



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**POLO 01**

**Daniel Lima de Sousa**

**Investigando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos de Propagação de Calor**  
Uma Sequência Didática com recursos lúdicos

Brasília – DF

2025



**Daniel Lima de Sousa**

**Investigando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos de Propagação de Calor:  
Uma Sequência Didática com recursos lúdicos**

Dissertação apresentada ao Polo 01 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Ferreira Monteiro

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Alessandra Ferreira Albernaz

Brasília – DF

2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Si                    Sousa, Daniel  
                         Investigando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos  
de Propagação de Calor: Uma Sequência Didática com recursos  
lúdicos / Daniel Sousa; orientador Fábio Monteiro;  
co-orientador Alessandra Albernaz. Brasília, 2025.  
140 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)  
Universidade de Brasília, 2025.

1. Ensino de Física. 2. Propagação de Calor. 3.  
Aprendizagem significativa. 4. Sequência didática. 5.  
Recursos Lúdicos. I. Monteiro, Fábio, orient. II. Albernaz,  
Alessandra, co-orient. III. Título.



**Daniel Lima de Sousa**

**INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE  
PROPAGAÇÃO DE CALOR:**

Uma Sequência Didática com recursos lúdicos

Dissertação apresentada ao Polo 01 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Educação Básica.

Aprovada em (dia) de (mês) de (ano).

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fábio Ferreira Monteiro – Orientador  
Universidade de Brasília

---

Profa. Dra. Vanessa Carvalho de Andrade – Examinador(a) 1  
Universidade de Brasília

---

Prof. Dr. Rendisley Aristóteles dos Santos Paiva – Examinador(a) 2  
Secretaria Estado de Educação do Distrito Federal



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma contribuem para uma educação mais justa e inclusiva e, em especial à física.



## AGRADECIMENTOS

Ao criador, em nos dar esse grande laboratório chamado Universo.

À minha mãe, Hosana Lima de Sousa, pelo apoio sempre incondicional.

Aos meus filhos, João Victor, Maria Vitória e Antônio Martín, motivo da minha busca constante em ser um ser humano melhor.

Aos meus orientadores, Fábio Ferreira Monteiro e Alessandra Ferreira Albernaz, pelo acompanhamento nessa jornada árdua e o olhar criterioso para que esse trabalho fosse possível.

Ao colega Michael, pelo apoio mútuo para que fôssemos até o fim.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.



## EPÍGRAFE

“Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, anunciaria isto: de todos os fatores que influenciam na aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso, e ensine-o de acordo” (AUSUBEL, 1976, p. 6).

## RESUMO

Este trabalho enfrenta o desafio persistente, no ensino de Física, de promover a aprendizagem de conceitos abstratos, em particular, a propagação de calor, cujas dificuldades são reiteradas por avaliações em larga escala. O objetivo foi investigar o potencial de uma sequência didática, ancorada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que integra recursos audiovisuais, um jogo de tabuleiro “*Aventura Térmica*” e mapas conceituais para favorecer a construção de significados. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem quali-quantitativa, foi realizada com nove estudantes do Ensino Médio noturno de uma escola pública do Distrito Federal. A intervenção constituiu um Produto Educacional com vídeos conceituais, o jogo de trilha e material para elaboração de mapas, articulado a um conjunto de instrumentos: pré-teste, pós-teste, teste de retenção, questionário de percepção e análise dos mapas produzidos. Na análise quantitativa, o teste de Wilcoxon indicou ausência de diferença significativa entre o pré-teste e um pós-teste de maior complexidade, mas revelou ganho estatisticamente significativo, de grande magnitude, entre o pré-teste e o teste de retenção, evidenciando aprendizagem duradoura. A análise qualitativa apontou elevada aceitação da abordagem lúdica e colaborativa; os mapas conceituais mostraram diferenciação progressiva e correção de imprecisões, ainda que a reconciliação integradora permaneça como desafio. Conclui-se que a articulação sinérgica de vídeos, jogo e mapas, orientada pela Teoria da Aprendizagem Significativa, promove aprendizagem mais profunda e consolidada, configurando um modelo pedagógico promissor para o ensino de conceitos abstratos em Física em contextos escolares desafiadores.

**Palavras-chave:** ensino de física; aprendizagem significativa; jogo educativo; propagação de calor; recursos audiovisuais.

## ABSTRACT

This study addresses the persistent challenge in physics education of fostering the learning of abstract concepts — particularly heat transfer — whose difficulties are recurrently reported in large-scale assessments. It investigated the potential of an instructional sequence, grounded in Ausubel’s Meaningful Learning Theory, that integrates audiovisual resources, a board game “*Aventura Térmica*”, and concept maps to support meaning-making. The applied, mixed-methods research was conducted with nine evening high-school students from a public school in Brazil’s Federal District. The intervention comprised an educational product with conceptual videos, the board game, and materials for concept-map construction, articulated with pretest, posttest, delayed retention test, a perception questionnaire, and analysis of the maps produced by students. Quantitatively, the Wilcoxon signed-rank test indicated no significant difference between the pretest and a more complex posttest, but revealed a statistically significant, large gain from pretest to retention, evidencing durable learning. Qualitatively, students reported high acceptance of the playful and collaborative approach; the concept maps showed progressive differentiation and correction of inaccuracies, although integrative reconciliation remained challenging. The findings suggest that the synergistic articulation of videos, game, and maps, guided by Meaningful Learning Theory, deepens and consolidates learning, offering a promising pedagogical model for teaching abstract physics concepts in challenging school contexts.

**Keywords:** physics education; meaningful learning; educational game; heat transfer; audiovisual resources.

## LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1 Mapa conceitual sob uma perspectiva interacionista social
- Figura 2 Mapa Conceitual Modelo
- Figura 3 Mapa Conceitual elaborado após a exibição dos vídeos e pré-teste
- Figura 4 Mapa Conceitual revisado pelos alunos após a intervenção com o jogo
- Figura 5 Mapa Conceitual de Referência (“gabarito” final)
- Figura 6 Momento de seleção dos cartões
- Figura 7 Construção do Mapa Conceitual
- Figura 8 Momento de interação com o jogo
- Figura 9 Momento de interação com o jogo "Aventura Térmica"



UnB



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1	Recursos didáticos e suas funções na TAS
Tabela 2	Esquema de atividade por aula
Tabela 3	Tabela exclusiva para pequenas amostras
Tabela 4	Interpretação do efeito
Tabela 5	Escala de Satisfação
Tabela 6	Resultado Geral Pré-Teste
Tabela 7	Comparação dos níveis de dificuldade dos questionários
Tabela 8	Resultado Geral Pós-Teste
Tabela 9	Resultado Geral Teste de Retenção
Tabela 10	Teste de Wilcoxon Pré-teste vs Pós-teste
Tabela 11	Ordenação por Postos (Pré vs Pós)
Tabela 12	Teste de Wilcoxon Pré-teste vs Teste de Retenção
Tabela 13	Ordenação por Postos (Pré vs Ret)
Tabela 14	Síntese dos resultados
Tabela 15	Itens de afirmações
Tabela 16	Classificação Escala Likert de 4 pontos
Tabela 17	Interpretação conceitual
Tabela 18	Respostas Abertas
Tabela 19	Dimensões do Processo de Interação na Elaboração do Mapa Conceitual
Tabela 20	Aspectos da Aprendizagem Observados Durante o Jogo



UnB



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

## LISTAS DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 Desempenho no Pré-teste
- Gráfico 2 Desempenho no Pós-teste
- Gráfico 3 Desempenho no Teste de Retenção
- Gráfico 4 Comparação entre os teste pré e pós
- Gráfico 5 Comparação entre os teste pré e retenção
- Gráfico 6 Distribuição percentual das respostas por item



UnB



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	Aprendizagem Significativa
AM	Aprendizagem Mecânica
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
DP	Diferenciação Progressiva
EJA	Ensino de Jovens e Adultos
EM	Ensino Médio
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
OPs	Organizadores Prévios
RPG	Role Playing Games (aprox.)
SAEB	Sistema de Avaliação da Educação Básica
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TCAM	Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia
UnB	Universidade de Brasília

## LISTA DE SÍMBOLOS

$<$	menor que
$>$	maior que
$\leq$	menor ou igual a
$\geq$	maior ou igual a
$=$	igual a
$\sim$	aproximadamente igual a
$\%$	por cem
$\sigma$	letra grega sigma
$\alpha$	letra grega alpha
$\mu$	letra grega mu
$\Sigma$	símbolo para somatório
$\Phi$	letra grega phi
$\int$	símbolo para integral
$\Delta$	variação de

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA: RECURSOS MULTIMÍDIA E TEORIAS DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA	15
3 TERMODINÂMICA E TRANSFERÊNCIA DE CALOR	21
4 A TEORIA DA APRENDIZAGEM COMO FUNDAMENTO DA PESQUISA	35
4.1.2 Aprendizagem Significativa versus Aprendizagem Mecânica	38
4.1.3 O Papel dos Subsúncos	39
4.1.4 Condições para a Ocorrência da Aprendizagem Significativa	40
4.1.5 Princípios Didáticos para Fomentar a Aprendizagem Significativa	41
5 USO DE RECURSOS AUDIOVISUAIS, JOGOS E MAPAS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA SOB A ÓTICA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	44
5.1 RECURSOS AUDIOVISUAIS E A TEORIA COGNITIVA DA APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA	44
5.2 JOGOS EDUCATIVOS COMO FERRAMENTAS PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM FÍSICA	46
5.3 A SINERGIA ENTRE RECURSOS AUDIOVISUAIS E JOGOS NA PROMOÇÃO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	48
5.4 OS MAPAS CONCEITUAIS	49
5.4.1 Fundamentação Teórica e Epistemológica	50
5.4.2 Características e Elementos Estruturais	51
5.4.3 Funções Pedagógicas e Cognitivas	52
5.4.4 Mapas Conceituais como Instrumento de Avaliação	55
5.4.5 O Encaixe dos Mapas Conceituais na Pesquisa	56
5.4.6 Síntese: Mapas Conceituais como Mediadores da Aprendizagem Significativa	59
6 METODOLOGIA	59
6.1 NATUREZA E ABORDAGEM DA PESQUISA	59
6.2 CONTEXTO E PARTICIPANTES DA PESQUISA	60
6.3 DESCRIÇÃO DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA	61
6.3.1 VISÃO GERAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	61
6.3.2 Detalhamento do Produto Educacional	62
6.3.3 Procedimento de Aplicação da Sequência Didática	63
6.4 COLETA DE DADOS: INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS	65
6.4.1 INSTRUMENTOS QUANTITATIVOS: PRÉ-TESTE, PÓS-TESTE E TESTE DE RETENÇÃO	66
6.4.2 INSTRUMENTOS QUALITATIVOS: QUESTIONÁRIOS, MAPA CONCEITUAL	

E REGISTROS DE CAMPO	66
6.5 ANÁLISE DOS DADOS	67
6.5.1 TESTE DOS POSTOS SINALIZADOS DE WILCOXON	67
6.5.2 TAMANHO DO EFEITO: CORRELAÇÃO RANK-BISERIAL (rb)	70
6.6 A ESCALA LIKERT	71
6.7 ANÁLISE DE CONTEÚDO DE BARDIN	73
6.7.1 Etapas da Análise de Conteúdo e Categorização	73
6.7.2 Procedimentos de Análise nesta Pesquisa	74
7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	74
7.1 ANÁLISE QUANTITATIVA DO DESEMPENHO CONCEITUAL	74
7.1.2 Desempenho Pós-Organizadores Prévios	75
7.1.3 Avaliação da Aprendizagem Ativa em um Cenário de Maior Complexidade	76
7.1.4 Análise do Teste de Retenção	79
7.1.5 Análise Comparativa e Testes de Hipóteses	80
7.1.6 Comparação 1 – Pré-Teste versus Pós-Teste	80
7.1.7 Comparação 2 – Pré-Teste versus Teste de Retenção	83
7.2 PERCEPÇÕES DOS ALUNOS SOBRE A INTERVENÇÃO	86
7.2.1 Análise dos Itens de Escala Likert sobre o jogo “Aventura Térmica”	86
7.2.2 Análise das Perguntas Abertas	88
7.3 A ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO NOS MAPAS CONCEITUAIS	89
7.3.1 O Diagnóstico Inicial: Análise do Mapa Pré-Jogo	90
7.3.2 Análise do Mapa Pós-Jogo	92
7.3.3 Comparação com o Mapa de Referência Final	93
7.4 PROCESSO DE INTERAÇÃO E APRENDIZAGEM	95
7.4.1 Análise das interações durante a construção do Mapa Conceitual	95
7.4.2 Análise das interações durante o jogo “Aventura Térmica”	97
7.5 DISCUSSÃO E TRIANGULAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS	100
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
9 REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE A – ANÁLISE ESTATÍSTICA	109
APÊNDICE B - TRANSCRIÇÃO DAS FALAS E MOMENTOS DE INTERAÇÕES	122
APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL	130
APÊNDICE 1 – PRÉ-TESTE/RETENÇÃO E PÓS-TESTE	15
APÊNDICE 2 – VÍDEOS DIRIGIDOS	26
APÊNDICE 3 – MAPA CONCEITUAL	30
APÊNDICE 4 – JOGO AVENTURA TÉRMICA	35
APÊNDICE 5 – MANUAL DO REGRAS DO JOGO	38
APÊNDICE 6 – CARTÕES DO JOGO	49
APÊNDICE 7 – AVALIAÇÃO DE QUALIDADE	62

## 1 INTRODUÇÃO

A compreensão dos conceitos fundamentais da Física representa um desafio persistente no processo de ensino e aprendizagem, especialmente quando se trata de fenômenos abstratos, como os mecanismos de propagação de calor. Essa percepção é corroborada pelos resultados de avaliações nacionais e internacionais. Dados do Sistema de Avaliação da Educação Básica – SAEB (2021), por exemplo, indicam que uma parcela expressiva dos estudantes conclui a educação básica sem atingir níveis de proficiência adequados em Ciências da Natureza, demonstrando dificuldades em mobilizar conhecimentos para explicar fenômenos ou resolver problemas. De forma semelhante, Gonçalves Jr. & Barroso (2014), demonstraram em análises do desempenho no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) frequentemente apontam que questões envolvendo conceitos de termodinâmica e transferência de calor estão entre aquelas com menores índices de acerto, sugerindo uma fragilidade na compreensão desses tópicos específicos. Essa dificuldade generalizada em aplicar conceitos científicos abstratos a contextos práticos reforça a urgência por abordagens pedagógicas mais potencializadoras. Observa-se que, muitas vezes, os conteúdos são apresentados de forma descontextualizada, apoiando-se em abordagens que pouco dialogam com a realidade dos estudantes, contribuindo para um aprendizado mecânico e superficial. Diante disso, torna-se urgente a adoção de estratégias pedagógicas que aproximem os conteúdos científicos das experiências cotidianas dos alunos, proporcionando-lhes uma aprendizagem mais significativa, conforme propôs Ausubel (2003), ao afirmar que “a principal influência sobre a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe” (Ausubel, 2003, p. 67).

O desafio de ensinar e aprender Física, especialmente conceitos abstratos como a propagação de calor, insere-se em um contexto educacional brasileiro ainda mais amplo e complexo no cenário atual. Por um lado, testemunhamos uma crescente demanda social pela alfabetização científica, entendida como a capacidade do indivíduo de compreender, analisar e aplicar conhecimentos científicos e tecnológicos em seu cotidiano, fundamental para o exercício pleno da cidadania em um mundo permeado pela ciência (Krasilchik; Marandino, 2018, p. 42). Por outro lado, o ensino de Física, em particular, ainda enfrenta barreiras significativas, como o histórico desinteresse ou mesmo a aversão por parte de muitos estudantes do Ensino Médio. Frequentemente percebida como uma disciplina excessivamente teórica, matematicamente árdua e desconectada da realidade vivida pelos jovens (Moreira; Ostermann, 2013; Carvalho; Gil-Pérez, 2011), a Física pode gerar baixa motivação e

engajamento, impactando negativamente o desempenho e, potencialmente, afastando talentos de carreiras científico-tecnológicas (Oliveira; Justi, 2015). Diante dessa conjuntura, torna-se imperativo buscar e investigar abordagens pedagógicas que possam revitalizar o ensino de Física, tornando-o mais atraente, contextualizado e significativo. Nesse sentido, estratégias didáticas que incorporam metodologias ativas, tecnologias digitais educacionais e elementos lúdicos – como a combinação de vídeos dirigidos e jogos proposta neste trabalho – emergem como alternativas promissoras, não apenas para facilitar a compreensão conceitual, mas também para despertar a curiosidade, promover o envolvimento e contribuir para a formação científica dos estudantes.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como foco investigar o potencial de uma proposta didática que combina recursos audiovisuais e um jogo do tipo trilha como mediadores da aprendizagem dos conceitos de propagação de calor. A escolha por essa abordagem se justifica por diversos fatores. Primeiramente, pesquisas recentes têm apontado que a inserção de jogos no contexto escolar contribui para a interação dos estudantes, promovendo a construção ativa do conhecimento.

De acordo com Kishimoto,

“O jogo educativo, ao ser introduzido no contexto escolar, contribui não apenas para o desenvolvimento cognitivo, mas também para aspectos afetivos e sociais, promovendo a interação e a construção de conhecimentos de forma significativa.”  
(Kishimoto, 2022, p. 87).

A ludicidade, nesse sentido, assume um papel central no ensino de Ciências, uma vez que favorece o envolvimento emocional e intelectual dos estudantes. Segundo Oliveira e Basso (2015), os jogos no ensino de Física possibilitam “a resignificação dos conceitos, através da experimentação e do desafio intelectual que promovem” (Oliveira; Basso, 2015, p. 118). Quando articulados com outros recursos, como os audiovisuais, os jogos podem compor sequências didáticas mais ricas e substantivas. Os vídeos, por sua vez, contribuem para tornar visíveis fenômenos invisíveis ou de difícil visualização em sala de aula, facilitando a formação de imagens mentais necessárias para a compreensão conceitual (Moran, 2000).

A proposta deste trabalho, portanto, se insere no campo do Ensino de Física e está alinhada com o paradigma das metodologias ativas, que incentivam a participação dos estudantes na construção do conhecimento. A investigação será conduzida com uma turma do Ensino Médio da rede pública, em um contexto de escola que enfrenta desafios estruturais e

socioeconômicos, o que torna a abordagem ainda mais relevante. Para além da aplicação dos recursos em sala, este estudo objetiva também refletir sobre a sua portabilidade e extensibilidade, ou seja, a possibilidade de que os materiais desenvolvidos possam ser adaptados e utilizados em diferentes contextos escolares.

Foram desenvolvidos, para essa pesquisa, os seguintes materiais: vídeos curtos e conceituais sobre propagação de calor; cartões com palavras-chave para construção de mapas conceituais; um jogo do tipo trilha com foco nos conceitos investigados; e instrumentos avaliativos (pré-teste, pós-teste e teste de retenção) para análise diagnóstica da aprendizagem. Acredita-se que a utilização conjunta desses materiais pode potencializar a aprendizagem significativa, uma vez que promove a mediação simbólica, a construção coletiva e o uso de múltiplas linguagens para abordar o conteúdo.

A escolha por investigar a propagação de calor justifica-se também por ser um dos temas recorrentes em avaliações externas e currículos oficiais, como a Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018), sendo fundamental para a compreensão de fenômenos cotidianos e para a formação científica básica do estudante. Apesar de sua relevância, a literatura especializada na área de Ensino de Física demonstra consistentemente que os conceitos envolvidos em fenômenos térmicos são particularmente propensos ao desenvolvimento e à persistência de concepções alternativas nos estudantes. Como apontado por Silva e Mortimer (2007), essas ideias pré-científicas ou intuitivas muitas vezes resistem ao ensino tradicional (p. 93). Pesquisas seminais, como as de Viennot (1979) e Erickson (1985), e trabalhos subsequentes que compilaram e aprofundaram essas investigações, tanto no cenário internacional (Driver; Guesne; Tiberghien, 1985; Kesidou; Duit, 1993) quanto no nacional (Villani; Pacca, 1990; Camargo; Nardi, 2007), têm mapeado um conjunto recorrente dessas concepções. Entre as mais comuns, destacam-se: a indistinção entre calor e temperatura, tratando-os como sinônimos ou vendo o calor como uma “substância” contida nos corpos; a crença de que o “frio” é uma entidade que pode ser transferida, análoga ao calor; a dificuldade em aceitar a transferência de calor por radiação no vácuo; e a ideia de que materiais isolantes, como lã ou isopor, “produzem” calor ou “impedem totalmente” sua passagem, em vez de apenas dificultá-la. A persistência dessas concepções alternativas, mesmo após a instrução, evidencia as limitações de abordagens puramente transmissivas e reforça a necessidade de estratégias didáticas que partam do conhecimento prévio do aluno e promovam uma reestruturação conceitual mais efetiva, desafio ao qual este trabalho busca responder com o uso combinado de vídeos e jogos.

Contudo, reconhecem-se os limites do presente estudo. A originalidade da proposta não reside na criação de um jogo em si, ou na utilização de vídeos, mas sim na maneira como esses elementos foram integrados em uma sequência didática coerente, com base em referenciais teóricos consistentes e alinhadas às necessidades da escola pesquisada. Além disso, é necessário considerar a complexidade de se produzir um material pedagógico que seja, ao mesmo tempo, adaptado ao contexto local e aplicável em outros ambientes educacionais.

Diante desse contexto, esta pesquisa busca responder à seguinte pergunta: Qual o potencial de uma sequência didática com vídeos e jogo de trilha para promover a aprendizagem significativa dos conceitos de propagação de calor?

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte maneira: o tópico 2 apresenta a revisão da literatura, abordando as principais contribuições teóricas sobre aprendizagem significativa, uso de jogos e recursos audiovisuais no ensino de Física. O tópico 3 descreve a metodologia adotada, os instrumentos utilizados e o planejamento da intervenção. O tópico 4 apresenta e analisa os resultados obtidos com a aplicação da proposta didática. Por fim, o tópico 5 reúne as considerações finais, apontando as contribuições da pesquisa, suas limitações e possibilidades para trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA: RECURSOS MULTIMÍDIA E TEORIAS DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA**

A produção recente em Ensino de Física revela um movimento de incorporação de recursos multimídia e estratégias lúdicas como alternativa às dificuldades históricas da disciplina, tais como o baixo engajamento discente, a abstração conceitual e a fragmentação curricular. Jogos de tabuleiro, vídeos e mapas conceituais têm ganhado espaço, frequentemente articulados à Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e a abordagens de inspiração sociointeracionista. Nesta revisão, o debate é organizado em três eixos – ludicidade e jogos, vídeos e recursos audiovisuais, e sequências didáticas integradas – com o objetivo de situar criticamente a pesquisa aqui desenvolvida no estado da arte da área.

