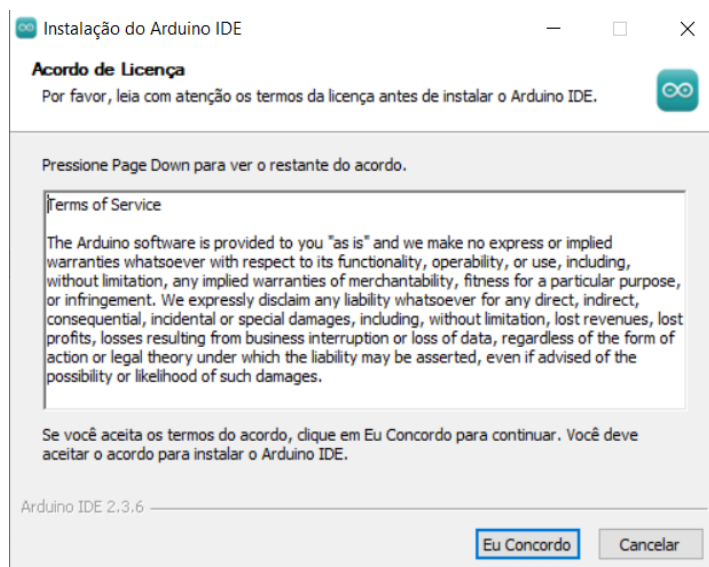


Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Passo 3: Realizar o download

Ao clicar, o download será iniciado automaticamente. Aguarde até que o arquivo seja totalmente baixado. Você deve ler e concordar com os termos de uso, então fazer as confirmações que o instalador solicitar. Após o download clicar em “eu concordo”.

Figura A3 - Acordo de licença

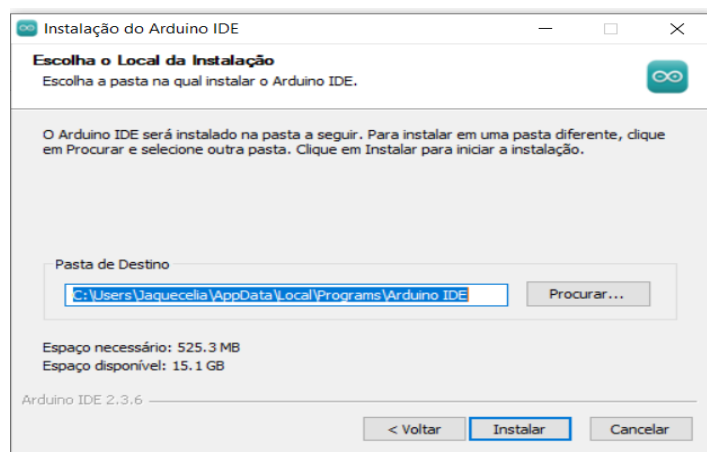


Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

4 Passo 4: Instalação do Arduino IDE

1. Clique duas vezes no arquivo **.exe** baixado.
2. O assistente de instalação será aberto: clique em "Next", aceite os termos de licença e (I Agree) e selecione o diretório de instalação.
3. Marque a opção para criar um atalho na área de trabalho (opcional).
4. Clicar em próximo "Install" para iniciar o processo.
5. Ao finalizar, clique em "Close" (ou concluir).

Figura A4 - Instalação do Arduino IDE



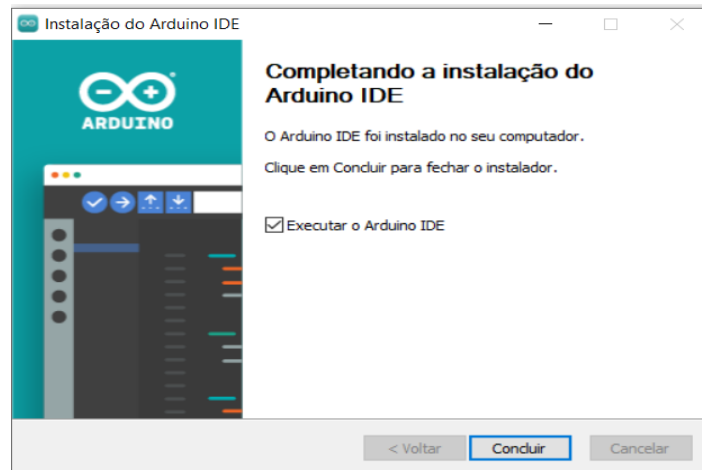
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Depois de clicar em “Concluir”, o instalador encerrará o processo e exibirá a mensagem de confirmação. Essa tela indica que o Arduino IDE foi instalado corretamente e está pronto para uso, conforme ilustrado na figura A5.