### **2.1 Ludicidade e jogos no Ensino de Física**

Jogos e atividades lúdicas têm sido amplamente explorados como estratégias para tornar o ensino de Física mais atrativo. A dissertação Na trilha das partículas (MONTEIRO DAS NEVES, 2021) exemplifica esse movimento ao propor um jogo de trilha voltado ao

ensino de partículas elementares. Na mesma direção, Nascimento, Stier e Batista (2022) discutem o uso de jogos como facilitadores da aprendizagem, enquanto Santos (2021) investiga seu emprego para potencializar o ensino de Física em contexto escolar. Ribeiro (2022), por sua vez, analisa jogos de tabuleiro como recursos didáticos na interface entre Física e ludicidade.

Esses estudos convergem em alguns pontos centrais. O uso de jogos de tabuleiro aumenta a motivação e o engajamento dos estudantes, favorece a participação ativa em sala de aula e contribui para deslocar o aluno de uma postura predominantemente passiva para um papel mais protagonista na construção do conhecimento. A dinâmica lúdica, a interação entre pares e a vinculação a narrativas próximas do cotidiano tornam conceitos abstratos potencialmente mais acessíveis. Monteiro das Neves (2021), por exemplo, relata que o jogo funcionou como porta de entrada para discussões sobre Física de partículas, abrindo espaço para formulação de hipóteses e explicitação de concepções prévias.

Não obstante, as limitações dessas propostas são evidentes. As intervenções costumam ser pontuais, restritas a uma única unidade de conteúdo – velocidade, partículas ou um tópico isolado de termodinâmica. A avaliação concentra-se, em geral, em percepções de interesse e satisfação, recorrendo a questionários de opinião, relatos docentes ou testes simples aplicados imediatamente após a intervenção. Há pouca análise conceitual detalhada e, sobretudo, ausência quase total de testes de retenção, de modo que não se verifica em que medida os significados trabalhados durante o jogo se estabilizam ao longo do tempo. A ênfase recai, assim, na dimensão motivacional, em detrimento de evidências mais robustas de aprendizagem significativa no sentido ausubeliano.

A fundamentação teórica também merece atenção. Embora esses trabalhos frequentemente invoquem noções amplas de construtivismo ou de aprendizagem ativa, raramente as sequências lúdicas se fundamentam de forma explícita na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, com discussão sistemática de conceitos como subsunçores, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. A ludicidade aparece, em muitos casos, como um fim em si mesma – tornar a aula mais interessante –, sem que se explicita como a estrutura do jogo se articula à estrutura cognitiva dos estudantes.

Some-se a isso a escassez de investigações com turmas do Ensino Médio noturno ou da Educação de Jovens e Adultos (EJA). As evidências disponíveis refletem principalmente o

perfil de turmas regulares diurnas, com características sociodemográficas mais homogêneas e condições mais favoráveis de estudo, o que restringe a generalização dos resultados.

Identifica-se, nesse conjunto, uma lacuna central: faltam propostas em que o jogo não seja um episódio isolado, mas parte de uma sequência didática mais longa e articulada, integrada a outros recursos, como vídeos e mapas conceituais, e sustentada explicitamente por uma teoria de aprendizagem. A literatura carece de experiências em que a ludicidade seja concebida como componente de uma orquestração pedagógica mais ampla, direcionada à reorganização estável da estrutura conceitual dos estudantes.

## 2.2 Vídeos e recursos audiovisuais no Ensino de Física

Paralelamente aos jogos, diversos estudos têm destacado o papel de vídeos no ensino de Física, especialmente em conteúdos marcados por alta abstração. Monteiro das Neves (2021), por exemplo, integra o vídeo “O discreto charme das partículas elementares” à sequência didática com o objetivo de contextualizar conteúdos complexos antes da aplicação do jogo de tabuleiro. Essa estratégia representa uma tendência mais ampla de utilização de vídeos como organizadores prévios ou mediadores visuais na abordagem de fenômenos que escapam à experiência sensível imediata dos estudantes.

Pesquisas que trabalham com vídeos em contextos diversos relatam que esses recursos contribuem para despertar a curiosidade, captar a atenção e facilitar a compreensão inicial de conceitos abstratos. A possibilidade de combinar imagens, animações, narração e texto escrito amplia as formas de representação dos fenômenos físicos, auxiliando os estudantes na construção de imagens mentais mais ricas. Em geral, os vídeos são avaliados positivamente pelos alunos, que os percebem como recursos mais dinâmicos e próximos de sua realidade.

Entretanto, quando se observam com maior rigor os procedimentos metodológicos e avaliativos, emergem limites importantes. Correia, Silva e Romano Junior (2010), ao discutir mapas conceituais como ferramenta de avaliação, chamam atenção para o fato de que muitos trabalhos com recursos multimídia – incluindo vídeos – se restringem a mensurar percepções de interesse, motivação e satisfação, sem avançar para uma análise sistemática da estrutura cognitiva dos alunos. Em grande parte das pesquisas, as avaliações permanecem centradas em questionários de opinião e testes imediatos. Há poucas evidências robustas de aprendizagem

significativa, entendida como reorganização não arbitrária e substantiva da rede conceitual do estudante. Raramente são empregados instrumentos como mapas conceituais, entrevistas clínicas ou sequências de testes de pré–pós–retenção.

Além disso, embora haja trabalhos que abordam o uso de vídeos na termodinâmica em geral, observa-se escassez de estudos especificamente voltados à propagação de calor. Esse tema envolve distinções conceituais delicadas entre condução, convecção e radiação e costuma ser permeado por concepções alternativas persistentes. Os vídeos são frequentemente utilizados em abordagens mais amplas de “calor e temperatura” ou de “processos térmicos”, sem foco particular nas dificuldades conceituais associadas às diferentes modalidades de propagação e às suas interpretações em termos de modelos microscópicos.

Esse cenário reforça a necessidade de sequências em que os vídeos sejam planejados como organizadores prévios no sentido rigoroso ausubeliano: materiais mais gerais, inclusivos e abstratos, logicamente relacionados ao conteúdo que se pretende aprender, e articulados com outros recursos que permitam diagnosticar e acompanhar a evolução da compreensão conceitual dos estudantes.

### 2.3 Sequências didáticas e integração de recursos

Quando se desloca o foco dos recursos isolados para a análise de sequências didáticas integradas, o debate se aproxima diretamente da proposta desta pesquisa. A literatura aponta que a eficácia do ensino não reside apenas na qualidade individual de um vídeo ou de um jogo, mas na arquitetura pedagógica que os conecta. Nessa direção, Monteiro et al. (2021) destacam, ao aplicarem o modelo de ensino 5E (Engajar, Explorar, Explicar, Elaborar e Avaliar) no contexto da óptica e tecnologia, que a estruturação de etapas investigativas e a mediação docente são fundamentais para que o estudante transite da curiosidade inicial para a formalização científica. Embora fundamentados na aprendizagem por descoberta de Bruner, os resultados obtidos pelos autores corroboram a premissa de que a articulação intencional de diferentes momentos pedagógicos favorece a alfabetização científica e a conexão com o cotidiano.

A sequência *Na trilha das partículas* (Monteiro das Neves, 2021) configura-se como caso exemplar ao combinar vídeo introdutório, jogo de trilha e construção de mapas conceituais, fundamentando-se na perspectiva sociointeracionista de Vygotsky. Nesse tipo de abordagem, o interesse não recai apenas sobre o impacto isolado de um jogo ou de um vídeo,

mas sobre a forma como diferentes recursos são articulados em uma estrutura de ensino coerente.

Ainda no que tange à fundamentação teórica de sequências integradas, é pertinente destacar a viabilidade do diálogo entre diferentes perspectivas da psicologia da educação. Araújo e Monteiro (2023), em estudo de caso sobre o ensino de óptica geométrica, demonstram que a interconexão entre a Teoria Sociointeracionista de Vygotsky e a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel é não apenas possível, mas benéfica. Segundo os autores, as interações sociais e a linguagem (elementos vygotksyanos presentes em trabalhos em grupo e debates) atuam como motores para ativar subsunçores e promover a diferenciação progressiva (processos ausubelianos). Esse respaldo teórico fortalece a proposta desta pesquisa, que utiliza a ludicidade do jogo (social) como meio para alcançar a reestruturação cognitiva (individual/significativa).

No campo específico dos mapas conceituais, Correia, Silva e Romano Junior (2010) discutem seu uso como ferramenta de avaliação, enfatizando sua capacidade de tornar explícitas as relações hierárquicas e proposicionais entre conceitos. Trabalhos produzidos em programas de pós-graduação em ensino de Ciências – como a dissertação de Medeiros (2021), que propõe a gamificação no ensino de Física utilizando jogos e mapas conceituais para o ensino de Termologia, e o produto educacional de Santos (2020), que apresenta um manual didático para utilização de mapas conceituais no ensino de Ciências – convergem na defesa dos mapas como instrumentos potentes para visualizar a estrutura cognitiva dos estudantes e promover processos de organização e reorganização conceitual.

A literatura sobre gamificação integrada indica que a articulação entre diferentes estratégias – exposição dialogada, vídeos, jogos e mapas conceituais – tende a ampliar não apenas o engajamento, mas também as oportunidades para que os estudantes acessem os conceitos por múltiplas vias. Um mesmo conteúdo pode ser inicialmente apresentado por meio de vídeos (como visão panorâmica), explorado em seguida por meio de um jogo de tabuleiro (em contexto lúdico de resolução de problemas) e, posteriormente, reorganizado em mapas conceituais (em registro mais formal e explícito). Esse movimento dialoga diretamente com a lógica ausubeliana de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

Apesar desse potencial, permanecem limitações significativas. Poucos estudos assumem, de forma explícita e sistemática, a Teoria da Aprendizagem Significativa como fundamento estruturante de toda a sequência didática. Em muitos casos, a TAS é citada apenas de maneira pontual, sem que se explicita como orientou a escolha e a ordenação dos recursos, a elaboração das tarefas ou os critérios de avaliação. Também são raros os trabalhos

que empregam desenhos metodológicos mais robustos, com aplicação de testes em momentos de pré-teste, pós-teste imediato e teste de retenção, associados à análise quantitativa do ganho conceitual e à interpretação qualitativa de mapas conceituais produzidos pelos estudantes ao longo do processo. A literatura ainda apresenta capacidade limitada de diferenciar entre efeitos motivacionais de curto prazo e transformações efetivas na estrutura de conhecimento dos alunos.

### **3 TERMODINÂMICA E TRANSFERÊNCIA DE CALOR**

#### **3.1 Termodinâmica, a ciência fundamental**

A termodinâmica é frequentemente definida como a ciência da energia em seu contexto mais amplo. Sua origem histórica está intimamente ligada à Revolução Industrial, quando emergiu a necessidade de compreender sistematicamente a conversão de energia térmica em trabalho mecânico (CARDWELL, 1971). Em paralelo, desenvolvia-se a teoria atômica da matéria, de modo que, desde cedo, se estabeleceu uma conexão profunda entre a descrição microscópica e a descrição macroscópica dos sistemas físicos.

Essa conexão consolidou-se como uma simbiose entre duas perspectivas complementares. De um lado, a visão tecnológica e de engenharia, focada no funcionamento de máquinas térmicas. De outro, a visão científica, assentada na teoria atômica e no movimento molecular. A partir dessa articulação, a termodinâmica passou a exercer o papel de ponte entre o mundo macroscópico, que observamos diretamente, e os fenômenos fundamentais do mundo microscópico.

O conceito de “máquina” em termodinâmica é muito mais amplo do que motores a combustão e turbinas. Em termos gerais, qualquer sistema que converte energia de uma forma em outra pode ser tratado como uma “máquina” termodinâmica. Células de combustível convertem energia química em energia elétrica; células fotovoltaicas transformam a energia eletromagnética da luz em eletricidade; lasers realizam o processo inverso, convertendo eletricidade em luz coerente. Organismos vivos constituem exemplos particularmente complexos, convertendo a energia química dos alimentos em diversas formas, como energia cinética, sonora e térmica.

A universalidade da termodinâmica se evidencia ao analisarmos suas leis fundamentais, que impõem limites rígidos à conversão de energia e à existência de máquinas de movimento perpétuo (Callen, 1985). A Primeira Lei estabelece a conservação de energia; a

Segunda Lei introduz a irreversibilidade e a entropia. Nesse sentido, a termodinâmica funciona como uma metateoria à qual todos os processos físicos, químicos e biológicos estão submetidos.

### 3.2 Fundamento da matéria: atomismo, mol e número de Avogadro

A hipótese atômica pode ser sintetizada, nas palavras de Richard Feynman, na afirmação de que todas as coisas são feitas de átomos (Feynman; Leighton; Sands, 1963, v. 1, cap. 1). Cada átomo concentra praticamente toda a sua massa no núcleo, formado por prótons e nêutrons, enquanto elétrons de massa muito menor ocupam a região ao redor desse núcleo. Em muitos casos, átomos se combinam formando moléculas, como no caso da água,  $H_2O$ , composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio.

O principal desafio para conectar a descrição microscópica à macroscópica reside nas escalas extremamente diferentes. Os diâmetros atômicos são da ordem de  $10^{-10}$  m, valor que justifica o uso do ângström (Å) como unidade conveniente.

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \quad (3.1)$$

De modo análogo, as massas envolvidas são tão pequenas que se define a unidade de massa atômica (u) em termos do isótopo carbono-12. Por definição, a massa de um átomo de carbono-12 é exatamente 12 u, de modo que

$$1u = \frac{m(^{12}C)}{12} \quad (3.2)$$

A comparação entre quantidades de substâncias diferentes exige uma grandeza que contabilize o número de partículas, e não apenas a massa em gramas. Essa necessidade conduz ao conceito de mol, unidade do Sistema Internacional para a quantidade de substância. O número de entidades por mol é a constante de Avogadro,  $N_A$ , cujo valor exato na definição moderna é:

$$N_A = 6,02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad (3.3)$$

Na prática didática, costuma-se arredondar para  $N_A \approx 6,02 \times 10^{23}$  partículas por mol. Desde 2019, o Sistema Internacional de Unidades (SI) define o mol justamente fixando esse valor de  $N_A$  como exato, desvinculando a definição de mol da massa do carbono-12 (BIPM, 2019),

embora a interpretação via 12 g de  $^{12}\text{C}$  continue sendo adequada como aproximação conceitual para o ensino introdutório.

A partir daí, define-se a massa molar  $M$  como a massa (em gramas) de 1 mol de uma dada substância, expressa em g/mol. Estabelecem-se então relações fundamentais entre massa  $m$ , massa molar  $M$ , número de mols  $n$  e número total de partículas  $N$ :

$$n = \frac{m}{M}, \quad N = nN_A \quad (3.4)$$

Essas relações permitem transitar entre o nível microscópico (contagem de partículas) e o nível macroscópico (medidas de massa em laboratório), servindo de base à estequiometria e à termodinâmica de misturas gasosas.

### 3.3 Temperatura, equilíbrio térmico e a escala absoluta

A temperatura é a grandeza central da termodinâmica. Intuitivamente, ela é associada às noções de “quente” e “frio”, mas a percepção sensorial é enganosa. Objetos metálicos, por exemplo, parecem mais frios do que o papelão à mesma temperatura, porque possuem maior condutividade térmica e extraem energia térmica da pele mais rapidamente.

Do ponto de vista termodinâmico, a temperatura surge a partir do conceito de equilíbrio térmico. Quando dois sistemas em contato podem trocar energia apenas na forma de calor, o processo de troca continua até que as propriedades macroscópicas (como pressão e volume, no caso de gases) se tornem estáveis. Nesse ponto, diz-se que os sistemas atingiram o equilíbrio térmico. Esse comportamento é formalizado pela Lei Zero da Termodinâmica: se dois sistemas A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro sistema C, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si (Zemansky; Dittman, 1997). Esse postulado garante a possibilidade de usar um termômetro como sistema de referência C.

Escala empíricas como Celsius e Fahrenheit definiram inicialmente a temperatura a partir de pontos fixos como congelamento e ebulição da água. Na escala Celsius, o ponto de congelamento da água sob pressão padrão é definido como 0 °C e o ponto de ebulição como 100 °C. A relação com a escala Fahrenheit é dada por

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9}, \quad (3.5)$$

em que  $t_C$  é a temperatura em graus Celsius e  $t_F$  a temperatura em graus Fahrenheit.

Experimentos com termômetros de gás levaram à ideia de um limite inferior de temperatura, no qual a pressão tenderia a zero. Esse limite,  $-273,15\text{ °C}$ , motivou a introdução da escala absoluta de Kelvin, em que

$$T = t_C + 273,15 \quad (3.6)$$

Em nível termodinâmico mais avançado, a temperatura absoluta pode ser definida de forma rigorosa a partir da entropia  $S$  e da energia interna  $U$ . Para um sistema simples em equilíbrio, a definição fundamental é

$$\frac{1}{T} = \left( \frac{\partial S}{\partial U} \right)_{V, N}, \quad (3.7)$$

ou seja, o inverso da temperatura é a derivada parcial da entropia em relação à energia interna, mantendo volume  $V$  e número de partículas  $N$  constantes. Essa forma mostra que a temperatura relaciona variações infinitesimais de energia interna e entropia, consolidando o vínculo entre a visão macroscópica (escala Kelvin) e a descrição microscópica via entropia (Callen, 1985; Atkins; De Paula, 2014).

### 3.4 Primeira Lei da Termodinâmica: energia interna, calor e trabalho

A Primeira Lei da Termodinâmica expressa o princípio de conservação de energia para sistemas termodinâmicos. Introduce-se, para isso, a energia interna  $U$ , que é a soma das energias cinéticas e potenciais microscópicas das partículas que compõem o sistema. Por ser função de estado,  $U$  depende apenas do estado termodinâmico (por exemplo,  $P, V, T$ ) e não do caminho percorrido para alcançá-lo.

Calor  $Q$  e trabalho  $W$  são grandezas que descrevem energia em trânsito, associadas a processos. Não são propriedades que o sistema “possui”, mas modos de alterar  $U$ . Adotando a convenção usual em química estabelecida pela IUPAC (IUPAC, 2007), considera-se  $Q > 0$  quando o sistema recebe calor e  $W > 0$  quando o sistema recebe trabalho (por exemplo, numa compressão). Nessa convenção, a forma diferencial da Primeira Lei é

$$dU = \delta Q + \delta W, \quad (3.8)$$

em que  $\delta Q$  e  $\delta W$  representam incrementos de calor e trabalho que dependem do processo (não são diferenciais exatas), enquanto  $dU$  é diferencial exata.

Para um sistema simples compressível, no qual o único trabalho é o mecânico associado à variação de volume, tem-se, em um processo quase estático

$$\delta W = -P_{ext} \cdot dV, \quad (3.9)$$

onde  $P_{ext}$  é a pressão externa que age sobre o sistema. Substituindo na Primeira Lei, obtém-se

$$dU = \delta Q - P_{ext} \cdot dV. \quad (3.10)$$

Em um processo cíclico, no qual o sistema retorna ao seu estado inicial, a variação total de energia interna é nula ( $\Delta U = 0$ ). Integrando a expressão diferencial ao longo de um ciclo completo, resulta

$$\oint \delta Q + \oint \delta W = 0, \quad (3.11)$$

ou, de forma equivalente,

$$Q_{ciclo} = -W_{ciclo}. \quad (3.12)$$

Essa igualdade mostra que, em máquinas térmicas ideais operando em regime cíclico, o calor líquido absorvido é exatamente convertido em trabalho líquido (ou vice-versa), ainda que a Segunda Lei imponha limitações sobre a eficiência dessa conversão.

### 3.5 Calorimetria avançada: capacidade térmica e calor latente

O calor é definido como a energia transferida entre sistemas em virtude exclusivamente de uma diferença de temperatura. O efeito dessa transferência é quantificado por grandezas como capacidade térmica e calor específico. Em linguagem diferencial, a capacidade térmica  $C$  de um sistema em um dado processo é definida como

$$C = \left( \frac{\delta Q}{dT} \right)_{caminho}, \quad (3.13)$$

onde o subscrito indica as condições mantidas constantes (por exemplo, volume ou pressão). Assim, obtêm-se capacidades térmicas para processos a volume constante e a pressão constante

$$C_V = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V, \quad C_P = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_P. \quad (3.14)$$

Quando se deseja enfatizar que se trata de grandezas molares (em  $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ), usa-se com frequência a notação  $C_{V,m}$  e  $C_{P,m}$ . Já para quantidades por unidade de massa (em  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ), é comum empregar  $c_v$  e  $c_p$ . Em expressões como  $Q = n\cdot C_{V,m}\cdot\Delta T$  ou  $Q = n\cdot C_{P,m}\cdot\Delta T$ , os símbolos  $C_{V,m}$  e  $C_{P,m}$  denotam explicitamente capacidades térmicas molares.

Quando a capacidade térmica depende da temperatura, a quantidade de calor trocada na variação de temperatura de  $T_1$  para  $T_2$  é dada por

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} C(T)dT. \quad (3.15)$$

Para uma amostra de massa  $m$ , define-se o calor específico  $c$  como a capacidade térmica por unidade de massa

$$c = \frac{C}{m}, \quad (3.16)$$

de modo que, para  $c$  aproximadamente constante no intervalo de temperatura considerado, a expressão assume a forma familiar

$$Q = mc\Delta T. \quad (3.17)$$

Em transições de fase, como fusão, solidificação, vaporização ou condensação, a energia transferida não se manifesta como variação de temperatura, mas como reorganização estrutural da matéria. Introduce-se, então, o conceito de calor latente  $L$ , definido como a quantidade de calor necessária para transformar a fase de uma massa  $m$  de substância, sob temperatura e pressão constantes. A relação fundamental é

$$Q = mL, \quad (3.18)$$

no qual o sinal de  $Q$  indica se o processo é endotérmico (absorção de calor) ou exotérmico (liberação de calor). Em nível universitário, admite-se que  $L$  também pode depender de pressão e temperatura, embora muitos problemas considerem  $L$  aproximadamente constante em uma faixa limitada de condições.

### 3.6 Transferência de calor: condução, convecção e radiação

A Segunda Lei da Termodinâmica implica que o calor flui espontaneamente de regiões de maior temperatura para regiões de menor temperatura, buscando o equilíbrio térmico. Esse transporte de energia pode ocorrer por três mecanismos básicos: condução, convecção e radiação. Em um tratamento avançado, cada mecanismo é descrito por equações diferenciais e/ou vetoriais específicas.

Na condução, o calor é transferido através de um meio sólido ou fluido devido a gradientes de temperatura, sem transporte macroscópico de matéria. Em nível microscópico, a transferência decorre de colisões entre partículas e, em metais, é fortemente influenciada pelos elétrons de condução. A descrição contínua da condução é dada pela lei de Fourier (Incropera et al., 2017), que relaciona o vetor fluxo de calor  $q$  ao gradiente de temperatura

$$\Phi = -k \cdot \nabla T, \quad (3.20)$$

em que  $k$  é a condutividade térmica do material,  $\nabla T$  é o gradiente de temperatura e  $q$  tem unidades de  $W \cdot m^{-2}$ . A combinação da lei de Fourier com a equação de conservação de energia leva, para um meio contínuo com densidade  $\rho$ , calor específico  $c_p$  e fonte volumétrica de calor  $\dot{q}_v$ , à equação de difusão de calor

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q}_v. \quad (3.21)$$

Essa equação diferencial parcial descreve a evolução temporal da temperatura em sólidos e fluidos em regime transiente (Carslaw; Jaeger, 1959; Özisik, 1993). Em situações estacionárias sem geração interna ( $\partial T / \partial t = 0$  e  $\dot{q}_v = 0$ ), ela se reduz à equação de Laplace,  $\nabla^2 T = 0$ .

Na convecção, há transporte de energia associado ao movimento macroscópico de um fluido. Esse movimento pode ser forçado, por ação de bombas ou ventiladores, ou natural, quando decorre de diferenças de densidade criadas por gradientes de temperatura em um

campo gravitacional. Em nível macroscópico, o campo de velocidades do fluido  $\mathbf{v}$  é descrito, para fluidos newtonianos, pelas equações de Navier–Stokes (White, 2016)

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{g}, \quad (3.22)$$

onde  $p$  é a pressão,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica e  $\mathbf{g}$  é o vetor aceleração da gravidade. No contexto de transferência de calor, costuma-se empregar uma forma fenomenológica resumida, conhecida como lei de resfriamento de Newton (Bergman et al., 2011), que relaciona o fluxo de calor convectivo à diferença de temperatura entre uma superfície e o fluido adjacente

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (3.23)$$

ou, em termos de fluxo de calor

$$q''_{conv} = h \cdot (T_s - T_\infty), \quad (3.24)$$

em que  $h$  é o coeficiente de convecção,  $A$  é a área de troca,  $T_s$  é a temperatura da superfície e  $T_\infty$  é a temperatura do fluido “longe” da superfície. Ao contrário de propriedades termofísicas intrínsecas, como a condutividade térmica  $k$ , o coeficiente  $h$  é um parâmetro efetivo e empírico que depende fortemente da geometria, da rugosidade da superfície, do regime de escoamento (laminar ou turbulento), da velocidade do fluido e de propriedades como viscosidade, condutividade e calor específico. Por isso, valores de  $h$  são usualmente obtidos a partir de correlações experimentais, e não de uma tabela única de “propriedades do material”.

Na radiação térmica, a transferência de energia se dá por ondas eletromagnéticas, dispensando a presença de meio material. Qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto emite radiação. Para superfícies aproximadas como corpos cinzentos, a lei de Stefan–Boltzmann (Modest, 2013; Siegel; Howell, 2002) fornece o fluxo de calor radiativo líquido entre uma superfície a temperatura  $T_s$  e o meio ao redor a temperatura efetiva  $T_{amb}$

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{amb}^4), \quad (3.25)$$

em que  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ) e  $\sigma$  é a constante de Stefan–Boltzmann ( $\sigma \approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ ). Integrando sobre a área, obtém-se

$$\frac{dQ_{rad}}{dt} = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{amb}^4). \quad (3.26)$$

Nessas expressões,  $q''_{rad}$  representa o fluxo de calor por unidade de área ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), enquanto  $dQ_{rad}/dt$  representa a taxa total de transferência de calor ( $\text{W}$ ), obtida ao multiplicar o fluxo pela área efetiva de emissão  $A$ .

Essas três leis — Fourier, Newton do resfriamento e Stefan–Boltzmann — formam o núcleo matemático da análise avançada de transferência de calor, permitindo modelar desde problemas simples de condução unidimensional até sistemas complexos em que convecção e radiação interagem simultaneamente.

### 3.7 Gás ideal e equação de estado

O comportamento macroscópico dos gases é descrito por variáveis de estado como pressão  $P$ , volume  $V$ , temperatura  $T$  e quantidade de substância  $n$ . As leis empíricas de Boyle, Charles e Gay-Lussac podem ser unificadas na equação de estado do gás ideal (Atkins; De Paula, 2014)

$$PV = nRT, \quad (3.27)$$

em que  $R$  é a constante universal dos gases, relacionada à constante de Avogadro  $N_A$  e à constante de Boltzmann  $k_B$  por

$$R = N_A k_B. \quad (3.28)$$

Escrevendo em termos do número total de moléculas  $N$ , obtém-se a forma microscópica da equação de estado

$$PV = N k_B T. \quad (3.29)$$

Para processos envolvendo apenas estados inicial e final de um mesmo gás ideal em quantidade fixa, é útil a forma proporcional

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \quad (3.30)$$

que decorre diretamente de  $PV/T = nR = \text{constante}$ . Em análises mais avançadas, a equação de estado do gás ideal é substituída por equações mais gerais, como a equação de van der Waals (Mcquarrie, 2000), para gases reais próximos da liquefação, mas o modelo ideal permanece central por sua simplicidade e poder explicativo.

### 3.8 Teoria cinética dos gases: conexão micro–macro

A Teoria Cinética Dos Gases (Reif, 1965; Kittel; Kroemer, 1980) fornece a ponte entre grandezas microscópicas (velocidades moleculares) e macroscópicas (pressão e temperatura). Assume-se que o gás é composto por um grande número de partículas puntiformes em movimento aleatório, que interagem apenas por colisões breves, tratadas como perfeitamente elásticas.

Mostra-se que a pressão macroscópica é o resultado do momento transferido pelas colisões das moléculas com as paredes do recipiente. Mais importante ainda, demonstra-se que a temperatura absoluta está diretamente relacionada à energia cinética translacional média das partículas. Para um gás ideal monoatômico, vale a relação fundamental

$$\langle E_c \rangle = \frac{3}{2} k_B T, \quad (3.30)$$

em que  $\langle E_c \rangle$  é a energia cinética média de uma partícula. Para  $n$  mols de gás ideal monoatômico, a energia interna total  $U$  é

$$U = \frac{3}{2} n R T \quad (3.31)$$

Como  $U$  depende apenas de  $T$ , uma variação de temperatura implica variação de energia interna proporcional a  $n$ . Em um aquecimento a volume constante, em que o trabalho mecânico é nulo ( $\delta W = 0$ ), tem-se  $\delta Q = dU$ . Escrevendo  $\delta Q = nC_{V,m} dT$  e usando a expressão de  $U$ , obtém-se

$$n C_{V,m} \Delta T = \frac{3}{2} n R \Delta T, \quad (3.32)$$

de onde resulta a capacidade térmica molar a volume constante para um gás ideal monoatômico

$$C_{V,m} = \frac{3}{2} R \quad (3.33)$$

Esse resultado, aproximadamente  $12,5 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , é confirmado experimentalmente para gases como hélio e argônio, dando sustentação empírica à teoria cinética.

### 3.9 Unificação do conceito de energia

Ao longo do século XIX, tornou-se claro que trabalho mecânico e calor não são entidades distintas, mas formas de uma mesma grandeza conservativa: a energia. Experimentos como os de Joule quantificaram o equivalente mecânico do calor (Joule, 1843 Apud Cardwell, 1971), mostrando que uma certa quantidade de trabalho pode ser convertida em uma quantidade bem definida de calor, e vice-versa.

Em linguagem moderna, a energia pode ser definida operacionalmente como a capacidade de produzir trabalho ou causar mudança no estado de um sistema. Em termos mais fundamentais, toda forma de energia pode ser associada, em última instância, à ação de uma das quatro forças fundamentais da natureza: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca.

No contexto da mecânica clássica, a energia cinética de uma partícula de massa  $m$  e velocidade  $v$  é dada por

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (3.34)$$

enquanto a energia potencial gravitacional próxima à superfície da Terra é

$$E_p = m g h \quad (3.35)$$

em que  $g$  é a aceleração da gravidade e  $h$  é a altura em relação a um nível de referência. No domínio eletromagnético, a energia associada a um fóton de frequência  $f$  é descrita pela relação de Planck

$$E = h f, \quad (3.36)$$

em que  $h$  é a constante de Planck. Essas expressões ilustram como a energia assume múltiplas formas, sempre passíveis de descrição matemática rigorosa.

### 3.10 Processos termodinâmicos elementares

A Primeira Lei, na forma  $dU = \delta Q - P_{ext} dV$ , aplica-se a diferentes tipos de processos, que podem ser classificados de acordo com a variável mantida constante. Em um processo adiabático, não há troca de calor com a vizinhança ( $\delta Q = 0$ ). Para um gás ideal monoatômico em processo adiabático reversível, combinando a Primeira Lei com a equação de estado, obtém-se a relação

$$P V^\gamma = \text{constante}, \quad (3.37)$$

na qual  $\gamma = C_{P,m}/C_{V,m}$  é o expoente adiabático (para gases monoatômicos ideais,  $\gamma \approx 5/3$ ). Relações equivalentes podem ser escritas envolvendo  $T$ , como  $T V^{\gamma-1} = \text{constante}$   $T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{constante}$ .

Em processos isocóricos (ou isovolumétricos), o volume é constante ( $dV = 0$ ), de modo que o trabalho mecânico é nulo ( $\delta W = 0$ ) e a Primeira Lei se reduz a

$$dU = \delta Q, \quad (3.38)$$

ou, para um gás ideal,  $\delta Q = n C_{V,m} dT$ .

Nos processos isotérmicos, a temperatura permanece constante ( $dT = 0$ ). Para um gás ideal, isso implica  $dU = 0$ , logo  $\delta Q = -\delta W$ . Em uma expansão isotérmica reversível de um gás ideal, o trabalho é dado pela integral

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV = - \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = - n R T \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right), \quad (3.39)$$

o que mostra explicitamente o caráter logarítmico do trabalho em função da razão de volumes. O calor trocado é  $Q = -W$ , pois  $\Delta U = 0$ .

Finalmente, em processos isobáricos, a pressão é mantida constante. O trabalho mecânico em uma transformação de  $V_i$  para  $V_f$  é

$$W = -P(V_f - V_i), \quad (3.40)$$

e o calor trocado é  $Q = \Delta U - W$ . Para um gás ideal, utiliza-se a capacidade térmica molar a pressão constante,  $C_{P,m}$ , de modo que  $Q = n C_{P,m} \Delta T$ . Para gases ideais simples, vale ainda a relação

$$C_{P,m} = C_{V,m} + R, \quad (3.41)$$

o que conecta diretamente as capacidades térmicas molares a volume e pressão constantes.

### 3.11 Entropia termodinâmica e Segunda Lei

A entropia  $S$  é a grandeza central da Segunda Lei da Termodinâmica e desempenha papel crucial na compreensão da irreversibilidade dos processos naturais. Em sua formulação clássica, devida a Clausius, a variação de entropia em um processo reversível é definida por:

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}, \quad (3.42)$$

de modo que, entre dois estados de equilíbrio 1 e 2,

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q_{rev}}{T}, \quad (3.43)$$

A Segunda Lei afirma que, para qualquer processo real (irreversível), a variação de entropia do universo é não negativa

$$\Delta S_{universo} \geq 0. \quad (3.44)$$

A igualdade vale para processos idealizados reversíveis, enquanto a desigualdade estrita ( $\Delta S_{universo} > 0$ ) caracteriza processos irreversíveis, associados à produção de entropia. Em termos diferenciais, essa ideia pode ser expressa como

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (3.45)$$

sendo que o excesso em relação ao quociente  $\delta Q/T$  mede a entropia produzida internamente no sistema.

Enquanto a energia total se conserva (Primeira Lei), a entropia do universo nunca diminui. Essa assimetria é responsável pela chamada “seta do tempo” (Eddington, 1928; Prigogine, 1980): a distinção entre passado e futuro emerge justamente do fato de que processos espontâneos são aqueles que aumentam a entropia total. A mistura de dois gases, a difusão de um perfume no ar ou a dissipação de energia mecânica em calor por atrito são exemplos cotidianos de processos em que a entropia cresce.

### 3.12 Interpretação estatística da entropia

A interpretação microscópica da entropia, formulada por Boltzmann, conecta a termodinâmica à teoria de probabilidades. Considera-se que um mesmo estado macroscópico (macroestado), caracterizado por grandezas como  $P$ ,  $V$ ,  $T$ , pode ser realizado por um número gigantesco de configurações microscópicas (microestados), especificadas pelas posições e velocidades de todas as partículas.

Se  $\Omega$  denota o número de microestados compatíveis com um dado macroestado, a definição estatística de entropia é

$$S = k_B \ln \Omega. \quad (3.46)$$

Esta relação fundamental, gravada no túmulo de Boltzmann em Viena, estabelece a ponte definitiva entre a física estatística e a termodinâmica (Lebowitz, 1993; Pathria; Beale, 2011). Ela torna explícito que a entropia mede o “número de maneiras” pelas quais o sistema pode ser arranjado microscopicamente sem alterar suas propriedades macroscópicas observáveis.

Processos espontâneos correspondem à evolução de estados com poucas realizações microscópicas para estados com muitíssimas realizações possíveis. É por isso que é praticamente impossível observar, por exemplo, um gás inicialmente homogêneo se concentrar espontaneamente em metade do recipiente: embora não seja estritamente proibido pelas leis microscópicas, trata-se de um evento de probabilidade tão pequena que, na prática, nunca ocorre.

## 4 A TEORIA DA APRENDIZAGEM COMO FUNDAMENTO DA PESQUISA

### 4.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A presente pesquisa se fundamenta nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta originalmente por David Ausubel (Ausubel, 1968; Ausubel; Novak; Hanesian, 1978) e amplamente estudada e difundida no contexto do ensino de Ciências por pesquisadores como Marco Antônio Moreira (Moreira, 2011; Moreira; Masini, 1982). A escolha desta teoria como alicerce central se justifica por seu potencial explicativo sobre como os seres humanos aprendem conteúdos escolares de forma a poderem utilizá-los em novas situações, superando a mera memorização mecânica. O objetivo central desta proposta pedagógica é, portanto, promover a aprendizagem significativa dos conceitos de propagação de calor.

Ausubel diferencia fundamentalmente a Aprendizagem Significativa (AS) da Aprendizagem Mecânica (AM). Enquanto a AM envolve a memorização de novas informações com pouca ou nenhuma associação com conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, resultando em conhecimento armazenado de forma arbitrária e literal, a AS ocorre quando a nova informação “ancora-se em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz” (Moreira, 2011, p. 3). Essa ancoragem não é literal, mas sim substantiva, ou seja, o significado da nova informação é incorporado à estrutura cognitiva, modificando tanto a nova informação quanto o conhecimento prévio ao qual ela se ligou. A AS, por sua natureza, possibilita maior retenção do conhecimento, maior capacidade de transferência para resolver novos problemas e uma compreensão mais profunda e integrada dos conceitos.

A peça-chave para a ocorrência da AS são os subsunçores ou conceitos subsunçores, definidos como conceitos, ideias ou proposições específicas e relevantes já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, que servem de ponto de ancoragem para a nova informação. A aprendizagem significativa depende, crucialmente, da existência de subsunçores adequados e da sua ativação durante o processo de ensino. Ausubel (2003) fundamenta que o conhecimento prévio do aprendiz é o fator determinante para novas aprendizagens, recomendando que o ensino parta sempre dessa base cognitiva.

Para que a aprendizagem significativa ocorra, Ausubel postula três condições essenciais:

- i. **Significatividade Lógica do Material** – O material de aprendizagem (conteúdo, vídeo, texto, jogo) deve ser relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz de maneira não arbitrária e não literal. Ele precisa ter uma organização interna clara e apresentar os conceitos de forma coerente (Ausubel, 1968; Ausubel; Novak; Hanesian, 1978). Neste trabalho, buscou-se garantir essa condição através da elaboração cuidadosa dos roteiros dos vídeos e das regras e desafios do jogo de trilha, estruturando os conceitos de propagação de calor de forma lógica e sequencial.
- ii. **Presença de Subsunoçores Relevantes** – O aprendiz deve possuir em sua estrutura cognitiva os conhecimentos prévios necessários para ancorar o novo material (Ausubel, 1968). A identificação desses subsunoçores sobre calor e temperatura, por meio de instrumentos como o pré-teste e discussões iniciais, é um passo fundamental na aplicação desta proposta.
- iii. **Disposição para Aprender Significativamente** – O aprendiz precisa manifestar a intenção de relacionar o novo material de forma substantiva e não arbitrária aos seus conhecimentos prévios. Essa condição envolve aspectos motivacionais e afetivos (Moreira, 2011; Mainardes; Stremel, 2015). Acredita-se que a utilização de recursos audiovisuais (Moran, 2013) e lúdicos (Kishimoto, 2022), como o jogo de trilha, pode favorecer essa predisposição ao tornar a aprendizagem mais engajadora e contextualizada, influenciando positivamente o domínio afetivo do estudante.

Derivados desses princípios, alguns conceitos facilitadores da AS são relevantes para esta pesquisa. Os Organizadores Prévios, materiais introdutórios apresentados antes do conteúdo principal, visam “servir de ponte” entre o que o aluno já sabe (subsunoçores) e o que ele precisa saber para aprender o novo material (Ausubel, 1968, p.148). Como destacado por Moreira (2011, p. 45), os organizadores prévios são particularmente eficazes quando: (a) apresentam linguagem acessível, (b) articulam explicitamente conceitos conhecidos e novos, e (c) são utilizados antes de atividades complexas. Os vídeos conceituais produzidos podem funcionar como organizadores prévios, apresentando uma visão geral e ativando conhecimentos relevantes antes da exploração mais aprofundada no jogo ou em outras atividades.

Adicionalmente, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) enfatiza a importância da Diferenciação Progressiva e da Reconciliação Integradora. A primeira refere-se ao princípio de organizar o conteúdo hierarquicamente, do mais geral e inclusivo para o mais específico e diferenciado, refinando progressivamente os conceitos (Ausubel; Novak;

Hanesian, 1978, p. 171). A segunda envolve a exploração sistemática de relações conceituais, comparando e contrastando ideias afins para eliminar contradições aparentes e promover sínteses cognitivas (Moreira, 2011, p. 89). A sequência didática proposta, iniciando com vídeos e progredindo para o jogo, que exige a aplicação e distinção dos conceitos de condução, convecção e radiação em diferentes situações, busca promover ambos os processos. As discussões mediadas pelo professor durante e após o jogo são cruciais para a reconciliação integradora.

Nesse contexto teórico, os recursos didáticos utilizados – vídeos e o jogo de trilha – não são vistos como meros instrumentos motivacionais, mas como ferramentas cognitivas (Ausubel, 2000, p. 112) e mediadoras intencionalmente desenhadas para facilitar a Aprendizagem Significativa (AS). Os vídeos visam apresentar informações com clareza e organização (significatividade lógica), utilizando recursos visuais para tornar conceitos abstratos mais concretos e potencialmente servir como organizadores prévios (Ausubel, 2000, p. 118).

O jogo de trilha, por sua vez, é concebido como:

1. Um ambiente que demanda a ativação e aplicação de subsunçores em situações-problema (Kishimoto, 2022, p. 134);
2. Um espaço que promove a interação e negociação de significados (reconciliação integradora);
3. Um mecanismo para estimular a disposição para aprender através do desafio lúdico.

A utilização de cartões com palavras-chave para mapas conceituais, inspirada nos trabalhos seminiais de Novak (Novak; Gowin, 1984, p. 56), alinha-se diretamente à TAS como estratégia para

- Externalizar a estrutura cognitiva do aprendiz;
- Promover a organização hierárquica do conhecimento;
- Facilitar conexões conceituais.

Tabela 1 – Recursos didáticos e suas funções na TAS

<b>Recurso Didático</b>	<b>Função Cognitiva</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>
<b>Vídeos</b>	Organizadores prévios	Ausubel (2000)
<b>Jogo de Trilha</b>	Reconciliação integradora	Kishimoto (2022)
<b>Cartões/Mapeamento</b>	Estruturação conceitual	Novak e Gowin (1984)

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas referências teóricas citadas.

Portanto, ao ancorar esta pesquisa na Teoria da Aprendizagem Significativa, busca-se um referencial robusto para planejar a intervenção pedagógica, analisar as interações dos estudantes com os materiais e investigar o potencial da combinação de recursos audiovisuais e jogos para promover uma compreensão mais profunda e duradoura dos complexos conceitos de propagação de calor.

#### 4.1.2 Aprendizagem Significativa versus Aprendizagem Mecânica

A teoria ausubeliana estabelece uma distinção fundamental entre dois polos do processo de aprendizagem: a Aprendizagem Significativa (AS) e a Aprendizagem Mecânica (AM) ou por memorização (*Rote Learning*). Conforme demonstrado por Ausubel, Novak e Hanesian (1978) em sua obra seminal, esses conceitos representam extremos de um continuum, diferenciando-se radicalmente em sua capacidade de integrar novos conhecimentos à estrutura cognitiva do aprendiz – esse complexo organizado de conceitos prévios que serve como fundamento para novas aquisições.

A aprendizagem mecânica, conforme definida na página 30 da referida obra, caracteriza-se pela incorporação não-relacional de informações, que são armazenadas de forma isolada e literal na estrutura cognitiva. Este fenômeno ocorre tipicamente quando o aprendiz decora fórmulas ou definições sem estabelecer conexões substantivas com seu conhecimento prévio, resultando em três limitações cruciais: maior vulnerabilidade ao esquecimento, reduzida capacidade de transferência para novos contextos e dificuldade na resolução de problemas que demandam adaptação conceitual.