Passo 5: Instalação do Arduino IDE

Conforme mostrado na figura A5, após finalizar o processo de instalação, o sistema exibe a mensagem de conclusão, confirmando que o Arduino IDE está instalado e pronto para ser utilizado pelo professor (a).

Figura A5 - Software concluído.



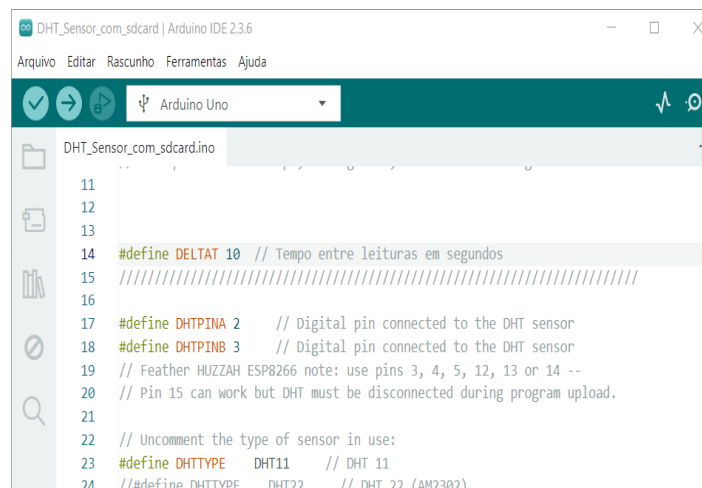
Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Passo 6: Primeira execução

Abra o Arduino IDE: no windows, pelo menu iniciar ou pelo atalho criado.

Na primeira execução, o software carrega as bibliotecas padrões, inicializa e prepara o ambiente de desenvolvimento. O programa estará disponível na área de trabalho, conforme mostra a figura A6.

Figura A6 - Software IDE do Arduino exibindo o código padrão de exemplo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Após o carregamento, o IDE abrirá automaticamente na interface do software. A figura A 6 é o código ja instalado que foi utilizado nesse trabalho.

APÊNDICE B - TUTORIAL SOFTWARE SCIDAVIS

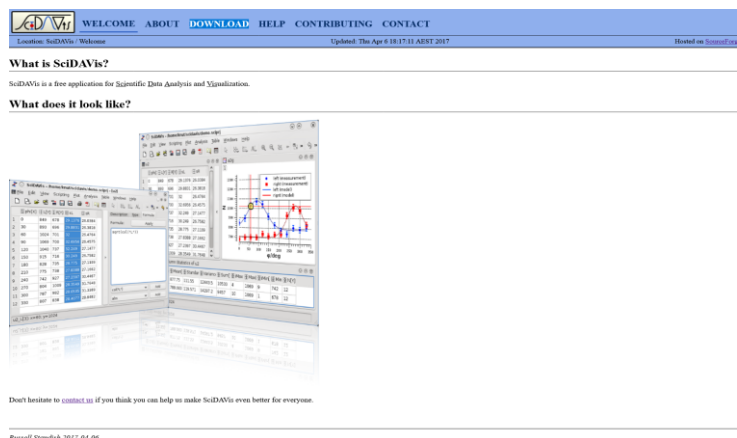
O SciDAVis é um software gratuito e de código aberto, voltado para análise de dados e criação de gráficos científicos. Ele é ideal para estudantes, professores e profissionais que necessitam manipular dados experimentais e gerar gráficos de alta qualidade.

Passo 1: Acessar o site oficial.

Para fazer o download SciDAVis, acesse o site oficial através do seguinte link: <http://scidavis.sourceforge.net/>

Após clicar no link, você será direcionado a página de download. Embora a página esteja em inglês, é possível utilizar recursos de tradução do navegador para facilitar a navegação e a realização do download.

Figura B1: Página do software SciDAVis

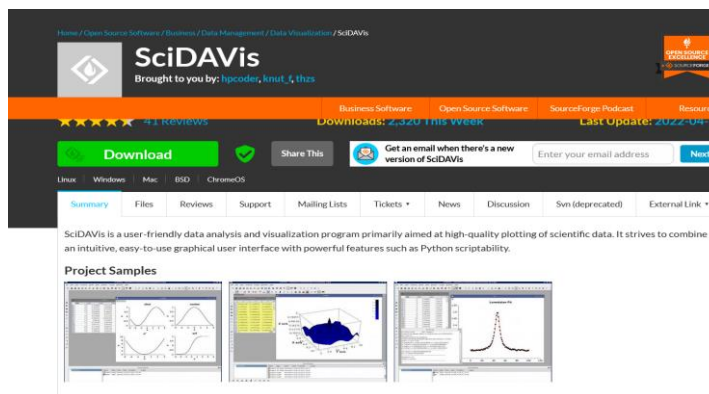


Fonte: site oficial SciDAVis

Passo 2. Selecionar a opção de download .

Clique em download ou descarregar. O link te levará a tela de baixar download.

Figura B2 - Acesso ao site para download SciDAVis.



Fonte: site oficial SciDAVis.

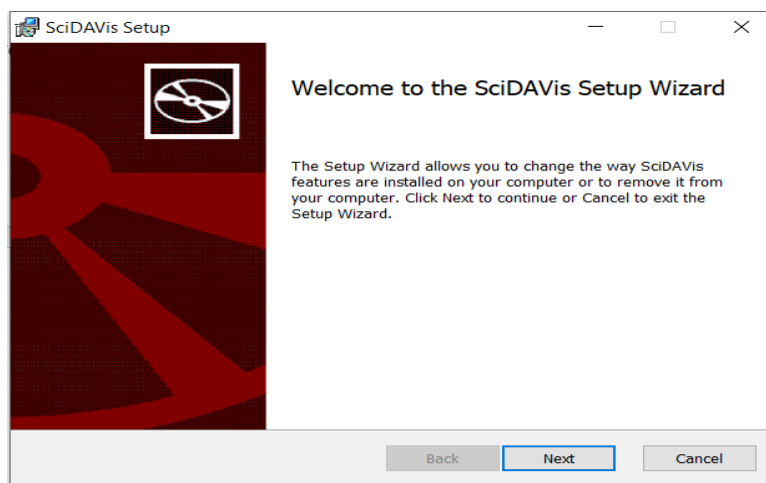
Passo 3: Baixar arquivo.

Selecione o instalador correspondente ao seu sistema operacional e aguarde o download ser concluído.

Passo 4: Instalação do SciDAVis (Windows)

1. Clique duas vezes no arquivo .exe baixado.
2. Siga o assistente de instalação: clique em "Next", aceite os termos de licença e escolha o diretório de instalação.
3. Clicar em Install ou repair para instalação se já houve instalação de versão anterior.
4. Conclua a instalação clicando em "Finish".

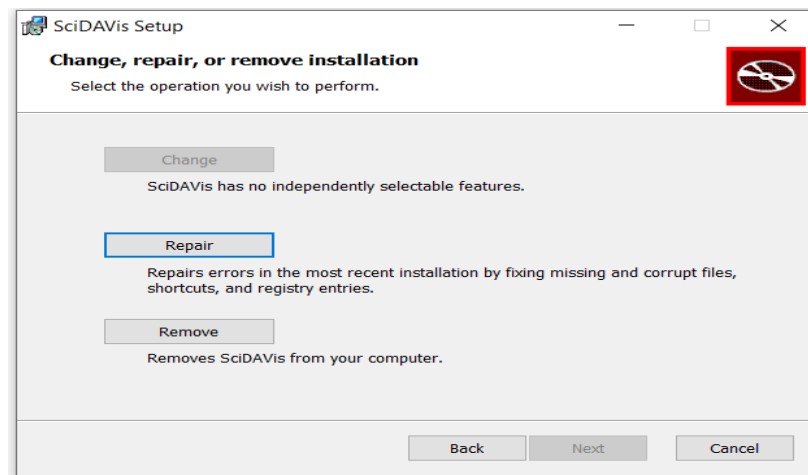
Figura B3 - Página do site do Software.



Fonte: Elaborada pela autora, 2026.

Passo 5. Após o processo de instalação, clique Finish.