A natureza efêmera da aprendizagem mecânica contrasta radicalmente com a aprendizagem significativa, que segundo os autores (p. 27-28) requer três condições essenciais: material potencialmente significativo (organizado e relacional), subsunçores adequados na estrutura cognitiva do aprendiz e, fundamentalmente, uma disposição afetiva para relacionar o novo conhecimento ao que já se conhece. Esta distinção teórica tem implicações profundas para o planejamento didático, particularmente na seleção de estratégias que favoreçam conexões conceituais em detrimento da mera memorização.

A Aprendizagem Significativa (AS) constitui-se como processo diametralmente oposto à aprendizagem mecânica, ocorrendo quando novas informações estabelecem relações substantivas e não arbitrárias com aspectos relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz. Como fundamentam Ausubel (1968) e Moreira (2011), essa dupla condição implica: (1) a incorporação do significado essencial da informação, transcendendo sua mera forma linguística; e (2) sua conexão específica com conceitos preexistentes que funcionam como subsunçores.

Nesse processo dinâmico, que Moreira (2011, p. 16) caracteriza como “a relação entre nova informação e aspectos relevantes da estrutura de conhecimento”, ocorre uma mútua transformação: enquanto o novo conhecimento adquire significado ao ancorar-se no preexistente, este último se modifica e amplia, num fenômeno de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Tal mecanismo explica três vantagens cognitivas da AS destacadas por ambos os autores: maior retenção temporal, integração orgânica ao conhecimento prévio e elevada capacidade de transferência para contextos diversificados.

Essas propriedades tornam a AS particularmente crucial no ensino de ciências, onde a formação de cidadãos capazes de compreender e intervir competentemente na realidade demanda justamente essas capacidades de compreensão profunda e aplicação flexível do conhecimento.

#### 4.1.3 O Papel dos Subsunçores

O elemento cognitivo fundamental que viabiliza a ancoragem de novas informações no processo de Aprendizagem Significativa é o subsunçor, também denominado conceito subsunçor. Moreira (2012, p. 28) define subsunçores como “conceitos, ideias ou proposições já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz e que apresentam relevância para a nova informação a ser assimilada”. Esses elementos cognitivos atuam como pontos de ancoragem

ou conexão, permitindo que o novo conhecimento se vincule de maneira substantiva e não arbitrária ao saber prévio.

A presença de subsunçores na estrutura cognitiva do estudante constitui-se como o fator determinante e de grande relevância para caracterizar se uma aprendizagem será significativa ou meramente mecânica. Essa premissa implica que o diagnóstico preciso dos subsunçores disponíveis, ou da carência deles, sobre determinado conteúdo, como os conceitos fundamentais da propagação de calor (incluindo noções básicas sobre energia, temperatura e propriedades dos materiais), representa uma etapa essencial no planejamento docente voltado para a promoção da Aprendizagem Significativa.

No âmbito do ensino de Física, os educadores frequentemente se deparam com um desafio adicional: a existência de subsunçores inadequados ou concepções alternativas profundamente arraigadas nos estudantes, que podem criar obstáculos no processo de aprendizagem significativa quando não adequadamente identificados e trabalhados.

#### 4.1.4 Condições para a Ocorrência da Aprendizagem Significativa

Após estabelecer a distinção fundamental entre Aprendizagem Significativa (AS) e Aprendizagem Mecânica (AM), e destacar o papel central dos subsunçores nesse processo, torna-se imperativo examinar as condições necessárias para a efetiva ocorrência da AS. Conforme a teoria ausubeliana, três condições devem ser satisfeitas de forma concomitante, sendo que a ausência de qualquer uma delas pode levar o aprendiz a recorrer à memorização mecânica, mesmo que de forma não intencional (Moreira, 2011).

##### i. Significatividade Lógica do Material

A primeira condição refere-se às características intrínsecas do material de aprendizagem. Para ser considerado logicamente significativo, o material – seja textual, audiovisual ou lúdico – deve apresentar organização coerente, clareza conceitual e relações explícitas entre os conceitos (Ausubel; Novak; Hanesian, 1978). Moreira (2012, p. 31) reforça que o material deve ser “relacionável à estrutura cognitiva humana de maneira não-arbitrária e não-literar”, possuindo significado em si mesmo para aprendizes que detenham os pré-requisitos necessários.

Na presente pesquisa, essa condição foi cuidadosamente considerada na elaboração dos materiais didáticos. Os vídeos foram concebidos com roteiros que apresentam os conceitos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) de forma sequencial e

progressiva, utilizando linguagem acessível e representações visuais cuidadosamente planejadas. Paralelamente, o jogo de trilha foi desenvolvido com regras claras e desafios que estabelecem relações explícitas entre as ações lúdicas e os princípios físicos subjacentes.

#### ii. Subsunoçores Relevantes na Estrutura Cognitiva

A segunda condição exige a presença, na estrutura cognitiva do aprendiz, de conceitos subsunoçores adequados aos quais a nova informação possa se ancorar (Ausubel, 1968). A significatividade psicológica do material depende criticamente dessa preexistência de conhecimentos relevantes, sem os quais a aprendizagem tenderá a ser superficial e mecânica, independentemente da qualidade do material instrucional.

Essa premissa justificou a aplicação de pré-testes diagnósticos nesta pesquisa, que permitiram identificar tanto a presença quanto a adequação dos subsunoçores relacionados aos fenômenos térmicos. Quando diagnosticadas lacunas ou concepções alternativas, estratégias específicas foram implementadas, como a utilização de organizadores prévios e situações de confronto conceitual, visando desenvolver ou reestruturar os subsunoçores necessários antes da introdução dos novos conteúdos.

#### iii. Disposição para Aprendizagem Significativa

A terceira condição, de natureza motivacional e afetiva, requer que o aprendiz demonstre disposição para relacionar substantivamente o novo material ao seu conhecimento prévio (Ausubel; Novak; Hanesian, 1978; Moreira, 2011). Fatores como percepção de relevância, autoconfiança e experiências anteriores influenciam decisivamente essa disposição, podendo levar o estudante a optar por estratégias mecânicas mesmo quando as outras duas condições estão presentes.

Em suma, a promoção efetiva da AS, demanda uma abordagem holística que contemple simultaneamente: (1) a elaboração criteriosa de materiais didáticos com significatividade lógica; (2) o diagnóstico e desenvolvimento dos subsunoçores necessários; e (3) a criação de ambientes de aprendizagem que estimulem o engajamento significativo. Essa tríade condicional, quando adequadamente implementada, potencializa a construção de conhecimentos duradouros e aplicáveis, objetivo primordial do processo educativo.

#### 4.1.5 Princípios Didáticos para Fomentar a Aprendizagem Significativa

Além de estabelecer as condições necessárias para a Aprendizagem Significativa (AS), a teoria de Ausubel oferece princípios programáticos fundamentais para orientar a prática pedagógica e o desenvolvimento de materiais instrucionais. Dentre esses princípios, destacam-se os Organizadores Prévios (OPs), a Diferenciação Progressiva (DP) e a Reconciliação Integradora (RI), os quais foram cuidadosamente considerados na concepção da sequência didática desta pesquisa.

Como proposto originalmente por Ausubel (1968), os Organizadores Prévios (OPs) constituem materiais introdutórios apresentados antes do conteúdo principal, com o objetivo explícito de facilitar a aquisição significativa do conhecimento. Estes organizadores funcionam como autênticas “pontes cognitivas”, estabelecendo conexões entre o conhecimento prévio do aluno e as novas informações a serem aprendidas. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1978), os OPs são tipicamente formulados em um nível de maior abstração, generalidade e inclusividade do que o material de aprendizagem subsequente, servindo tanto para ativar subsunçores relevantes quanto para fornecer uma estrutura conceitual inicial para a assimilação do novo conteúdo.

Os vídeos introdutórios sobre os mecanismos de propagação de calor foram meticulosamente concebidos para funcionarem como Organizadores Prévios eficazes. Ao apresentar uma visão panorâmica dos conceitos fundamentais e valer-se de analogias visuais cuidadosamente elaboradas, esses materiais buscam cumprir uma dupla função: ativar os conhecimentos prévios dos alunos e oferecer um arcabouço conceitual inicial que facilite a posterior assimilação das regras e desafios presentes no jogo de trilha e nas demais atividades da sequência didática.

A Diferenciação Progressiva (DP) constitui um princípio fundamental na TAS, referindo-se à organização sequencial e hierárquica do conteúdo instrucional. Como postulado por Ausubel (1968) e ampliado por Moreira (2011), esse princípio defende que a aprendizagem se torna mais efetiva quando os conceitos mais gerais e inclusivos de uma disciplina são introduzidos primeiramente, para somente depois serem gradativamente diferenciados em termos de especificidades e detalhes. Essa abordagem reflete diretamente a maneira como o conhecimento se organiza na estrutura cognitiva humana de forma hierarquizada.

A apresentação inicial de conceitos amplos funciona como base para estabelecer “âncoras conceituais” estáveis (subsunçores gerais), que facilitam a posterior incorporação significativa de informações mais detalhadas e específicas. Essa progressão do geral para o particular permite que os novos conhecimentos se conectem de maneira substantiva e não

arbitrária à estrutura cognitiva existente, caracterizando o processo de aprendizagem significativa.

Na sequência didática desenvolvida nesta pesquisa, a aplicação do princípio da Diferenciação Progressiva se manifesta em dois níveis complementares:

- Macroestrutural: Através da introdução inicial dos conceitos gerais sobre transferência de calor e seus mecanismos fundamentais nos vídeos educativos;
- Microestrutural: Pela progressão dos desafios no jogo de trilha, que parte de situações mais simples e concretas para gradualmente incorporar contextos mais complexos, exigindo dos alunos uma discriminação cada vez mais refinada entre os conceitos de condução, convecção e radiação.

Essa abordagem em camadas, fundamentada nos trabalhos seminais de Ausubel (1968) e na interpretação pedagógica de Moreira (2011), busca criar as condições ideais para que os estudantes construam uma compreensão integrada e significativa dos fenômenos térmicos, evitando a fragmentação do conhecimento.

A Reconciliação Integradora representa o processo complementar à Diferenciação Progressiva na Teoria da Aprendizagem Significativa. Enquanto a primeira se concentra na análise e detalhamento conceitual, a segunda enfatiza a síntese e clarificação das relações entre ideias. Como destacam Ausubel, Novak e Hanesian (1978), este princípio pedagógico exige que, durante o processo instrucional, sejam explicitamente exploradas as semelhanças e diferenças entre conceitos relacionados, apontadas inconsistências aparentes e facilitada a resolução de conflitos cognitivos.

Trata-se de um processo ativo de reorganização do conhecimento que visa manter a estrutura cognitiva do aprendiz clara, coerente e integrada, prevenindo a compartimentalização do saber ou a coexistência paradoxal de ideias contraditórias. Esta dimensão da teoria ausubeliana mostra-se particularmente relevante no ensino de física, onde a distinção precisa entre conceitos científicos estabelecidos e concepções alternativas oriundas do senso comum é fundamental para uma aprendizagem efetiva.

Nessa investigação, a dinâmica do jogo de trilha foi planejada para operacionalizar este princípio. Ao exigir que os alunos identifiquem o mecanismo predominante de propagação de calor em diferentes contextos situacionais, o jogo os obriga a comparar e contrastar sistematicamente os processos de condução, convecção e radiação. As discussões mediadas pelo professor durante as sessões lúdicas, somadas às atividades de sistematização posterior que incluem a construção de mapas conceituais com os cartões temáticos, constituem momentos pedagógicos privilegiados para explicitar as características distintivas

de cada mecanismo de transferência térmica, corrigir compreensões equivocadas ou incompletas, estabelecer relações claras entre os conceitos e promover a integração coerente do novo conhecimento na estrutura cognitiva.

Esta abordagem cria um ambiente propício para que os alunos desenvolvam uma compreensão mais profunda e interconectada dos fenômenos térmicos, superando visões fragmentadas ou contraditórias que possam persistir em sua estrutura cognitiva. Através dessa interação dinâmica entre teoria e prática, mediada pelo jogo e pelas discussões orientadas, os estudantes têm a oportunidade de reorganizar seu conhecimento de maneira mais sistemática e alinhada com os princípios científicos estabelecidos.

Os mapas conceituais, embora desenvolvidos por Joseph Novak, constituem uma ferramenta metodológica profundamente enraizada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel, como demonstrado na obra seminal de Novak e Gowin (1984). Esses diagramas visuais representam relações substantivas entre conceitos através de proposições hierarquicamente organizadas, onde conexões são explicitadas por linhas rotuladas com palavras de ligação. Na dupla função pedagógica descrita pelos autores, os mapas conceituais atuam como instrumentos de ensino (auxiliando na organização do conhecimento) e ferramentas avaliativas (permitindo inferir a estrutura cognitiva dos aprendizes).

A incorporação de cartões com palavras-chave para construção de mapas conceituais na presente proposta didática materializa uma estratégia pedagogicamente alinhada aos princípios da TAS. Como destacam Novak e Gowin (1984, p. 15), essa abordagem visa facilitar a organização, visualização e comunicação das relações entre os conceitos estudados sobre propagação de calor, promovendo uma compreensão mais sistêmica e integrada dos fenômenos térmicos.

## **5 USO DE RECURSOS AUDIOVISUAIS, JOGOS E MAPAS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA SOB A ÓTICA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Esta seção realiza uma revisão sistemática da literatura especializada acerca da aplicação de duas estratégias didáticas contemporâneas no ensino de Física: (i) vídeos educativos e; (ii) jogos pedagógicos. O estudo examina comparativamente o potencial educacional de cada modalidade, avaliando seus méritos e limitações no contexto do processo de ensino-aprendizagem, com fundamentação teórica na TAS.

## 5.1 RECURSOS AUDIOVISUAIS E A TEORIA COGNITIVA DA APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA

Os recursos audiovisuais, particularmente vídeos e animações, têm sido amplamente reconhecidos como instrumentos pedagógicos promissores para o ensino de ciências (Mayer, 2009; Zeitter, 2018). Contudo, seu objetivo educacional está intrinsecamente vinculado a um design instrucional rigoroso, fundamentado em teorias cognitivas da aprendizagem. Neste contexto, a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM), desenvolvida por Richard Mayer (2009, p. 31), oferece um referencial teórico detalhado, assentado em três premissas fundamentais: (a) a existência de canais separados para processamento de informações visuais e auditivas (processamento dual); (b) a capacidade limitada de cada canal cognitivo; e (c) a natureza ativa da aprendizagem como processo de seleção, organização e integração de informações.

Fundamentado nesses pressupostos teóricos, Mayer (2009, p. 89-127) sistematizou princípios específicos para o design instrucional multimídia, organizados em três categorias essenciais:

1. Princípio da Multimídia: estabelece que a aprendizagem se torna mais efetiva quando ocorre a combinação integrada de elementos verbais (palavras) e visuais (imagens);
2. Princípios de Contiguidade:
  - Espacial: requer proximidade física entre texto e imagem correspondentes
  - Temporal: demanda sincronia na apresentação de elementos relacionados
3. Princípio da Coerência: preconiza a eliminação de elementos estranhos ao conteúdo essencial.

Esses princípios possuem dupla finalidade pedagógica: (a) otimizar a gestão da carga cognitiva durante o processo de aprendizagem e (b) potencializar a construção de conhecimentos significativos. Sua aplicação adequada transforma materiais audiovisuais em organizadores prévios de excelência, conforme postulado por Ausubel (1968) e desenvolvido por Moreira (2011), ao:

- Apresentar conceitos-chave de forma clara e hierarquizada;
- Estabelecer relações inclusivas entre conhecimentos;
- Preparar sistematicamente a estrutura cognitiva para novas aquisições de conhecimento.

Nesta perspectiva teórica, o estudo de Ribeiro, Silva e Koscianski (2018, p. 145-162) investigou sistematicamente a construção e aplicação de animações digitais como organizadores prévios no ensino de Física. Os resultados demonstraram que materiais audiovisuais cuidadosamente planejados, concebidos para apresentar conceitos de forma abstrata, geral e inclusiva antes da introdução formal do conteúdo, mostraram-se particularmente adequados na preparação da estrutura cognitiva dos estudantes. Como observam os autores, “as animações funcionaram como âncoras conceituais eficientes, criando subsunçores adequados para a assimilação posterior de conhecimentos mais específicos” (Ribeiro; Silva; Koscianski, 2018, p. 158).

Estes achados assumem especial relevância para a presente investigação, na medida em que os vídeos educativos sobre Calor, Temperatura e Propagação de Calor foram meticulosamente desenvolvidos para cumprir essa função de organizadores prévios. Sua concepção seguiu com rigor os princípios da TCAM (Mayer, 2009) e da TAS (Ausubel, 1968), visando garantir tanto a significatividade lógica do material quanto a sua potencial significância psicológica para os aprendizes. Como destacam Moreira e Masini (2006, p. 78), “a eficácia dos organizadores prévios está diretamente relacionada à sua capacidade de ativar subsunçores relevantes e estabelecer pontes cognitivas sólidas”, condição essencial para o êxito das atividades subsequentes, como o jogo educativo e a construção de mapas conceituais.

## 5.2 JOGOS EDUCATIVOS COMO FERRAMENTAS PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM FÍSICA

Paralelamente aos recursos audiovisuais, a utilização de jogos educativos no ensino de Física tem se consolidado como estratégia pedagógica que cumpre bem o papel na promoção da aprendizagem ativa e significativa. Pesquisas recentes no contexto brasileiro, como as realizadas por Barcellos, Bodevan e Coelho (2021, p. 45-58) e Barros et al. (2023, p. 112-130), demonstram por meio de revisões sistemáticas, que os jogos educacionais contribuem não apenas para a assimilação de conceitos físicos, mas também para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais essenciais, como trabalho colaborativo e resolução de problemas em ambientes que favorecem a experimentação e reflexão crítica.

Sob o marco teórico da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 1968), o potencial pedagógico dos jogos manifesta-se em múltiplas dimensões. Como destacam Savi e Ulbricht

(2008, p. 76), “a contextualização lúdica dos conteúdos transforma o jogo em poderoso ativador de subsunçores”, exigindo dos alunos a mobilização de conhecimentos prévios tanto para compreender as regras quanto para solucionar os desafios propostos. Essa característica torna a aprendizagem menos arbitrária e mais vinculada à experiência concreta dos estudantes, conforme preconizado por Ausubel (1968, p. 143) como condição essencial para a significatividade psicológica.

A dimensão motivacional dos jogos, amplamente discutida por Prensky (2001, p. 89-112) e Kishimoto (2009, p. 56-78), mostra-se particularmente relevante para atender à terceira condição ausubeliana: a disposição para aprender significativamente. Como observam os autores, elementos como desafio progressivo, curiosidade e interação em ambientes com regras claras criam condições favoráveis para que os alunos se engajem no esforço cognitivo necessário à construção de relações substantivas entre conhecimentos novos e preexistentes, em detrimento da simples memorização mecânica.

A pesquisa brasileira em Ensino de Física tem sistematicamente investigado diversas modalidades de jogos educativos, com resultados promissores. Estudos como os de Campos, Bortoloto e Pimentel (2014, p. 134-145) sobre jogos de tabuleiro no ensino de termodinâmica e Ribeiro e Dutra (2012, p. 89-102) sobre transferência de calor demonstraram a funcionalidade desses recursos. Paralelamente, pesquisas com RPGs educacionais (Takimoto; Carvalho; Sousa, 2015, p. 56-72) e jogos digitais (Kipper; Lopes; Villar, 2019, p. 112-125) têm revelado impactos positivos tanto no envolvimento discente quanto na aprendizagem conceitual. Um exemplo marcante é o trabalho de Santos, Santos e Macêdo (2015, p. 178), que ao desenvolverem e avaliarem um jogo sobre termodinâmica, observaram “melhorias significativas na compreensão conceitual dos estudantes, particularmente na superação de concepções alternativas”. Como argumentam Zanon, Freitas e Zanon (2008, p. 45), a ludicidade bem orientada transforma profundamente a relação do aprendiz com o conhecimento, convertendo o processo educativo em uma experiência ativa e prazerosa.

Sob a ótica da TAS, os jogos educativos facilitam processos cognitivos fundamentais através de três mecanismos principais: (1) o feedback imediato, que permite ao aluno testar suas hipóteses e confrontar concepções alternativas, promovendo a reconciliação integradora (Ausubel; Novak; Hanesian, 1978, p. 156); (2) a aplicação contextualizada de conceitos em múltiplas situações, que favorece a diferenciação progressiva (Moreira, 2011, p. 89); e (3) a interação colaborativa, que segundo Vygotsky (1991, p. 112) [citado em Kishimoto, 2016, p. 53], cria uma zona de desenvolvimento proximal (ZDP) onde a negociação de significados potencializa a construção conjunta do conhecimento.

Nesta pesquisa, o jogo de trilha foi cuidadosamente elaborado para capitalizar a familiaridade dos alunos com o formato, concentrando-se na aplicação dos conceitos de propagação de calor. Como observam Ramos e Massoni (2016, p. 34), “a simplicidade estrutural dos jogos de trilha permite focar nos elementos conceituais sem sobrecarregar os alunos com regras complexas”. O progresso no tabuleiro, vinculado à resolução de desafios conceituais, cria um ciclo virtuoso de conexão e revisão, enquanto as casas especiais oferecem oportunidades para verificar a ancoragem dos conceitos e promover sua diferenciação em contextos variados.

Contudo, como alertam Kishimoto (2001, p. 67) e Ramos e Massoni (2016, p. 38), a mera utilização de jogos não garante a aprendizagem significativa. Entre os desafios documentados na literatura destacam-se: (a) o risco de a competitividade obscurecer os objetivos educacionais; (b) a necessidade de equilíbrio entre jogabilidade e rigor conceitual no design; (c) as limitações de tempo em ambientes escolares; e (d) especialmente, a importância da mediação docente qualificada antes, durante e após a atividade lúdica. Como demonstrado por Moreira e Masini (2006, p. 112), “a eficácia pedagógica dos jogos está intrinsecamente vinculada à qualidade da intervenção docente na articulação entre a experiência lúdica e os conceitos científicos”.