Figura B4 - Instalação do software

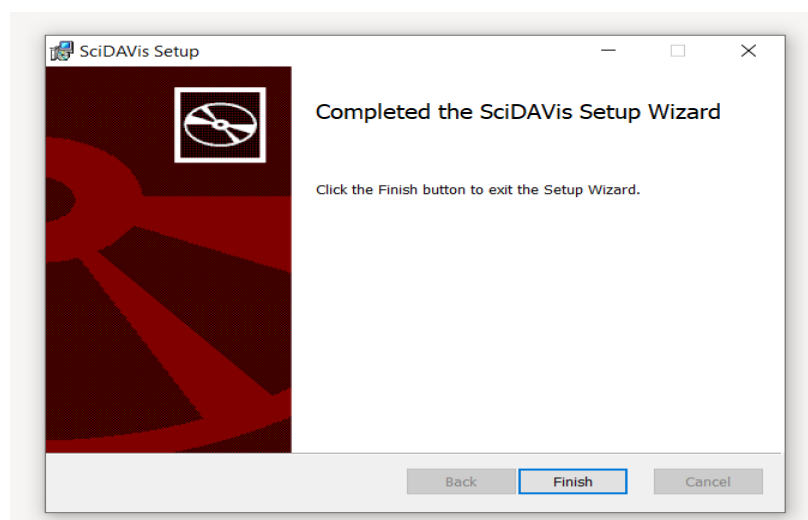


Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Passo 6. Primeira execução

Após instalado, abra o programa clicando duas vezes no ícone do SciDAVis na área de trabalho ou menu iniciar. A figura B5 a seguir apresenta os principais elementos da interface inicial do SciDAVis.

Figura B5 - Download completo.



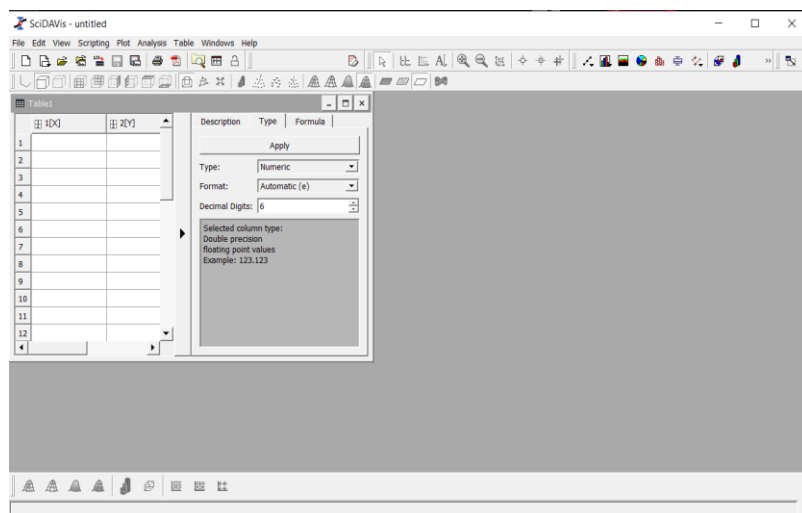
Fonte: Elaborada pela autora, 2025

Após a instalação, abra o programa: clique duas vezes em cima do software. A imagem apresentada mostra a interface principal do SciDAVis, um ambiente completo para análise de dados e criação de gráficos científicos. Nela, destacam-se os seguintes componentes:

1. Barra de menus: localizada na parte superior, permite acesso aos principais comandos, como criação de tabelas, gráficos, análise de dados e ajustes de configurações.
2. Barra de ferramentas: logo abaixo da barra de menus, com ícones de atalho para ações rápidas, como abrir, salvar, criar gráficos e manipular tabelas.
3. Área de trabalho: espaço onde são exibidos gráficos, tabelas e janelas de ajuste durante a utilização do programa.
4. Janela de tabela (Table1): local onde os dados são inseridos para análise. Nessa janela, as colunas são nomeadas (por exemplo, 1[X] e 2[Y]) e os valores são preenchidos manualmente ou importados.
5. Painel de propriedades: à direita da tabela, permite ajustar o tipo de dado, formato de exibição, número de casas decimais e até fórmulas para cálculo automático.

Essa interface é projetada para ser intuitiva e prática, facilitando a manipulação de dados e a criação de gráficos científicos de alta qualidade.

Figura B6 - Software SciDAVis.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Passo 7: Configurações iniciais

Ao abrir o SciDAVis pela primeira vez:

- Configure o idioma (se necessário).
- Defina preferências básicas, como tema e atalhos.

Área da Tabela (Table1).

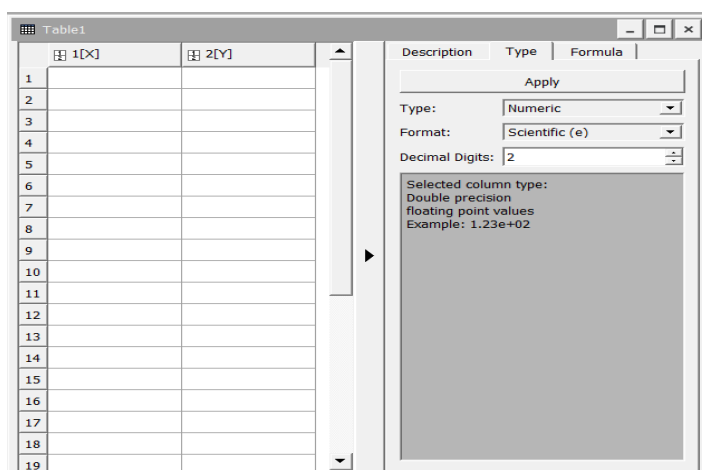
As colunas estão nomeadas como **1[X]** e **2[Y]**, representando, geralmente os dados de entrada (X) e saída (Y) para plotagens de gráficos. Você pode inserir valores diretamente nessas células, e o SciDAVis organizará os dados para gerar gráficos ou análises.

Painel de Configuração (à direita)

Possui três abas principais:

1. Description: para adicionar uma descrição aos dados da coluna.
2. Type: é onde está selecionado na imagem. Os campos são:
3. Type: define o tipo de dado (Numeric, Text, etc.). Está em Numeric no exemplo.
Format: formato de exibição dos números padrão é Automatic (e), que utiliza notação científica quando necessário.
4. Decimal digits: número de casas decimais para exibição no exemplo, está em 6.
5. Formula: permite definir fórmulas para manipulação de dados diretamente na coluna.
6. Botão Apply: após fazer ajustes no tipo de dado, formato ou número de dígitos decimais, é necessário clicar em “Apply” para salvar as alterações.

Figura B7 -Painel de configuração.



Fonte:Elaborada pela autora, 2025.

Passo 8: Criando seu primeiro gráfico

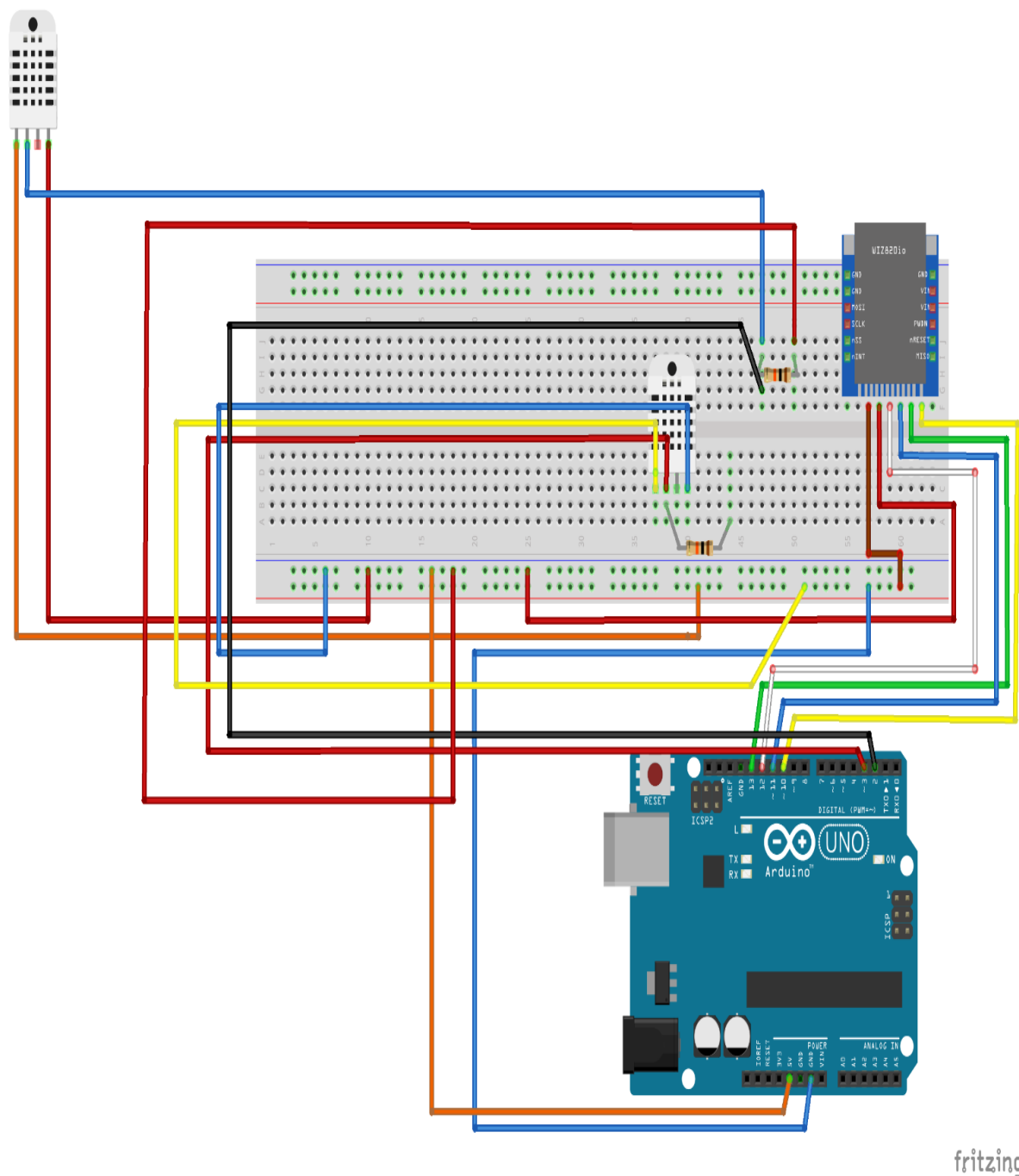
1. Vá para file → New → New Table.
2. Insira seus dados nas colunas.