Portanto, quando adequadamente concebidos com base em teorias de aprendizagem sólidas como a TAS e integrados a sequências didáticas coerentes, os jogos educativos configuram-se como ferramentas valiosas para superar os desafios do ensino de Física, particularmente no que concerne à aprendizagem significativa de conceitos abstratos como os mecanismos de propagação de calor.

### 5.3 A SINERGIA ENTRE RECURSOS AUDIOVISUAIS E JOGOS NA PROMOÇÃO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

As subseções anteriores examinaram individualmente o potencial dos recursos audiovisuais, fundamentados na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (Mayer, 2009), e dos jogos educativos, analisados à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 1968). Contudo, a proposta central desta pesquisa reside na integração sinérgica desses recursos em uma sequência didática coerente, levantando a hipótese que sua combinação estratégica pode potencializar a aprendizagem significativa dos mecanismos de propagação de calor.

A fundamentação teórica dessa sinergia emerge da complementaridade funcional entre os recursos. Como demonstrado por Mayer (2009, p. 178), vídeos instrucionais bem elaborados seguindo princípios de design multimídia servem como organizadores prévios adequados, proporcionando significatividade lógica ao apresentar conceitos abstratos de forma visualmente acessível. No entanto, como alerta Moreira (2011, p. 92), a exposição passiva a vídeos, sem atividades subsequentes de aplicação, frequentemente resulta em uma assimilação superficial dos conceitos.

É neste contexto que os jogos educativos assumem papel crucial. Segundo Kishimoto (2016, p. 134), a natureza interativa dos jogos transforma o aprendiz em agente ativo do processo, exigindo a mobilização de conhecimentos prévios para resolver desafios conceituais. Essa dinâmica, conforme argumentam Savi e Ulbricht (2008, p. 45), promove a DP e a RI, previstas na TAS, ao confrontar os alunos com múltiplas aplicações dos conceitos em contextos variados.

A combinação sequencial proposta, com vídeos introdutórios, seguidos por jogos de aplicação, encontra-se respaldo nos estudos de Bacich e Tanzi Neto (2015, p. 78) sobre ensino híbrido. Os autores demonstram que “a integração de mídias expositivas com atividades interativas potencializa tanto a retenção conceitual quanto a capacidade de transferência do conhecimento”. Esse efeito sinérgico é particularmente relevante para conteúdos complexos como a propagação de calor, onde a abstração dos conceitos demanda múltiplas formas de representação e aplicação (Moreira; Greca, 2003).

Na presente investigação, essa integração se consubstancia na sinergia entre vídeos explicativos – que estabelecem os fundamentos conceituais – e o jogo de trilha – que viabiliza a aplicação contextualizada do conhecimento. Conforme demonstrado por Valente, Almeida e Girondi (2017, p. 112) em pesquisas correlatas, tal abordagem estabelece um processo de retroalimentação cognitiva no qual “a exposição inicial fornece os subsunçores necessários para o engajamento produtivo na atividade lúdica, que por sua vez consolida e expande esses conhecimentos”.

#### 5.4 OS MAPAS CONCEITUAIS

Os Mapas Conceituais (MCs) constituem uma ferramenta pedagógica e metodológica desenvolvida por Joseph Novak e D. Bob Gowin no início dos anos 1970 (Novak; Gowin, 1984), a partir da aplicação sistemática dos fundamentos teóricos da Psicologia Cognitiva de David Ausubel. Sua essência reside na representação gráfica de relações significativas entre

conceitos na forma de proposições hierarquicamente organizadas, constituindo-se em uma técnica capaz de revelar a estrutura cognitiva do aprendiz e, simultaneamente, promover sua reorganização conceitual (Moreira, 2011).

Um mapa conceitual é composto por conceitos (geralmente inseridos em caixas, retângulos ou elipses), conectados por linhas ou setas que contêm palavras de ligação, formando frases com sentido lógico e semanticamente válidas, denominadas proposições. Conforme Novak e Cañas (2010), uma proposição é uma unidade semântica formada por dois ou mais conceitos unidos por palavras de ligação, representando uma afirmação sobre algum objeto ou evento no universo. Por exemplo, “calor se propaga por condução” é uma proposição que conecta três conceitos: “calor”, “propaga” e “condução”, estabelecendo uma relação significativa entre eles.

A estrutura dos mapas conceituais reflete a organização hierárquica do conhecimento, partindo de conceitos mais gerais e inclusivos no topo da hierarquia até conceitos mais específicos e menos inclusivos na base. Essa organização não é arbitrária, mas espelha princípios fundamentais da cognição humana identificados por Ausubel, Novak e Hanesian (1978), particularmente os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

#### 5.4.1 Fundamentação Teórica e Epistemológica

Os Mapas Conceituais se fundamentam diretamente na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) proposta por David Ausubel. Segundo a TAS, a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento se ancora de forma não arbitrária e substantiva em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, denominados subsunçores (Ausubel, 2000). O mapa conceitual opera como interface entre a estrutura conceitual do conteúdo a ser ensinado e a estrutura cognitiva do estudante, facilitando a ancoragem do novo conhecimento aos subsunçores existentes (Moreira, 2012).

Do ponto de vista epistemológico, os mapas conceituais se alinham a uma visão construtivista do conhecimento. Novak e Gowin (1984) enfatizam que os conceitos não são descobertos na natureza, mas construídos pelas mentes humanas a partir das regularidades observadas em eventos e objetos. Dessa forma, os mapas não representam "a" estrutura do conhecimento em um domínio, mas sim a compreensão particular que um indivíduo ou grupo desenvolveu sobre esse domínio em determinado momento. Essa perspectiva é particularmente relevante no ensino de Ciências, onde estudantes frequentemente constroem

estruturas conceituais idiossincráticas que precisam ser explicitadas e confrontadas com o conhecimento científico estabelecido (Moreira, 2011).

#### 5.4.2 Características e Elementos Estruturais

A funcionalidade dos mapas conceituais como ferramentas de ensino e avaliação reside em suas características estruturais específicas. Moreira (2012) identifica os seguintes elementos fundamentais:

- a) Conceitos: representam regularidades em eventos ou objetos, designados por um rótulo. No contexto da Física térmica, “calor”, “temperatura”, “condução”, “convecção” e “radiação” são exemplos de conceitos centrais.
- b) Palavras ou frases de ligação: conectam conceitos e especificam a relação entre eles. Não são conceitos, mas estabelecem o sentido da proposição. Exemplos incluem: “é”, “causa”, “requer”, “é um tipo de”, “depende de”.
- c) Proposições: unidades semânticas constituídas por dois ou mais conceitos ligados por palavras de ligação. Representam afirmações sobre o domínio do conhecimento.
- d) Hierarquia conceitual: organização dos conceitos dos mais gerais e inclusivos (topo) aos mais específicos e menos inclusivos (base).
- e) Diferenciação progressiva: representação da elaboração gradual e hierárquica dos conceitos, do geral para o específico, refletindo o princípio ausubeliano de mesmo nome.
- f) Reconciliação integrativa: evidenciada por meio de ligações cruzadas (*cross-links*) entre conceitos de diferentes segmentos hierárquicos do mapa, demonstrando a identificação de relações entre conceitos que pareciam distintos.
- g) Exemplos: geralmente não são circundados, distinguindo-se dos conceitos. Representam instâncias específicas ou situações concretas que ilustram os conceitos.

Correia, Silva e Romano Junior (2010, p. 4402-2) destacam que

Os mapas conceituais se constituem em uma importante ferramenta no ensino de ciências, pois possibilitam ao professor acompanhar a evolução do conhecimento dos alunos, além de contribuir para a estruturação dos

significados por parte dos estudantes, facilitando a compreensão dos conceitos trabalhados.

Essa dupla funcionalidade – diagnóstica e formativa – torna os mapas conceituais particularmente valiosos em intervenções pedagógicas que buscam promover aprendizagem significativa.

#### 5.4.3 Funções Pedagógicas e Cognitivas

Os Mapas Conceituais desempenham múltiplas funções no processo de ensino-aprendizagem, todas intimamente relacionadas aos princípios da TAS

##### a) Externalização da Estrutura Cognitiva

Ao construir um mapa conceitual, o aprendiz é compelido a explicitar as conexões que estabelece entre as ideias, tornando visível sua organização conceitual interna. Segundo Novak (2010), essa externalização permite ao professor diagnosticar a presença de subsunções adequadas, identificar lacunas no conhecimento ou, de forma crucial, detectar a persistência de concepções alternativas.

Moreira (2011, p. 15) enfatiza que “o mapa conceitual pode ser usado como instrumento de avaliação da aprendizagem, mas não nos moldes tradicionais”. Em vez de avaliar respostas certas ou erradas, o mapa revela a qualidade das relações conceituais estabelecidas pelo estudante, permitindo uma avaliação mais autêntica da compreensão. Dessa forma, o professor pode identificar não apenas o que o aluno não sabe, mas principalmente como ele organiza aquilo que sabe, quais conexões estabelece e quais relações ainda não são percebidas.

##### b) Promoção da Organização Hierárquica

A estrutura hierárquica do mapa, com os conceitos mais gerais e inclusivos no topo e os mais específicos na base, reflete o princípio da Diferenciação Progressiva (DP) proposto por Ausubel. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1978), a diferenciação progressiva é o princípio pelo qual a instrução deve ser organizada, partindo de ideias mais gerais e inclusivas do conteúdo e, progressivamente, diferenciando-as em termos de detalhe e especificidade.

A elaboração de um mapa conceitual hierarquicamente organizado estimula o estudante a identificar os conceitos superordenados (mais gerais) que subsumem conceitos

subordinados (mais específicos), promovendo uma organização lógica do conhecimento. Esse processo não é trivial e requer compreensão profunda do domínio conceitual. Como observam Correia, Silva e Romano Junior (2010), a simples organização hierárquica já evidencia um nível de compreensão conceitual que transcende a memorização mecânica.

#### c) Facilitação da Reconciliação Integradora

A necessidade de criar conexões cruzadas (*cross-links*) – relações entre diferentes ramos hierárquicos do mapa – e de formular palavras de ligação precisas obriga o aluno a examinar semelhanças e diferenças entre conceitos relacionados, promovendo a síntese e a clarificação das ideias. Esse processo reflete a Reconciliação Integradora (RI). Segundo Ausubel (2000), a reconciliação integradora ocorre quando o aprendiz reconhece novas relações entre conjuntos de conceitos ou proposições, eliminando inconsistências reais ou aparentes e reorganizando o conhecimento de forma mais coerente. As ligações cruzadas em um mapa conceitual representam visualmente essas reconciliações, sinalizando uma compreensão mais integrada e sofisticada do domínio conceitual.

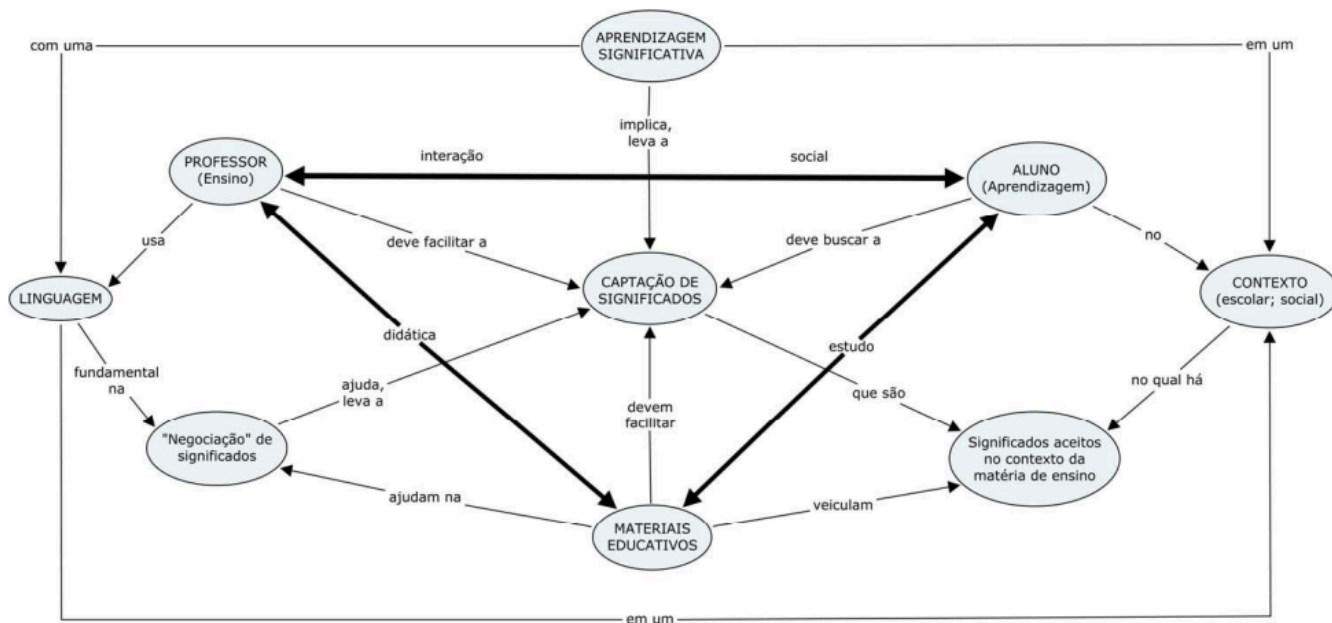
Novak e Cañas (2010) argumentam que as ligações cruzadas são indicadores particularmente importantes de criatividade e compreensão profunda, pois evidenciam a capacidade do aprendiz de ver conexões não óbvias entre diferentes áreas do conhecimento.

#### d) Instrumento Metacognitivo

Para além de suas funções como ferramenta de ensino e avaliação, os mapas conceituais desempenham importante papel metacognitivo. Ao construir, revisar e refinar mapas conceituais, os estudantes desenvolvem consciência sobre suas próprias estruturas de conhecimento, identificando lacunas, contradições e áreas que necessitam maior estudo (Novak; Gowin, 1984).

Moreira (2012, p. 12) observa que “o mapeamento conceitual pode ajudar o aluno a perceber que aprender significativamente, significa atribuir significados e que isso implica estabelecer relações substantivas e não arbitrárias entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios”. Essa consciência metacognitiva é fundamental para o desenvolvimento da autonomia intelectual e para a aprendizagem ao longo da vida.

Figura 1: Um mapa conceitual para uma visão interacionista social



Fonte: Moreira (2013, p.22)

#### 5.4.4 Mapas Conceituais como Instrumento de Avaliação

No contexto educacional, os mapas conceituais têm sido crescentemente valorizados como instrumentos de avaliação autêntica e formativa. Diferentemente das avaliações tradicionais, que frequentemente privilegiam a recordação de fatos isolados, os mapas conceituais permitem avaliar a compreensão relacional e a organização do conhecimento (Correia; Silva; Romano Junior, 2010).

Diversos critérios podem ser empregados na análise de mapas conceituais. Novak e Gowin (1984) propuseram um sistema de pontuação que considera: (a) proposições válidas; (b) hierarquias conceituais; (c) ligações cruzadas; e (d) exemplos. Embora quantitativa, essa abordagem visa capturar aspectos qualitativos da compreensão conceitual.

Moreira (2011), contudo, adverte para os riscos de uma análise excessivamente numérica dos mapas conceituais. O autor argumenta que a atribuição mecânica de pontos pode obscurecer a riqueza qualitativa da representação conceitual do estudante. Análises mais interpretativas e contextualizadas, que consideram a trajetória de aprendizagem do aluno e as características específicas do domínio conceitual, tendem a ser mais informativas.

Correia, Silva e Romano Junior (2010, p. 4402-6) enfatizam que

A construção de mapas conceituais requer do aluno um esforço cognitivo diferente daquele necessário para responder questões de múltipla escolha ou dissertativas. Ao elaborar um mapa conceitual, o estudante precisa identificar conceitos-chave, estabelecer relações entre eles e organizá-los hierarquicamente, processos que evidenciam compreensão profunda do conteúdo.

A análise dos mapas conceituais é predominantemente qualitativa, com foco na evolução das conexões conceituais estabelecidas pelos estudantes ao longo da sequência didática, a identificação de concepções alternativas e sua eventual superação, e a evidência de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

#### 5.4.5 O Encaixe dos Mapas Conceituais na Pesquisa

Na presente investigação, o Mapa Conceitual é empregado como ferramenta multifuncional: instrumento de diagnóstico, recurso pedagógico de intervenção e fonte de dados para avaliação processual da aprendizagem. Sua utilização está alinhada aos pressupostos teóricos da TAS e responde a objetivos específicos em diferentes momentos da sequência didática.

##### a) Diagnóstico e Ativação de Subsunoçores

A atividade de construção inicial do Mapa Conceitual sobre "Propagação de Calor" (Etapa 2 da sequência didática) serve como momento diagnóstico crucial. Realizada de forma colaborativa, com conceitos-chave previamente selecionados e disponibilizados em cartões, essa atividade permite:

- Identificar subsunoçores existentes: ao observarem quais conceitos os estudantes conseguem relacionar espontaneamente e como o fazem, o professor obtém informações valiosas sobre o conhecimento prévio da turma;
- Detectar concepções alternativas: conexões equivocadas ou inconsistentes revelam concepções científicas inadequadas que precisam ser abordadas explicitamente durante a sequência;

- Estabelecer uma base conceitual compartilhada: a construção colaborativa promove a explicitação e negociação de significados entre os pares, criando um vocabulário e estrutura conceitual iniciais comuns antes da exploração ativa no jogo;
- Ativar subsunçores relevantes: mesmo que não completamente compreendidos, os conceitos manipulados e relacionados são ativados na memória de trabalho, preparando a estrutura cognitiva para as novas informações que virão.

Essa função diagnóstica inicial é fundamental, pois, como observa Ausubel (2000, p. 10), “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Descubra isso e ensine-o de acordo”. O mapa conceitual inicial constitui ferramenta privilegiada para essa "descoberta".

#### b) Mediação durante a Aprendizagem Ativa

Embora o jogo de trilha constitua o núcleo da intervenção pedagógica ativa (Etapa 3), o mapa conceitual inicial permanece disponível como referência durante o jogo. Essa presença cumpre dupla função:

- Ancoragem conceitual: os estudantes podem recorrer ao mapa para relembrar conceitos e relações estabelecidas, utilizando-o como suporte externo à memória durante a resolução dos desafios propostos no jogo;
- Motivação para revisão: ao confrontarem as questões do jogo com suas representações iniciais no mapa, os estudantes podem identificar lacunas ou inconsistências, gerando motivação intrínseca para revisar e aprimorar suas compreensões.

#### c) Reconciliação Integradora Pós-Intervenção

A revisita ao mapa inicial e a construção guiada do Mapa Conceitual “Gabarito” (Etapa 5) constituem momento de reconciliação integradora fundamental. Após a experiência de aplicação dos conceitos no contexto lúdico do jogo, os estudantes retornam à representação conceitual com uma compreensão potencialmente mais rica e diferenciada.

Neste momento:

- Correção de equívocos: conexões conceituais inadequadas identificadas no mapa inicial podem ser explicitamente corrigidas, com base nas experiências do jogo e na mediação docente;
- Enriquecimento de relações: novas conexões, antes não percebidas, podem ser adicionadas, refletindo a diferenciação progressiva promovida pela sequência;
- Integração coerente: os conceitos de condução, convecção e radiação, suas características distintivas e suas relações com conceitos superordenados (como energia térmica, temperatura, meio de propagação) são organizados de forma hierárquica e relacionalmente coerente;
- Consolidação e sistematização: a elaboração do mapa "gabarito", com mediação do professor, permite que a turma construa colaborativamente uma representação consensual e cientificamente adequada do domínio conceitual, consolidando a aprendizagem.

Esse movimento de retorno ao mapa conceitual após a intervenção lúdica é essencial, pois, como argumenta Moreira (2011), a aprendizagem significativa não ocorre de forma súbita, mas através de sucessivos refinamentos e reorganização da estrutura cognitiva. O mapa conceitual final representa o estado mais elaborado dessa estrutura ao término da sequência didática.

#### d) Fonte de Dados Qualitativos

Os mapas conceituais produzidos pelos estudantes – tanto o inicial quanto o final – constituem fonte de dados qualitativos centrais para a pesquisa. Registrados fotograficamente, esses mapas permitem análises detalhadas em diferentes níveis:

- Análise estrutural: exame da hierarquia conceitual, identificação de conceitos superordenados e subordinados, detecção de ligações cruzadas;

- Análise proposicional: avaliação da validade semântica das proposições formadas, identificação de relações equivocadas ou inconsistentes;
- Análise evolutiva: comparação entre mapas iniciais e finais, evidenciando transformações na estrutura conceitual dos estudantes ao longo da intervenção;
- Identificação de padrões: reconhecimento de concepções alternativas recorrentes, lacunas conceituais comuns, estratégias de organização do conhecimento típicas da turma.

A análise desses mapas (apresentada na seção de resultados) permite inferir a qualidade das relações conceituais construídas, a efetiva superação de concepções alternativas e, fundamentalmente, fornece evidências diretas sobre a ocorrência de Aprendizagem Significativa. Como afirmam Novak e Cañas (2010, p. 30, tradução nossa), “mapas conceituais servem não apenas como ferramentas de aprendizagem, mas também como ferramentas de avaliação, permitindo aos professores observar mudanças pequenas, mas significativas, nos significados dos conceitos que os estudantes possuem”.

#### 5.4.6 Síntese: Mapas Conceituais como Mediadores da Aprendizagem Significativa

Em síntese, o Mapa Conceitual na presente pesquisa transcende a função de mero recurso visual ou organizador gráfico. Ele atua como poderoso mediador da organização do conhecimento, espelho da estrutura cognitiva dos estudantes e instrumento pedagógico capaz de promover simultaneamente diferenciação progressiva e reconciliação integradora – os dois processos fundamentais da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel (2000).

Sua integração à sequência didática – junto ao vídeo como organizador prévio e ao jogo de trilha como contexto de aplicação ativa dos conceitos – exemplifica o que Moreira (2012) denomina “ensino centrado na aprendizagem significativa crítica”. Nessa perspectiva, os recursos pedagógicos não são selecionados por sua novidade ou apelo motivacional, mas por sua capacidade de facilitar a ancoragem não arbitrária e substantiva do novo conhecimento à estrutura cognitiva do aprendiz, promovendo reorganizações conceituais duradouras.