3. Para gerar um gráfico, selecione os dados e clique em Plot → New Plot.
4. Escolha o tipo de gráfico desejado linhas, barras e dispersão.

Passo 9: Salvando e exportando

1. Para salvar seu projeto, vá em File → Save As e escolha o local.
2. Para um gráfico, utilize file → Export Graph e escolha o formato (png ou pdf).

APÊNDICE C – ESQUEMA DO CIRCUITO MONTADO NO FRITZING.



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

APÊNDICE D – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO

```
1 // REQUIRES the following Arduino libraries:
2 // - DHT Sensor Library: https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library
3 // - Adafruit Unified Sensor Lib:
4 https://github.com/adafruit/Adafruit\_Sensor
5
6 #include <Adafruit_Sensor.h>
7 #include <DHT.h>
8 #include <DHT_U.h>
9
10 // Coloque abaixo o tempo, em segundos, entre leituras e gravacoes:
11
12
13
14 #define DELTAT 30 // Tempo entre leituras em segundos
15
16
17 #define DHTPIN A 2 // Digital pin connected to the DHT sensor
18 #define DHTPIN B 3 // Digital pin connected to the DHT sensor
19 // Feather HUZZAH ESP8266 note: use pins 3, 4, 5, 12, 13 or 14 --
20 // Pin 15 can work but DHT must be disconnected during program upload.
21
22 // Uncomment the type of sensor in use:
23 #define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
24 // #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
25 // #define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
26
27 // See guide for details on sensor wiring and usage:
28 // https://learn.adafruit.com/dht/overview
29
30 DHT_Unified dhtA(DHTPIN A, DHTTYPE);
```

```

31 DHT_Unified dhtB(DHTPINB, DHTTYPE);

32
33 //Parte do cartao SD
34 #include <SdFat.h> //
    https://github.com/greiman/SdFat/
35 #include <SPI.h>
36 //#include <Wire.h>
37 //#include <RTCLib.h> // library from
    https://github.com/adafruit/RTCLib
38 //RTC_DS1307 RTC; // The real time clock
    object is "RTC"
39 #define DS1307_I2C_ADDRESS 0x68
40 SdFat SD; // The SdFat object is
    "SD"
41 #define MOSIpin 11 // For SD card
42 #define MISOpin 12 // For SD card
43 const int chipSelect = 10; // CS pin for the SD card:
    10 para o modulo CS e 4 para datashield do nano
44 char tmeStrng[ ] = "0000/00/00,00:00:00"; // a template for a
    data/time string
45 long utc;
46 unsigned long logMillis = DELTAT * 1000; // *****
    Enter ***** the number of miliseconds between logging events
47 char nome_arquivoA[ ] = "dadosA.txt"; // template para o nome do
    arquivo
48 char nome_arquivoB[ ] = "dadosB.txt"; // template para o nome do
    arquivo
49 sensor_t sensorA;
50 sensor_t sensorB;

51
52 uint32_t delayMS;
53 unsigned long tempo_decorrido;

54
55 void setup() {
56 Serial.begin(9600);
57 // Initialize device.
58 dhtA.begin();
59 dhtB.begin();

60
61 Serial.println(F("Sensor Duplo - Projeto Refrigerador Passivo"));
62 // Print temperature sensor details.
63 dhtA.temperature().getSensor(&sensorA);