Os mapas conceituais, portanto, constituem elemento essencial na arquitetura

pedagógica desta investigação, articulando diagnóstico, intervenção e avaliação em torno do objetivo central de promover aprendizagem significativa dos processos de propagação de calor.

## **6 METODOLOGIA**

### **6.1 NATUREZA E ABORDAGEM DA PESQUISA**

Esta pesquisa se caracteriza como aplicada, conforme a classificação proposta por Gil (2008, p. 42), por desenvolver e investigar um Produto Educacional voltado para solucionar um problema concreto do ensino de Física: as dificuldades de aprendizagem dos conceitos de propagação de calor. O estudo adota uma natureza descritivo exploratória (Triviños, 1987, p. 109), combinando a descrição detalhada da intervenção pedagógica implementada, incluindo contexto, percepções dos participantes e resultados observados, com a exploração do potencial didático de uma abordagem inovadora fundamentada na TAS.

Do ponto de vista metodológico, optou-se por uma abordagem quali quantitativa (Creswell; Clark, 2013, p. 15), que integra: (1) dados quantitativos provenientes de testes conceituais e escalas Likert, que mensuram ganhos de aprendizagem e percepções sobre a intervenção; e (2) dados qualitativos extraídos da análise de conteúdo (Bardin, 2011, p. 37) das produções discentes (mapas conceituais, respostas abertas) e registros audiovisuais das interações em sala de aula. Essa combinação metodológica permite não apenas verificar a ocorrência de mudanças na aprendizagem, mas principalmente compreender os processos subjacentes a essas transformações.

O delineamento da pesquisa segue uma lógica hipotético-dedutiva (Popper, 1972, p. 23), partindo do referencial teórico da TAS para formular a hipótese central de que a intervenção proposta promove uma aprendizagem mais significativa dos conceitos de propagação de calor em comparação com abordagens tradicionais. A coleta e análise sistemática de dados empíricos tiveram como objetivo testar essa hipótese e avaliar a significância da proposta no contexto educacional investigado.

### **6.2 CONTEXTO E PARTICIPANTES DA PESQUISA**

A pesquisa foi realizada em uma escola pública da rede de ensino do Distrito Federal, localizada na Região Administrativa de São Sebastião. A instituição atende estudantes do Ensino Médio e caracteriza-se por receber um público com um perfil

socioeconômico considerado baixo para os padrões do Distrito Federal, com muitos jovens residindo em contextos marcados por vulnerabilidade social e violência.

A intervenção pedagógica foi aplicada em uma turma do 2º ano do Ensino Médio do período noturno. Este contexto apresenta particularidades relevantes para a pesquisa: os estudantes, em sua maioria, conciliam os estudos com o trabalho durante o período diurno, chegando à escola após uma jornada laboral. Observa-se também uma frequência escolar irregular por parte de alguns alunos e, por vezes, dificuldades de concentração e acompanhamento das aulas, fatores que podem impactar o processo de ensino-aprendizagem e que reforçam a busca por abordagens didáticas mais motivadoras. A escola dispunha de recursos básicos para apoio pedagógico, como aparelho de televisão e acesso à internet na sala de aula para uso docente. A aplicação dos instrumentos de coleta de dados (pré-teste, pós-teste, teste de retenção e questionário de avaliação) foi realizada em formato impresso.

Participaram da pesquisa 9 (nove) alunos desta turma. A seleção dos participantes se deu por conveniência e de forma intencional, incluindo os estudantes que apresentavam maior frequência nas aulas de Física, critério adotado para viabilizar a aplicação da sequência didática completa. A intervenção principal ocorreu durante o período equivalente a 3 aulas (uma aula dupla e uma aula simples), e, semanas depois, foram utilizados aproximadamente 15 minutos de uma quarta aula para a aplicação do teste de retenção, totalizando 4 encontros com a turma para a coleta de dados relacionada aos testes e à intervenção.

A participação dos alunos foi voluntária e ocorreu dentro do horário regular das aulas. Garantiu-se aos participantes o anonimato, não havendo divulgação de nomes ou outros dados que permitissem a identificação individual nos resultados da pesquisa. Durante as atividades, foram realizados registros fotográficos e gravações em vídeo com o objetivo de documentar o processo e subsidiar a análise da pesquisa. As fotografias utilizadas, tiveram os rostos dos participantes desfocados ou o enquadramento foi direcionado às mãos e materiais, preservando a identidade. Enquanto aos vídeos, foram utilizados exclusivamente como apoio para a transcrição de falas relevantes e para a análise detalhada das interações e procedimentos dos alunos durante as atividades.

## 6.3 DESCRIÇÃO DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

### 6.3.1 VISÃO GERAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência foi organizada em momentos distintos, buscando seguir uma progressão lógica alinhada aos princípios da TAS:

- Introdução com a apresentação da atividade;
- Ativação de subsunçores e organização prévia, em que compreendeu a exibição dos vídeos conceituais, seguida pela aplicação do pré-teste, e finalizando com a explanação sobre mapas conceituais e a construção inicial colaborativa pelos alunos;
- Aplicação ativa e participação com a realização do jogo de tabuleiro “*Aventura Térmica*” em grupos;
- Avaliação da aprendizagem e reconciliação integradora mediante a aplicação de *pós-teste*, revisita e discussão do mapa conceitual inicial, e construção guiada do mapa de referência.
- Feedback e avaliação da proposta com a coleta de informações, por meio da aplicação de questionário de avaliação da atividade.
- Verificação da estabilidade e funcionalidade dos significados se deu pela aplicação do teste de retenção, semanas após a intervenção, para verificar a consolidação e permanência do aprendido.

### 6.3.2 Detalhamento do Produto Educacional

O produto educacional desenvolvido consiste em quatro componentes principais, descritos a seguir:

#### 1. Vídeos instrucionais

Produzidos com os softwares Camtasia 9 e Clipchamp, utilizando imagens de domínio público (Vecteezy) e material original. Sua estrutura segue:

- Vídeos introdutórios (conceitos básicos):
  - I. Calor
  - II. Temperatura
  - III. Termômetros
  - IV. Lei Zero da Termodinâmica
- Vídeo principal: Propagação de Calor  
(Links completos e storyboards: Apêndice B)

## 2. Jogo “*Aventura Térmica*”

Jogo de tabuleiro original com as seguintes características:

- Componentes físicos:
  - Tabuleiro com 55 casas temáticas
  - 55 cartas de perguntas categorizadas por dificuldade
  - 12 cartas de Sorte/Revés
  - 6 cartas de Desafio de Grupo
  - Peças e acessórios

(Regras completas e imagens dos componentes: Apêndice D)

## 3. Material para mapas conceituais

Conjunto contendo:

- Quadro de feltro (100 × 80 cm)
- 15 cartões de conceitos principais
- 14 cartões de palavras de ligação
- Elementos de conexão (velcro, setas de EVA)

(Modelos e gabaritos: Apêndice C)

## 4. Instrumentos de avaliação

- Pré-teste
- Pós-teste
- Teste de retenção
- Questionário de avaliação

(Formulários completos: Apêndice A)

### 6.3.3 Procedimento de Aplicação da Sequência Didática

A aplicação da sequência ocorreu em um encontro com aula dupla (totalizando aprox. 90-100 min) e um encontro com aula simples (aprox. 45-50 min) no dia seguinte, e duas semanas após, 15 minutos de uma aula. Apresentando assim a seguinte estrutura:

Tabela 2: Esquema de atividade por aula

	<b>Aula</b>	<b>Atividade Proposta</b>	<b>Descrição</b>	<b>Duração Prevista</b>
Etapa 1	01	Organizador Prévio via Vídeos, Diagnóstico, Diferenciação Inicial	O professor apresenta e expõe os objetivos gerais da atividade	~5 min
Etapa 1	01	Exibição dos Vídeos	Exibir sequencialmente os vídeos propostos. O professor pode dar uma breve pausa para reflexão dos alunos	~20 min
Etapa 1	01	Aplicação do Pré-teste	Os alunos respondem individualmente ao pré-teste impresso	~10 min
Etapa 2	01	Explicação sobre Mapas Conceituais	Explicação do que são mapas conceituais e como construí-los, utilizando um mapa exemplo sobre “Calor” como ilustração	~10 min
Etapa 2	02	Construção do Mapa Conceitual	A turma, de forma colaborativa, constrói o mapa conceitual inicial sobre “Propagação de Calor” utilizando os cartões conceitos/subconceitos, as setas e o quadro de feltro. Os alunos discutem entre si e posicionam os conceitos e relações.	~20 min
Etapa 3	03	Apresentação do jogo “Aventura Térmica”	Leitura conjunta das regras básicas do jogo.	~5 min
Etapa 4	03	Realização do jogo	O professor atua como mediador. Organiza as rodadas, relê perguntas para melhor compreensão por parte dos alunos. Controla o tempo para as respostas (~ 2 min), valida respostas, e fornece explicações conceituais imediatas para respostas incorretas ou	~25 min

			incompletas.	
Etapa 5	03	Aplicação do Pós-teste individual	Os alunos respondem individualmente ao pós-teste impresso	~10 min
Etapa 5	03	Revisita ao Mapa Conceitual inicial	Intervenção com pergunta aos alunos se desejam alterar algo após a experiência do jogo e discussões. Comenta pontos falhos no MC observados e, com um aluno voluntário, monta o Mapa Conceitual “Gabarito” no quadro, promovendo a reconciliação integradora	~10 min
Etapa 6	03	Fala final do professor	Exposição sobre a importância do tema e colhe <i>feedback</i> dos alunos	~5 min
Etapa 6	03	Aplicação do Questionário de Avaliação da atividade	Aplicação do questionário de avaliação da atividade	~5 min
Etapa 7	04	Aplicação do Teste de Retenção	Os alunos respondem individualmente ao teste de retenção impresso	~15 min

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A gestão do tempo durante a intervenção pedagógica foi rigorosamente monitorada, assegurando-se:

1. Cronograma de execução:

- Cumprimento integral das etapas planejadas
- Adequação ao período letivo disponível

2. Escopo conceitual:

- Manutenção do foco nos conceitos fundamentais
- Exclusão deliberada de abordagens matemáticas complexas
- Priorização da compreensão qualitativa dos fenômenos

## 6.4 COLETA DE DADOS: INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS

A investigação adotou uma abordagem descritivo exploratória, utilizando estratégias complementares de coleta de dados para sustentar a análise quali-quantitativa. Os instrumentos foram aplicados em três momentos estratégicos: fase pré-intervenção, com foco no diagnóstico de conhecimentos prévios; durante a intervenção, para monitoramento processual; e na fase pós-intervenção, visando avaliar resultados e percepções.

A seleção dos instrumentos pautou-se por dois objetivos complementares: a mensuração objetiva de ganhos conceituais, correspondente à dimensão quantitativa, e a compreensão qualitativa dos processos de aprendizagem e das percepções discentes. Essa dualidade metodológica encontra respaldo teórico nos pressupostos da TAS.

Do ponto de vista operacional, optou-se pela aplicação impressa de todos os instrumentos que demandavam respostas escritas, assegurando uniformidade nas condições de coleta. Os dados obtidos foram posteriormente organizados em categorias analíticas que permitiram correlacionar desempenho mensurável e percepções subjetivas, enriquecendo a compreensão dos fenômenos educacionais observados.

### 6.4.1 INSTRUMENTOS QUANTITATIVOS: PRÉ-TESTE, PÓS-TESTE E TESTE DE RETENÇÃO

A dimensão quantitativa da aprendizagem foi aferida por meio de um conjunto de três testes de conhecimento. Primeiramente, para o diagnóstico dos conhecimentos prévios, foi utilizado um pré-teste, composto por 15 afirmações de verdadeiro ou falso. Este instrumento, foi intencionalmente elaborado com um nível de dificuldade introdutório, focando no reconhecimento de definições e conceitos fundamentais sobre propagação de calor. Imediatamente após a conclusão da sequência didática principal, foi aplicado um pós-teste com estrutura similar de 15 itens, porém, concebido com um nível de complexidade deliberadamente superior. Conforme justificado na análise de sua elaboração, o pós-teste visava avaliar a capacidade de inferência, aplicação de conceitos em contextos variados e a identificação de equívocos teóricos sutis, representando um desafio cognitivo maior para os estudantes.

Por fim, semanas após a intervenção, foi administrado um teste de retenção, idêntico em conteúdo e dificuldade ao pré-teste, com o propósito de verificar a estabilidade e

a permanência dos significados construídos, um indicador crucial da ocorrência de Aprendizagem Significativa.

#### 6.4.2 INSTRUMENTOS QUALITATIVOS: QUESTIONÁRIOS, MAPA CONCEITUAL E REGISTROS DE CAMPO

A dimensão qualitativa do processo de aprendizagem foi registrada através dos procedimentos: questionário com base na escala Likert e questões abertas, além da construção colaborativa de mapas conceituais, realizada antes e após a aplicação do jogo. Por fim, foi documentada por meio de registros fotográficos das atividades e notas de campo, apoiadas por gravações audiovisuais, com o objetivo de capturar a dinâmica do envolvimento, o raciocínio dos alunos em ação, as discussões conceituais e os depoimentos espontâneos que emergiram durante a sequência didática.

#### 6.5 ANÁLISE DOS DADOS

A análise combinou métodos quantitativos e qualitativos, de modo a proporcionar uma avaliação abrangente dos resultados da intervenção.

Os dados quantitativos, provenientes dos testes de conhecimento (pré-teste, pós-teste e teste de retenção), foram tratados por meio de correção de escores, estatística descritiva (médias, medianas e desvios padrão) e testes inferenciais não paramétricos.

Para dados qualitativos usou-se a escala Likert para as afirmações, análise de conteúdo de Bardin, para as questões abertas e, mapa conceitual capturar aspectos qualitativos da compreensão conceitual.

##### 6.5.1 TESTE DOS POSTOS SINALIZADOS DE WILCOXON

O teste dos postos sinalizados de Wilcoxon (*Wilcoxon signed-rank test*) é um procedimento estatístico não paramétrico desenvolvido por Frank Wilcoxon em 1945, utilizado para comparar duas amostras relacionadas ou medidas repetidas. Este teste representa uma alternativa robusta ao teste *t* de Student para amostras pareadas quando os pressupostos de normalidade não são satisfeitos ou quando a natureza dos dados impede a verificação dessa suposição.

Diferentemente dos testes paramétricos que se baseiam em parâmetros populacionais específicos, o teste de Wilcoxon fundamenta-se na ordenação dos dados, tornando-o particularmente adequado para variáveis medidas em escala ordinal ou para dados que não aderem à distribuição normal. Conforme destaca Siegel e Castellan (2006), este teste é considerado um dos procedimentos não paramétricos mais poderosos para análise de dados pareados, pois considera não apenas a direção das diferenças, mas também suas magnitudes.

O teste dos postos sinalizados de Wilcoxon baseia-se nos postos (ou *ranks*) das diferenças intrapares. O procedimento parte do princípio de que, sob a hipótese nula, as diferenças entre os pares de observações seguem uma distribuição simétrica ao redor de zero. Esta característica o distingue de testes mais simples, como o teste do sinal, que considera apenas a direção das mudanças, sem levar em conta a magnitude dessas alterações.

A hipótese nula ( $H_0$ ) estabelece que não existe diferença sistemática entre os dois momentos ou condições avaliadas, ou seja, as diferenças observadas distribuem-se simetricamente em torno de zero. A hipótese alternativa ( $H_1$ ), por sua vez, postula a existência de uma diferença significativa entre as condições, manifestando-se em uma assimetria na distribuição dos postos sinalizados.

A aplicação do teste dos postos sinalizados de Wilcoxon segue uma sequência sistemática de etapas que garantem a adequada transformação dos dados e o cálculo da estatística de teste.

- Etapa 1: Cálculo das Diferenças

Para cada par de observações ( $X_i, Y_i$ ), calcula-se a diferença  $d_i = X_{2i} - X_{1i}$ , onde  $i$  representa o  $i$ -ésimo par de dados. Esta diferença pode resultar em valores positivos, negativos ou nulos, refletindo, respectivamente, aumentos, diminuições ou ausência de mudança entre as condições avaliadas.

- Etapa 2: Exclusão de Diferenças Nulas

Os pares de dados que apresentam diferença igual a zero são excluídos da análise, reduzindo o tamanho efetivo da amostra. Este procedimento é necessário porque diferenças nulas não fornecem informação sobre a direção ou magnitude do efeito investigado. O tamanho amostral efetivo ( $n$ ) corresponde, portanto, ao número de pares com diferenças não nulas.

- Etapa 3: Ordenação por Valores Absolutos

Os valores absolutos das diferenças ( $|d_i|$ ) são ordenados do menor para o maior. Esta etapa é fundamental, pois o teste considera a magnitude das diferenças independentemente de sua direção, permitindo uma avaliação mais sensível do efeito estudado.

- Etapa 4: Atribuição de Postos

Atribuem-se postos às diferenças absolutas, começando com o posto 1 para a menor diferença, posto 2 para a segunda menor, e assim sucessivamente até a maior diferença. No caso de empates, ou seja, quando duas ou mais diferenças apresentam o mesmo valor absoluto, atribui-se a cada uma delas a média dos postos que ocupariam. Por exemplo, se três diferenças iguais ocupassem as posições 4, 5 e 6, cada uma recebe o posto médio  $(4 + 5 + 6)/3 = 5$ .

- Etapa 5: Restauração dos Sinais

Após a atribuição dos postos, restaura-se o sinal original de cada diferença, criando os chamados “postos sinalizados”. Desta forma, cada posto recebe um sinal positivo ou negativo, conforme a diferença original correspondente.

- Etapa 6: Cálculo da Estatística de Teste

Calculam-se separadamente as somas dos postos positivos ( $T^+$ ) e dos postos negativos ( $T^-$ ). A estatística de teste  $T$  corresponde à menor dessas duas somas. Wilcoxon (1945) propôs originalmente esta estatística baseando-se no princípio de que, sob a hipótese nula de ausência de diferença sistemática, ambas as somas deveriam ser aproximadamente iguais. O valor-p pode ser obtido por aproximação normal ou por tabelas exatas para amostras reduzidas (Pratt, 1959).

A interpretação do teste depende do tamanho amostral. Para amostras pequenas ( $n \leq 30$ ), a estatística  $T$  é comparada diretamente com valores críticos tabulados, específicos para cada tamanho amostral e nível de significância. A hipótese nula é rejeitada quando o valor calculado de  $T$  é menor ou igual ao valor crítico tabelado (ex: Tabela 2) para o nível de significância estabelecido (usualmente  $\alpha = 0,05$ ) (Conover, 1999).

O teste de Wilcoxon encontra ampla aplicação em diversas áreas do conhecimento, particularmente nas ciências da saúde, psicologia, educação e ciências sociais. É especialmente útil em estudos de intervenção com desenho pré-teste e pós-teste, avaliação de programas educacionais, estudos de medidas repetidas em que a normalidade não pode ser assumida, e análise de dados ordinais oriundos de escalas de avaliação.

Tabela 3: tabela exclusiva para pequenas amostras

**Tabela de Valores Críticos de Wilcoxon ( $T$ )**

$n$	$\alpha = 0.05$ (Bicaudal)	$\alpha = 0.01$ (Bicaudal)	$\alpha = 0.05$ (Unicaudal)	$\alpha = 0.01$ (Unicaudal)
6	0	—	2	—
7	2	—	3	0
8	3	0	5	1
9	5	1	8	3
10	8	3	10	5
11	10	5	13	7
12	13	7	17	9
13	17	9	21	12
14	21	12	25	15
15	25	15	30	19
16	29	19	35	23
17	34	23	41	27
18	40	27	47	32
19	46	32	53	37
20	52	37	60	43

(O símbolo "—" indica que não é possível rejeitar a hipótese nula para este tamanho de amostra e nível de significância)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

### 6.5.2 TAMANHO DO EFEITO: CORRELAÇÃO RANK-BISERIAL ( $r_b$ )

Embora a significância estatística indique se existe uma diferença entre as condições, ela não fornece informações sobre a magnitude prática dessa diferença. Para complementar a interpretação do teste de Wilcoxon, recomenda-se o cálculo do tamanho do efeito por meio da

correlação rank-biserial de pares pareados (*matched-pairs rank-biserial correlation*), denotada por  $r_b$ .

Esta medida de associação representa a diferença entre a proporção de evidências favoráveis e desfavoráveis, baseando-se nas somas dos postos sinalizados. A correlação rank-biserial varia de -1 a +1, em que os valores próximos a -1 indicam que a maioria das observações na segunda condição supera as da primeira, valores próximos a +1 indicam dominância da primeira condição sobre a segunda, e valores próximos a zero sugerem ausência de efeito sistemático.

O cálculo pode ser realizado pela fórmula simplificada proposta por Kerby (2014), em que  $r_b = f - u$ , sendo  $f$  a proporção de pares favoráveis à hipótese e  $u$  a proporção desfavorável. Esta medida oferece uma interpretação intuitiva, permitindo aos pesquisadores avaliar não apenas se há diferença significativa, mas também quão substancial é essa diferença na prática.

Tabela 4: Interpretação do efeito

Legenda escala	
$r_b \sim 0,10$	Pequeno efeito
$r_b \sim 0,30$	Efeito moderado
$r_b \geq 0,50$	Grande efeito

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A combinação dessas duas abordagens garante maior solidez e confiança metodológica e amplia a compreensão pedagógica dos resultados, dando condições para interpretar tanto a relevância estatística quanto o significado educacional das variações observadas.

## 6.6 A ESCALA LIKERT

Para a mensuração das atitudes e percepções dos estudantes em relação à sequência didática lúdica proposta, utilizou-se um questionário estruturado com itens do tipo Escala Likert. A escala foi originalmente desenvolvida pelo psicólogo Rensis Likert, em 1932, em sua obra clássica sobre mensuração de atitudes, consolidando-se desde então como

um dos instrumentos psicométricos mais empregados em pesquisas nas áreas de Educação, Psicologia e Ciências Sociais (Likert, 1932; Gil, 2008; Malhotra, 2012).

A Escala Likert caracteriza-se por apresentar ao respondente uma série de afirmações relacionadas a um objeto de estudo específico, solicitando que este indique o grau de concordância ou discordância frente a cada enunciado. Em lugar de respostas dicotômicas do tipo “sim/não”, a escala oferece um *continuum* de resposta, permitindo captar não apenas a direção da atitude (favorável ou desfavorável), mas também a sua intensidade.

No contexto desta pesquisa, os itens foram formulados para avaliar dimensões como envolvimento com a atividade, percepção de aprendizagem, clareza dos conceitos de propagação de calor e avaliação do jogo de tabuleiro como recurso didático, entre outros aspectos relacionados à experiência com o produto educacional.

A escala adotada foi a quatro pontos, composta pelos seguintes descritores: “Discordo totalmente”, “Discordo parcialmente”, “Concordo parcialmente” e “Concordo totalmente”. Segundo a literatura metodológica (Hair et al., 2005; Garland, 1991), a estratégia de escolha forçada (*forced choice*), devido a supressão do ponto neutro, tem por objetivo evitar o viés da tendência central, compelindo o participante a refletir e assumir um posicionamento definido. Essa abordagem encontra respaldo em estudos recentes na área de Ensino de Física, como o de Monteiro (2021), que discute a eficácia de escalas assimétricas (número par de opções) para evitar a neutralidade em investigações sobre percepções discentes, garantindo que os respondentes indiquem explicitamente o sentido de sua opinião (concordância ou discordância).

A pertinência desse instrumento para avaliar atividades interativas também é destacada. Monteiro (2021), ao analisar experiências de ensino híbrido e ativo em Física, demonstra que a Escala Likert é uma ferramenta robusta para captar a percepção dos estudantes não apenas sobre o conteúdo, mas sobre a dinâmica das interações e a organização da disciplina. De modo análogo, neste trabalho, o instrumento busca mensurar como a interação entre pares — fomentada pela dinâmica do jogo “Aventura Térmica” — influenciou a construção do conhecimento, permitindo quantificar aspectos subjetivos da colaboração e do engajamento social durante a aprendizagem.

A escolha da Escala Likert justifica-se, portanto, por sua consolidação em pesquisas educacionais (Gil, 2008; Babbie, 2012) e por sua capacidade de traduzir a experiência subjetiva dos alunos em dados passíveis de análise estatística. A familiaridade dos estudantes com enunciados de concordância facilita o preenchimento, reduzindo a carga

cognitiva e favorecendo respostas espontâneas, essencial em contextos de intervenção didática no Ensino Médio.

Do ponto de vista conceitual, a Escala Likert é classificada, em termos estritos, como uma escala de natureza ordinal, uma vez que os pontos de resposta representam uma ordenação de intensidade, sem garantia de que as distâncias psicológicas entre categorias adjacentes sejam exatamente iguais. Contudo, a literatura metodológica tem admitido, de forma amplamente difundida, o tratamento aproximado desses escores como dados intervalares, especialmente quando o objetivo principal envolve a análise de tendências gerais e padrões médios de resposta (Malhotra, 2012; HAIR et al., 2005). Neste trabalho, adota-se essa convenção, explicitando, porém, a limitação teórica associada a essa escolha.

## 6.7 ANÁLISE DE CONTEÚDO DE BARDIN

A análise de dados desta pesquisa fundamenta-se na Análise de Conteúdo, compreendida como um conjunto de instrumentos metodológicos que se aplicam a discursos extremamente diversificados. Segundo Bardin (2016), esta metodologia visa ultrapassar as incertezas e enriquecer a leitura dos dados coletados, não se limitando a uma descrição superficial. A autora define a técnica estabelecendo que:

A análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando a obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (Bardin, 2016, p. 48).

O método transita entre a objetividade e a subjetividade, visa, portanto, o desvelamento do que está oculto, latente ou subentendido nas mensagens. Sua versatilidade permite aplicação em diversos campos do conhecimento e em diferentes suportes de comunicação, desde documentos oficiais até conteúdos digitais contemporâneos.

### 6.7.1 Etapas da Análise de Conteúdo e Categorização

Para garantir a validade científica e a sistematização necessária, Bardin (2016) estrutura a análise em três fases cronológicas fundamentais. A pré-análise constitui o período de organização e sistematização das ideias iniciais, realizando-se a leitura flutuante e a constituição do corpus da pesquisa, que deve obedecer às regras de exaustividade,

representatividade, homogeneidade e pertinência.

A exploração do material consiste na aplicação sistemática das decisões tomadas na pré-análise, envolvendo operações de codificação e definição das unidades de registro, unidades de contexto e regras de classificação para agregação das informações em categorias.

O tratamento dos resultados e interpretação é a fase em que os resultados brutos são tratados para se tornarem significativos e válidos, permitindo ao pesquisador propor inferências e interpretações através de operações estatísticas ou análise qualitativa profunda (Bardin, 2016).

A categorização é a operação central deste processo, consistindo na classificação de elementos por diferenciação e reagrupamento segundo critérios previamente definidos. O processo pode seguir duas orientações: categorias apriorísticas, fundamentadas em teorias consolidadas (método dedutivo); ou categorias emergentes, que resultam da classificação progressiva dos elementos do corpus (método indutivo). Para uma boa categorização, são essenciais as qualidades de exclusão mútua, homogeneidade, pertinência, objetividade/fidelidade e produtividade (Bardin, 2016).

#### 6.7.2 Procedimentos de Análise nesta Pesquisa

Nesta pesquisa, optou-se pela análise manual dos dados, decisão fundamentada nas características do corpus constituído. Considerando o volume de dados coletados — referentes a três questões abertas aplicadas a nove estudantes — a utilização de softwares tornou-se dispensável em favor de uma abordagem interpretativa mais profunda.

A análise manual permitiu um olhar mais humano no material empírico, o que favoreceu uma sensibilidade maior para captar nuances e contextos específicos que poderiam passar despercebidos. A confiabilidade foi garantida por meio de leitura exaustiva e reiterada, consistência na codificação e atenção às particularidades das respostas discursivas. Dessa forma, privilegiou-se a profundidade interpretativa, alinhando-se ao objetivo de compreender detalhadamente os fenômenos manifestos no discurso dos participantes.

## 7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo da pesquisa foi investigar o potencial de uma proposta pedagógica que combina vídeos educativos, um jogo de tabuleiro temático e mapas conceituais, com base na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Este capítulo se organiza cronologicamente

- i. Análise quantitativa do desempenho nos testes;
- ii. Análise mista das percepções dos alunos (questionário);
- iii. Análise cruzada entre desempenho e percepções;
- iv. Análises qualitativas dos mapas conceituais e interações;
- v. Discussão triangulada dos resultados.

## **7.1 ANÁLISE QUANTITATIVA DO DESEMPENHO CONCEITUAL**

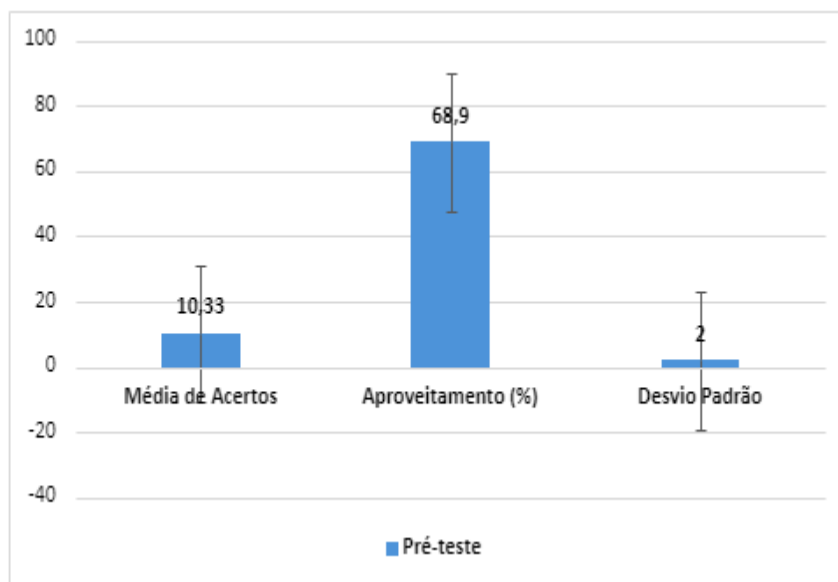
A qualidade da sequência didática foi avaliada quantitativamente por meio de três testes aplicados em momentos distintos. Esses dados permitem medir o conhecimento em diferentes etapas e analisar a evolução conceitual dos nove participantes. A seção aborda primeiro a análise individual de cada teste e, em seguida, a comparação estatística entre eles.

### **7.1.2 Desempenho Pós-Organizadores Prévios**

O primeiro instrumento, o pré-teste, foi aplicado após a exibição dos vídeos educativos, que funcionaram como organizadores prévios. Portanto, os resultados deste teste não representam uma linha de base do conhecimento prévio absoluto dos alunos, mas sim seu estado de compreensão imediatamente após uma primeira exposição estruturada aos conceitos. O teste foi desenhado para ser introdutório, com uma predominância de questões de nível fácil (47%) e médio (47%), e uma minoria de itens de alta dificuldade (7%).

A análise dos resultados revela um desempenho médio de 10,33 acertos (Desvio Padrão = 2,12) em um total de 15 questões, o que corresponde a um aproveitamento de aproximadamente 68,9%. Este escore sugere que os organizadores prévios foram funcionais em ativar e fornecer subsunçores básicos, estabelecendo um ponto de partida conceitual comum e relativamente sólido.

Gráfico 1: Desempenho no Pré-teste



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ao desagregar o desempenho por tópico, observamos um bom desempenho inicial em Radiação (89%) e Tecnologia (94%), mas um conhecimento mais frágil sobre os conceitos fundamentais de Calor (44%) e Condução (67%), além de dificuldades em questões específicas sobre Convecção (56%), indicando áreas que demandavam maior aprofundamento nas etapas subsequentes da intervenção. Estabelecemos uma escala de forma a visualizarmos esse desempenho.

Tabela 5: Escala de Satisfação

Nível	Acertos
Ótimo	80% - 100%
Satisfatório	60% - 79%
Regular	40% - 59%
Insatisfatório	0% - 39%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 6: Resultado Geral Pré-Teste

Pré-teste		
Conceito	Acertos %	Classificação
Calor	44	Regular
Condução	66	Regular
Convecção	78	Satisfatório
Fenômenos	67	Satisfatório
Radiação	89	Ótimo
Tecnologia	94	Ótimo
Temperatura	67	Satisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

### 7.1.3 Avaliação da Aprendizagem Ativa em um Cenário de Maior Complexidade

Após a intervenção principal, centrada no jogo de tabuleiro, foi aplicado o pós-teste. Este instrumento foi concebido com um nível de exigência cognitiva deliberadamente superior. A proporção de questões fáceis foi reduzida para 27%, enquanto as questões de nível médio e difícil aumentaram para 60% e 13%, respectivamente. O objetivo não era avaliar apenas o reconhecimento de conceitos, mas também, a capacidade de inferência e aplicação em cenários mais complexos.

Com uma amostra desse comparativo, tomemos como análise a questão 14 dos respectivos questionários. No Q1 (pré-teste) temos a seguinte afirmação “Plástico e madeira são usados em cabos de panela porque são isolantes térmicos.”; na Q2 (pós-teste), por sua vez, temos “Convecção forçada é um processo de transmissão de calor que ocorre quando um agente externo, por exemplo um ventilador ou uma geladeira, força o movimento de um fluido para promover trocas térmicas.” É pertinente observar que em Q1 apresenta exemplos como cabos de panela serem isolantes térmicos exigindo aqui, as definições básicas do conceito de condução térmica e a ideia de metais como bons condutores. Em contrapartida, na Q2, exige-se conexões que expliquem a convecção forçada e os mecanismos que envolvem equipamentos como ventiladores e geladeiras.

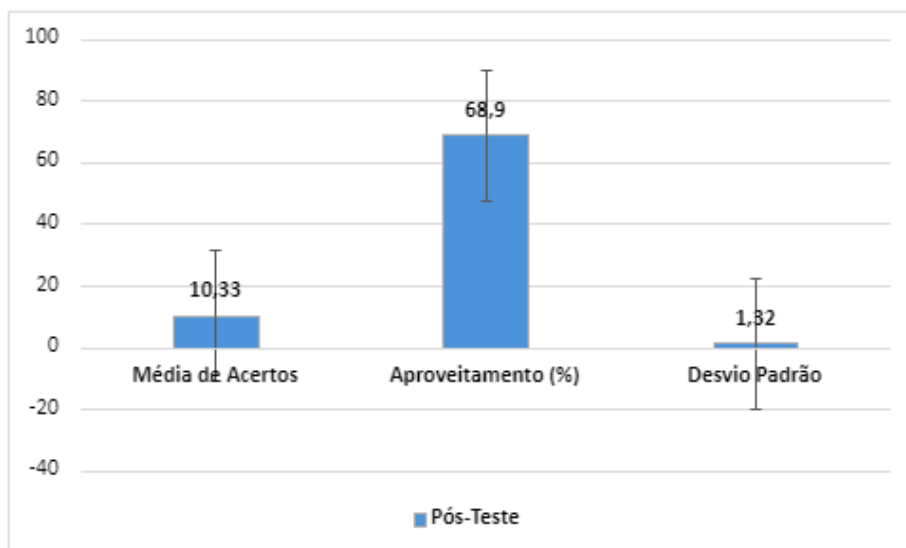
Tabela 7: Comparação dos níveis de dificuldade dos questionários

Tema	Questionário 1	Questionário 2	Diferença Comparativa
Temperatura	Definições e relações diretas. Nível fácil a médio.	Afirmações sobre temperatura absoluta, energia interna, equilíbrio térmico. Nível médio a difícil.	Q2 mais desafiador; exige compreensão mais profunda.
Calor	Definições básicas e transferência direta. Nível fácil a médio.	Definições técnicas, análise conceitual, correção de erros. Nível médio a difícil.	Q2 exige mais análise e correção conceitual.
Condução	Conceitos básicos e condutores metálicos. Nível fácil a médio.	Propagação térmica em vários estados da matéria, sem transporte de massa. Nível médio a difícil.	Q2 exige conhecimento mais detalhado e técnico.
Convecção	Definição simples e papel das correntes térmicas. Nível fácil a médio.	Explicação de convecção natural/forçada, partículas em líquidos/gases. Nível médio a difícil.	Q2 aborda mais variações e aplicações práticas.
Radiação	Definição e menção ao efeito estufa. Nível fácil a médio.	Definição, emissão de calor sem contato, análise de processos. Nível médio.	Q2 exige maior análise de fenômenos físicos.
Fenômenos	Efeito estufa e fenômenos climáticos por convecção. Nível médio.	Relação densidade do ar/ventos, implicações climáticas. Nível médio a difícil.	Q2 traz maior profundidade nos fenômenos.
Tecnologia	Exemplos práticos simples (cabos de panela, motor de carro). Nível fácil a médio.	Convecção forçada, funcionamento de equipamentos. Nível médio a difícil.	Q2 exige conhecimento prático mais detalhado.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O resultado do pós-teste apresentou uma média de acertos de 10,33 (Desvio Padrão = 1,32), idêntica à do pré-teste. A aparente estagnação da média, contudo, mascara um avanço de importância qualitativa, pois manter o nível de desempenho em um teste conceitualmente mais difícil, sugere que houve um aprofundamento e reorganização do conhecimento.

Gráfico 2: Desempenho no Pós-teste



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A melhor evidência dessa evolução reside na análise por tópico. O conceito de Calor, que era o ponto mais frágil no pré-teste (44% de acerto), tornou-se o ponto mais forte no pós-teste, com uma elevação expressiva para 89% de acerto. Isso indica que a atividade lúdica e interativa foi particularmente relevante em sanar uma lacuna conceitual primária. Em contrapartida, a queda no desempenho em Condução e Convecção sugere que a maior complexidade das questões nesses temas expôs fragilidades que não eram visíveis no teste mais simples.

Tabela 8: Resultado Geral Pós-Teste

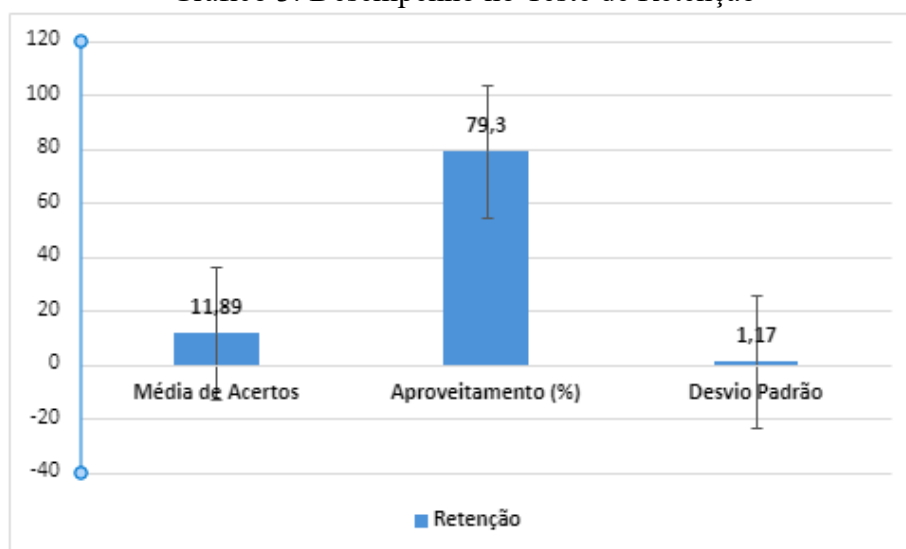
Pós teste		
Conceito	Acertos %	Classificação
Calor	89	Ótimo
Condução	44	Regular
Convecção	50	Regular
Fenômenos	56	Regular
Radiação	83	Ótimo
Tecnologia	94	Ótimo
Temperatura	67	Satisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

### 7.1.4 Análise do Teste de Retenção

Para avaliar a permanência do aprendizado, um teste de retenção, com conteúdo idêntico ao do pré-teste, foi aplicado semanas após o término da intervenção. Os resultados desta avaliação são cruciais, pois a estabilidade do conhecimento ao longo do tempo é uma das principais características da AS. A média de acertos no teste de retenção foi de 11,89 (DP = 1,17), representando um aproveitamento de 79,3%. Este valor numericamente superior, tanto na média do pré-teste quanto à do pós-teste, indica não apenas a manutenção do conhecimento, mas uma possível consolidação e maturação das ideias com o passar do tempo.

Gráfico 3: Desempenho no Teste de Retenção



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O desempenho por tópico também mostra uma melhora consistente em relação ao ponto de partida (pré-teste), com destaque para o avanço na compreensão de Calor de 44% para 72% e; Temperatura de 67% para 78%, demonstrando a solidez do aprendizado nos conceitos mais fundamentais.

Tabela 9: Resultado Geral Teste de Retenção

Conceito	Acertos %	Classificação
Calor	72	Satisfatório
Condução	78	Satisfatório
Convecção	56	Regular
Fenômenos	72	Satisfatório
Radiação	94	Ótimo
Tecnologia	100	Ótimo
Temperatura	78	Satisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A demonstração detalhada dos cálculos está no Apêndice A – ANÁLISE ESTATÍSTICA.

### 7.1.5 Análise Comparativa e Testes de Hipóteses

A significância de intervenções pedagógicas não se limita ao aumento imediato de desempenho, mas também à capacidade dos alunos de aplicar conhecimentos em contextos mais exigentes. A análise comparativa entre os três momentos avaliativos — pré-teste, pós-teste e teste de retenção — teve por objetivo identificar indícios de aprendizagem significativa e avaliar a consistência do processo de assimilação conceitual promovido pela intervenção com o jogo “Aventura Térmica”.

Os testes estatísticos aplicados, conforme descrito na seção 6.5.1, permitem verificar tanto a significância estatística das diferenças observadas (por meio do Teste de Wilcoxon) quanto a direção e a magnitude dos efeitos (por meio do Teste de Kerby). Dessa forma, os resultados apresentados a seguir refletem simultaneamente os aspectos quantitativos e interpretativos da aprendizagem.

### 7.1.6 Comparação 1 – Pré-Teste versus Pós-Teste

A primeira comparação analisou o desempenho dos alunos entre o pré-teste e o pós-teste, este último elaborado com nível de dificuldade superior para avaliar a capacidade de transferência e generalização conceitual. Conforme apresentado na Tabela 9 e ilustrado no Gráfico 12, são mostrados os resultados da comparação entre o pré-teste e o pós-teste.

Tabela 10: Teste de Wilcoxon Pré-teste vs Pós-teste

Aluno	Pré	Pós	Diferença
1	13	10	-3
2	8	9	1
3	10	10	0
4	9	12	3
5	9	11	2
6	10	11	1
7	14	12	-2
8	11	10	-1
9	9	8	-1
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	
<b>Dif. %</b>	0%		
<b>W = 18</b>	<b>Wt = 3</b>	$\alpha = 0,05$	
<b>rb</b>	0		

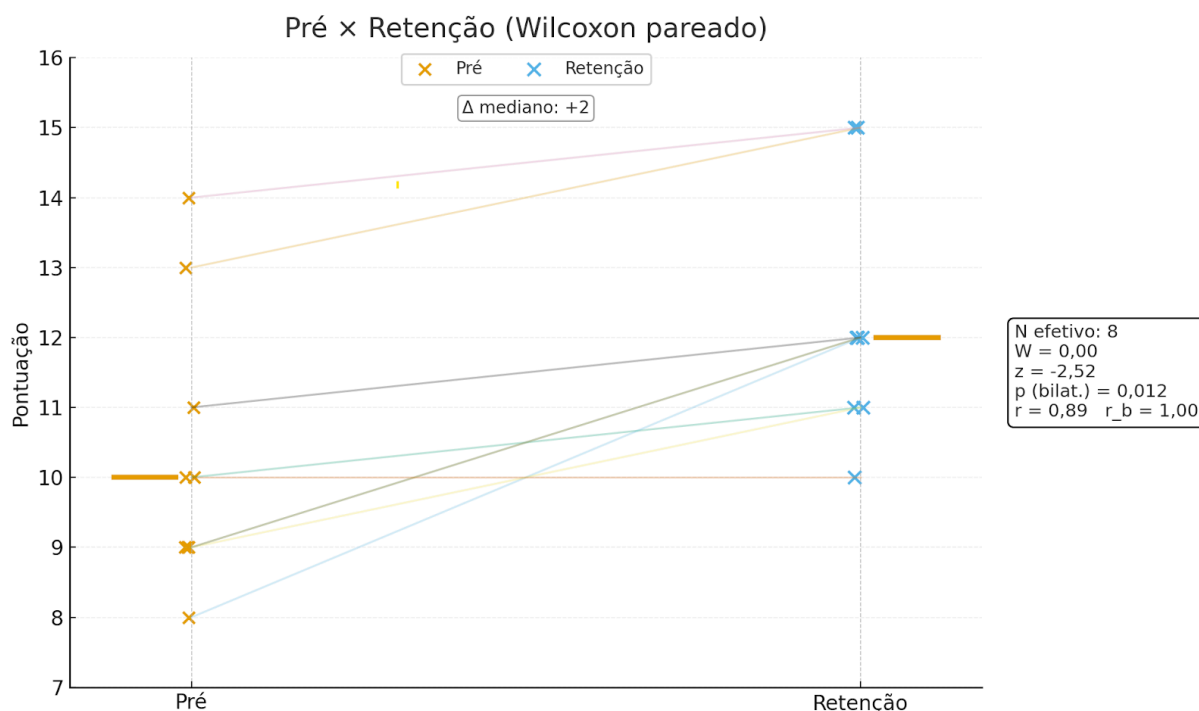
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 11: Ordenação por Postos (Pré vs Pós)

Ordem	Diferença	Abs. Dif	Postos
1	1	1	2,5
2	1	1	2,5
3	1	1	2,5
4	-1	1	2,5
5	2	2	5,5
6	-2	2	5,5
7	-3	3	7,5
8	-3	3	7,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Gráfico 4: Comparação dos resultados dos testes pré e pós



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados mostraram equilíbrio nas pontuações totais (93 → 93), com variações individuais sutis. O cálculo de Wilcoxon resultou em  $W = 18$ , valor superior ao crítico tabelado ( $W_t = 3$ ), o que indica ausência de diferença estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ).