```

```

64 dhtB.temperature().getSensor(&sensorB);

65
66 Serial.println(F("-----"));
67 Serial.println(F("Temperature Sensor"));
68 Serial.print (F("Sensor Type: ")); Serial.println(sensorA.name);
69 Serial.print (F("Driver Ver: ")); Serial.println(sensorA.version);
70 Serial.print (F("Unique ID: ")); Serial.println(sensorA.sensor_id);
71 Serial.print (F("Max Value: ")); Serial.print(sensorA.max_value);
    Serial.println(F("°C"));
72 Serial.print (F("Min Value: ")); Serial.print(sensorA.min_value);
    Serial.println(F("°C"));
73 Serial.print (F("Resolution: ")); Serial.print(sensorA.resolution);
    Serial.println(F("°C"));
74 Serial.println(F("-----"));
75 // Print humidity sensor details.
76 dhtA.humidity().getSensor(&sensorA);
77 Serial.println(F("Humidity Sensor"));
78 Serial.print (F("Sensor Type: ")); Serial.println(sensorA.name);
79 Serial.print (F("Driver Ver: ")); Serial.println(sensorA.version);
80 Serial.print (F("Unique ID: ")); Serial.println(sensorA.sensor_id);
81 Serial.print (F("Max Value: ")); Serial.print(sensorA.max_value);
    Serial.println(F("%"));
82 Serial.print (F("Min Value: ")); Serial.print(sensorA.min_value);
    Serial.println(F("%"));
83 Serial.print (F("Resolution: ")); Serial.print(sensorA.resolution);
    Serial.println(F("%"));
84 Serial.println(F("-----"));
85 // Set delay between sensor readings based on sensor details.
86 delayMS = sensorB.min_delay / 1000;

87
88
89 // Wire.begin();                // initialize the I2C interface
90 // RTC.begin();                 // initialize the RTC
91 // Uncomment the line below and load the sketch to the Nano to set the
    RTC time. Then the line must
92 // be commented out and the sketch loaded again or the time will be
    wrong.
93 //RTC.adjust(DateTime((__DATE__), (__TIME__))); //sets the RTC to the
    time the sketch was compiled.

94 while (!Serial) {
95
96 ;                               // wait for serial port to connect.
    Needed for native USB port only

```

```

97 }
98 Serial.println("Abrindo um novo arquivo para esta medição:");
99 Serial.print("Determinando se o cartao SD funciona: ");           //
    initialize and display the status of the SD card:
100 if (!SD.begin(chipSelect)) {
101 Serial.println("Cartao falhou!");
102 while(1);
103 }
104 Serial.println(" Cartao OK");
105 Serial.print("Repetindo o ciclo a cada ");
106 Serial.print(DELTAT);
107 Serial.println(" segundos.");
108 Serial.println();

    a. //print a header to the data
        file with column headings

109
110
111 File dataFileA = SD.open(nome_arquivoA, FILE_WRITE);
112 File dataFileB = SD.open(nome_arquivoB, FILE_WRITE);

113
114 if (dataFileA) {           // if the file is available,
    write to it:
115 dataFileA.println("Tempo (s); Temperatura (C); Humidade (%) - Sensor A -
    externo:");
116 dataFileA.close();
117 }
118 else {
119 Serial.println("erro ao abrir arquivo A - externo!");           // if the
    file is not open, display an error:
120 }

121
122 if (dataFileB) {           // if the file is available,
    write to it:
123 dataFileB.println("Tempo (s); Temperatura (C); Humidade (%) - Sensor B -
    interno:");
124 dataFileB.close();
125 }
126 else {
127 Serial.println("erro ao abrir arquivo B - interno!");           // if the
    file is not open, display an error:
128 }

129

```

```

130tempo_decorrido = 0;
131}
132
133void loop() {
134// Delay between measurements.
135//Serial.println(F("Cheguei aqui 1"));

136
137//delay(delayMS);
138// Get temperature event and print its value.
139sensors_event_t eventA;
140sensors_event_t eventB;

141
142dhtA.temperature().getEvent(&eventA);
143dhtB.temperature().getEvent(&eventB);

144
145//Serial.println(F("Cheguei aqui 2"));
146delay(DELTA * 1000);
147tempo_decorrido += DELTA;
148Serial.println(F("-----"));
149Serial.print(F("Tempo decorrido: "));
150Serial.print(tempo_decorrido);
151Serial.println(F(" segundos.));

152
153
154if (isnan(eventA.temperature)) {
155Serial.println(F("Erro lendo a temperatura no sensor A - externo!"));
156}
157else {
158Serial.print(F("Temperatura A - externo: "));
159Serial.print(eventA.temperature);
160Serial.println(F("°C"));
161}

162
163if (isnan(eventB.temperature)) {
164Serial.println(F("Erro lendo a temperatura no sensor B - interno!"));
165}
166else {
167Serial.print(F("Temperatura B - interno: "));
168Serial.print(eventB.temperature);
169Serial.println(F("°C"));

```



```

170}

171
172//Serial.println(F("Cheguei aqui 3"));

173
174// Manda pro cartao as medidas de temperatura de A e B:
175//  DateTime now = RTC.now(); // read the time from the RTC
176//  sprintf(tmeStrng, "%04d/%02d/%02d,%02d:%02d:%02d", now.year(),
    now.month(), now.day(), now.hour(), now.minute(), now.second()); //
    [added seconds]
177sprintf(tmeStrng, "%10d", tempo_decorrido); // [added seconds]

178
179File dataFileA = SD.open(nome_arquivoA, FILE_WRITE);          // if the
    file is available, write to it:
180File dataFileB = SD.open(nome_arquivoB, FILE_WRITE);          // if the
    file is available, write to it:
181dataFileA.print(tmeStrng);dataFileA.print(";");dataFileA.print(eventA.te
    mperature);dataFileA.print(";");
182dataFileB.print(tmeStrng);dataFileB.print(";");dataFileB.print(eventB.te
    mperature);dataFileB.print(";");

183
184//      dataFileA.flush();                                     // wait
    for serial data to complete transmission
185//      dataFileA.close();
186//      dataFileB.flush();                                     // wait
    for serial data to complete transmission
187//      dataFileB.close();

188
189
190// Get humidity event and print its value.
191dhtA.humidity().getEvent(&eventA);
192dhtB.humidity().getEvent(&eventB);

193
194if (isnan(eventA.relative_humidity)) {
195Serial.println(F("Erro lendo a humidade no sensor A - externo!"));
196}
197else {
198Serial.print(F("Humidade A - externo: "));
199Serial.print(eventA.relative_humidity);
200Serial.println(F("%"));
201}

```

```

202
203 if (isnan(eventB.relative_humidity)) {
204   Serial.println(F("Erro lendo a humidade no sensor B - interno!"));
205 }
206 else {
207   Serial.print(F("Humidade B - interno: "));
208   Serial.print(eventB.relative_humidity);
209   Serial.println(F("%"));
210 }
211
212 // Manda pro cartao as medidas de temperatura de A e B:
213 //   now = RTC.now(); // read the time from the RTC
214 //   sprintf(tmeStrng, "%04d/%02d/%02d,%02d:%02d:%02d", now.year(),
215 //     now.month(), now.day(), now.hour(), now.minute(), now.second()); //
216 //   [added seconds]
217 //   sprintf(tmeStrng, "%10d", tempo_decorrido); // [added
218 //     seconds]
219 //   dataFileA = SD.open(nome_arquivoA, FILE_WRITE);           // if the
220 //   file is available, write to it:
221 //   dataFileB = SD.open(nome_arquivoB, FILE_WRITE);           // if the
222 //   file is available, write to it:
223 dataFileA.print(eventA.relative_humidity); dataFileA.println(F(";"));
224 dataFileB.print(eventB.relative_humidity); dataFileB.println(F(";"));
225 dataFileA.flush();                                           // wait for
226 //   serial data to complete transmission
227   dataFileA.close();
228   dataFileB.flush();                                           //
229 //   wait for serial data to complete transmission
230   dataFileB.close();
231   dataFileB.flush(); //
232 //   wait for serial data to complete transmission
233   dataFileB.close();
234 }

```