O Teste de Kerby foi aplicado como complemento à análise estatística, oferecendo uma métrica intuitiva para a magnitude e direção dos efeitos observados. Para a comparação entre o Pré-Teste e o Pós-Teste, a proporção de vitórias (P) foi de 0,50, resultando em  $r_b = 0,00$ . Esse valor indica ausência de efeito, isto é, não houve predominância de participantes que melhoraram em relação àqueles que apresentaram desempenho inferior no pós-teste. Esse resultado reforça a conclusão já apontada pelo teste de Wilcoxon, no qual não foi observada diferença estatística significativa entre os dois momentos.

Do ponto de vista pedagógico, tal comportamento é compatível com cenários de aprendizagem em transição, nos quais os processos de assimilação e reorganização conceitual ainda estão em andamento, o que pode explicar a estabilidade dos resultados imediatamente após a intervenção. Podemos ainda dizer que, em vez de mera repetição, os alunos demonstraram consistência na compreensão e capacidade de aplicar os conceitos em situações de maior abstração.

### 7.1.7 Comparação 2 – Pré-Teste versus Teste de Retenção

A seguir, a Tabela 12 e o Gráfico 13 apresentam os resultados referentes à comparação entre o pré-teste e o teste de retenção.

Tabela 12: Teste de Wilcoxon Pré-teste vs Teste de Retenção

Aluno	Pré	Ret	Diferença
1	13	15	2
2	8	12	4
3	10	11	1
4	9	11	2
5	9	12	3
6	10	10	0
7	14	15	1
8	11	12	1
9	9	12	3
<b>Total</b>	93	110	
<b>Dif. %</b>	18%		
<b>W = 0</b>	Wt = 3	$\alpha = 0,05$	
<b>r<sub>b</sub></b>	1		

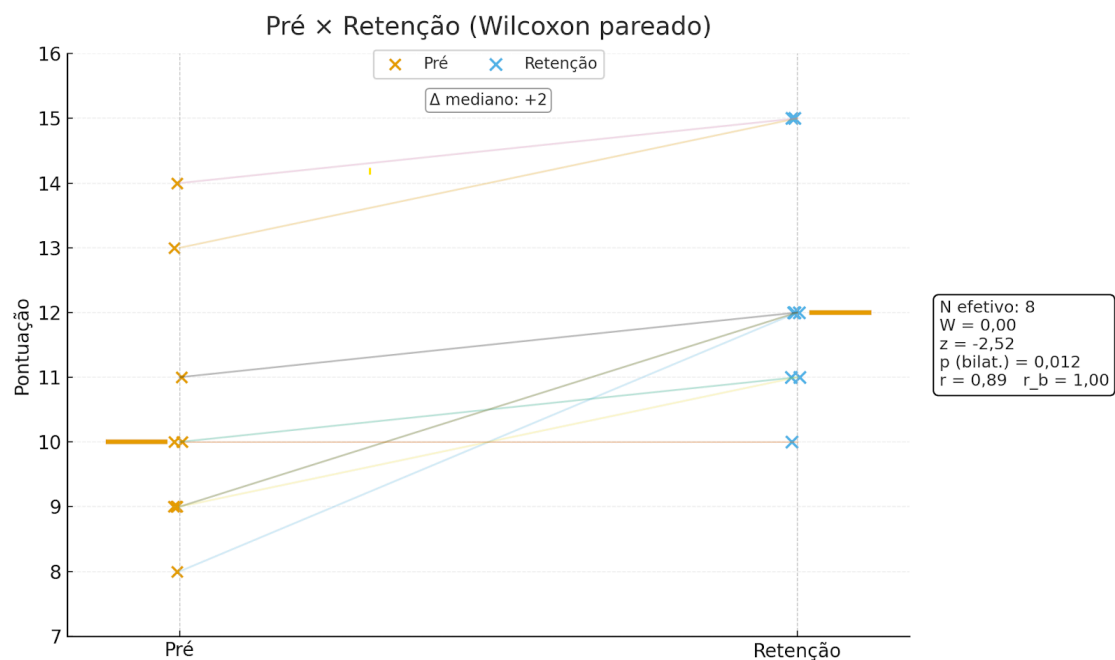
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 13: Ordenação por Postos (Pré vs Ret)

Ordem	Diferença	Abs. Dif	Postos
1	0	0	2
2	1	1	2
3	1	1	2
4	-1	1	4,5
5	-1	1	4,5
6	2	2	6,5
7	-2	2	6,5
8	-3	3	8

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Gráfico 5: Comparação dos resultados dos teste pré e retenção



Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Os resultados mostraram crescimento expressivo nas pontuações (93 → 110), indicando avanço uniforme entre os participantes. O cálculo do Teste de Wilcoxon resultou em  $W = 0 < W_t = 3$ , levando à rejeição da hipótese nula ( $p < 0,05$ ) e confirmando diferença estatisticamente significativa entre os momentos.

O Teste de Kerby apresentou resultado máximo ( $P = 1,00$ ;  $r_b = 1,00$ ), indicando que em 100% das comparações os participantes demonstraram melhoria de desempenho no teste de retenção. Esse achado confirma que o aprendizado promovido pela intervenção não foi apenas pontual, mas sistemático e consolidado ao longo do tempo.

Do ponto de vista pedagógico, tal resultado é particularmente significativo: a retenção do conhecimento após o intervalo evidencia que a proposta favoreceu aprendizagem significativa (Ausubel, 2003). Isso sugere que os alunos não apenas retiveram as informações, mas também as integraram à sua estrutura cognitiva, favorecendo a reconstrução autônoma de conceitos físicos e suas aplicações.

Por fim, a Tabela 14 sintetiza os principais resultados obtidos nas comparações realizadas, destacando os valores de  $W$ ,  $p$  e  $r$  (Kerby), bem como a interpretação correspondente.

Tabela 14: Síntese dos resultados

Comparação	(W)	(W <sub>t</sub> ) ( $\alpha = 0,05$ )	(p)	(r <sub>Kerby</sub> )	Interpretação estatística	Interpretação pedagógica
Pré-Teste × Pós-Teste	18	3	> 0,05	0,00	Não significativa	Desempenho estável diante de maior dificuldade; início de reorganização conceitual e resiliência cognitiva.
Pré-Teste × Teste de Retenção	0	3	< 0,05	1,00	Significativa	Melhora expressiva e consolidada; retenção de longo prazo e evidência de aprendizagem significativa.

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Portanto, a análise dos testes revela duas fases distintas no processo de aprendizagem dos participantes:

1. Estágio de adaptação (Pré vs Pós): estabilidade no desempenho diante de maior complexidade, sugerindo reorganização cognitiva e início de internalização conceitual.
2. Estágio de consolidação (Pré vs Retenção): avanço estatisticamente significativo e efeito máximo, indicando retenção e integração conceitual sólida.

A convergência entre os resultados dos testes de Wilcoxon e Kerby reforça a interpretação de que a aprendizagem foi gradual, consistente e duradoura. Os achados empíricos apontam para o alinhamento da abordagem utilizada, na medida em que promoveram entendimento profundo e retenção conceitual, confirmando o papel do jogo

“Aventura Térmica” como ferramenta para a aprendizagem significativa. Detalhes dos cálculos podem ser consultados no APÊNDICE A – Análise Estatística.

## 7.2 PERCEPÇÕES DOS ALUNOS SOBRE A INTERVENÇÃO

Para além da análise do desempenho conceitual, compreender a experiência subjetiva dos alunos é fundamental para se avaliar o impacto global de uma intervenção pedagógica. Portanto, essa seção analisa as respostas dos 8 alunos ao questionário de avaliação, buscando desvendar como eles vivenciaram e avaliaram a sequência didática, em especial o produto didático: jogo “*Aventura Térmica*”.

### 7.2.1 Análise dos Itens de Escala Likert sobre o jogo “*Aventura Térmica*”

As tabelas seguintes resumem as percepções e o percentual de concordância das respostas dos alunos.

Tabela 15: Itens de afirmações

Item	Percepção dos estudantes sobre o jogo
1	O jogo ajudou a reforçar meu aprendizado sobre os conceitos de propagação de calor.
2	O jogo foi envolvente e divertido de jogar.
3	As perguntas do jogo foram claras e bem elaboradas.
4	O nível de dificuldade das perguntas foi muito alto
5	O jogo ajudou a trabalhar em equipe e colaborar com seus colegas.
6	O tempo dedicado ao jogo foi suficiente.
7	O jogo permitiu que você aplicasse os conceitos de propagação de calor em situações práticas e fenômenos reais.
8	A mediação do professor durante o jogo foi útil para esclarecer dúvidas e aprofundar os conceitos.
9	O jogo pode ser utilizado em outras disciplinas para reforçar o aprendizado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 16: Classificação Escala Likert de 4 pontos

Item	DF	DP	CP	CF	TR	GCP	Interpretação
1	0	1	2	5	8	88%	CF
2	0	0	4	4	8	100%	CF
3	0	1	7	0	8	88%	CF
4	0	5	3	0	8	38%	DP
5	0	0	1	7	8	100%	CF
6	0	3	4	1	8	63%	CP
7	1	2	5	0	8	63%	CP
8	0	0	4	4	8	100%	CF
9	0	2	1	5	8	75%	CF

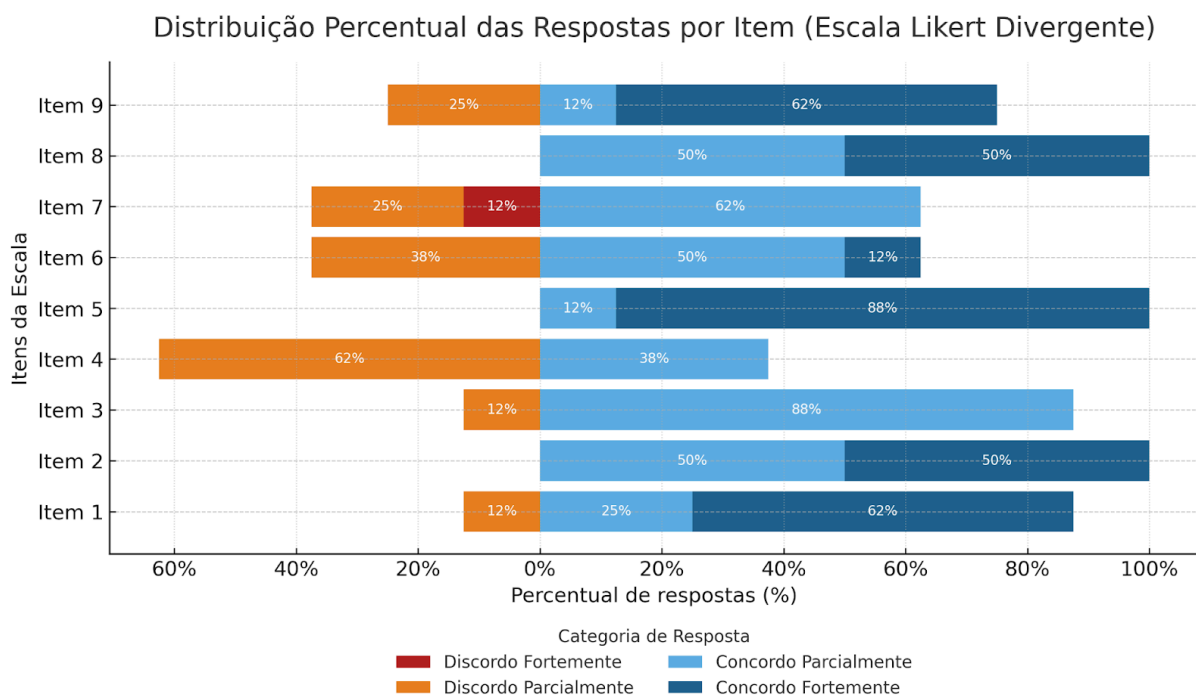
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 17: Interpretação conceitual

Tabela de interpretação	
75 - 100	Concordância forte (CF)
50 - 75	Concordância parcial (CP)
25 - 50	Discordância parcial (DP)
0 - 25	Discordância forte (DF)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Gráfico 6: Distribuição percentual das respostas por item



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise das respostas aos itens da escala Likert revela uma recepção bastante positiva à intervenção, especialmente no que tange às suas dimensões afetivas e sociais. Houve concordância unânime (100%) dos participantes de que o jogo foi “envolvente e divertido” (Item 2), que “ajudou a trabalhar em equipe e colaborar com seus colegas” (Item 5) e que a “mediação do professor durante o jogo foi útil” (Item 8). Esses dados sugerem que a estratégia foi bem-sucedida em criar um ambiente de aprendizagem seguro, colaborativo e afetivamente positivo, quebrando a rotina da sala de aula tradicional.

A percepção sobre o impacto na aprendizagem também foi muito favorável. Houve concordância forte (88%) de que o jogo “ajudou a reforçar o aprendizado” (Item 1) e que as “perguntas foram claras e bem elaboradas” (Item 3). É interessante notar, contudo, a percepção sobre a dificuldade: para o item “O nível de dificuldade das perguntas foi muito alto” (Item 4), houve uma discordância parcial (38% de concordância), indicando que a maioria dos alunos não considerou o desafio excessivo, mas reconheceu sua existência. As questões relacionadas à aplicação prática (Item 7) e à suficiência do tempo (Item 6) foram as que geraram concordância mais moderada (63%), apontando para aspectos que poderiam ser aprimorados em futuras aplicações.

### 7.2.2 Análise das Perguntas Abertas

A Análise de Conteúdo (Bardin, 2011) das respostas abertas revelou os seguintes pontos:

Tabela 18 – Respostas Abertas

O que você mais gostou no jogo de tabuleiro “Aventura Térmica”?			
	Categoria	Freq.	Percepção dos alunos
Q10	Trabalho em Equipe	5	Alunos elegeram o trabalho em equipe, a interação e a dinâmica como aspectos positivos.
	Criatividade	3	Alunos consideraram a criatividade como o elemento marcante.
O que você achou mais difícil ou desafiador durante o jogo?			
	Categoria	Freq.	Percepção dos alunos
Q11	As perguntas	6	Alunos consideraram as “perguntas” difíceis ou desafiadoras, com ênfase nas perguntas “laranjas”.
	Desafio	2	Alunos consideraram que as “perguntas” estavam “adequadas”
O que você mudaria ou sugeriria para melhorar o jogo?			
	Categoria	Freq.	Percepção dos alunos

Q12	Sem Sugestões	3	Alunos não apresentaram sugestões de melhoria, mas, consideraram o jogo “divertido”
	Sugestões	5	Alunos foram sugeridas perguntas mais criativas, pontuação para o segundo colocado, mais integrantes em cada equipe, mais cartas de “azar” e premiação com brindes para a equipe vencedora.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise de conteúdo das respostas abertas enriquece e contextualiza os dados da escala Likert. Quando questionados sobre o que mais gostaram no jogo, as categorias que apareceram com mais destaque foram o “Trabalho em Equipe” (citado por 5 alunos) e a “Criatividade” da proposta (citada por 3 alunos). Fica evidente que a dimensão social e a natureza inovadora da atividade foram os elementos de maior impacto para os estudantes.

Confirmando a percepção de um desafio cognitivo, a maior dificuldade apontada por 6 dos 8 alunos foram “as perguntas” do jogo, com menção específica às de maior complexidade as “laranjas”. Este dado, cruzado com a alta concordância de que as perguntas eram “claras”, sugere que os alunos não tiveram dificuldade de compreender o enunciado, mas sim de elaborar a resposta, o que indica um nível de desafio cognitivo adequado.

Por fim, as sugestões de melhoria, feitas por 5 alunos, foram construtivas e focadas em aprimorar a experiência lúdica, incluindo ideias como “perguntas mais criativas”, “pontuação para o segundo colocado” e “premiação com brindes”, o que reforça o alto nível de interação e conexão que a atividade proporcionou.

Em síntese, a análise conjunta das percepções revela que o produto didático, inserido nessa sequência, foi percebido como uma experiência positiva, de interesse e socialmente enriquecedora. Os alunos valorizaram a oportunidade de colaborar e se divertir enquanto aprendiam. A mediação docente foi vista como um suporte fundamental.

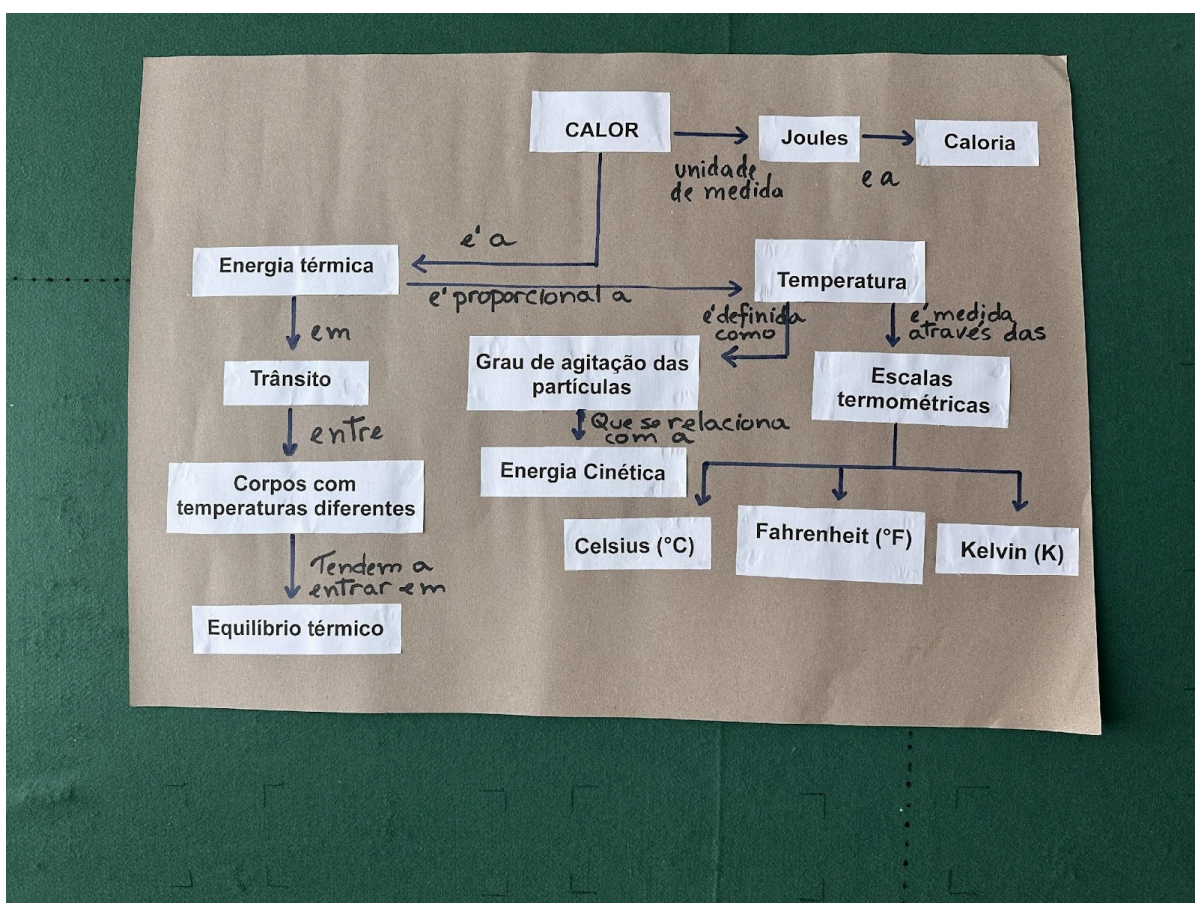
### 7.3 A ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO NOS MAPAS CONCEITUAIS

A construção dos mapas conceituais foi realizada em dois momentos distintos: antes e após a atividade principal com o jogo de tabuleiro. Esta estratégia metodológica foi empregada com o objetivo de observar e analisar as mudanças na estrutura cognitiva dos alunos, permitindo uma compreensão mais aprofundada do processo de aprendizagem.

### 7.3.1 O Diagnóstico Inicial: Análise do Mapa Pré-Jogo

Para garantir que os alunos estivessem devidamente familiarizados com a técnica de mapeamento conceitual, foi apresentado, inicialmente, um mapa conceitual modelo sobre o tema “Calor” (Figura 1). A função principal deste mapa não reside em testar o conhecimento prévio dos estudantes, mas sim em demonstrar a dinâmica da construção, como a seleção de um conceito central, a organização hierárquica de conceitos subordinados e a utilização de palavras ou termos de ligação para formar proposições com significado lógico.

Figura 2: Mapa Conceitual Modelo.

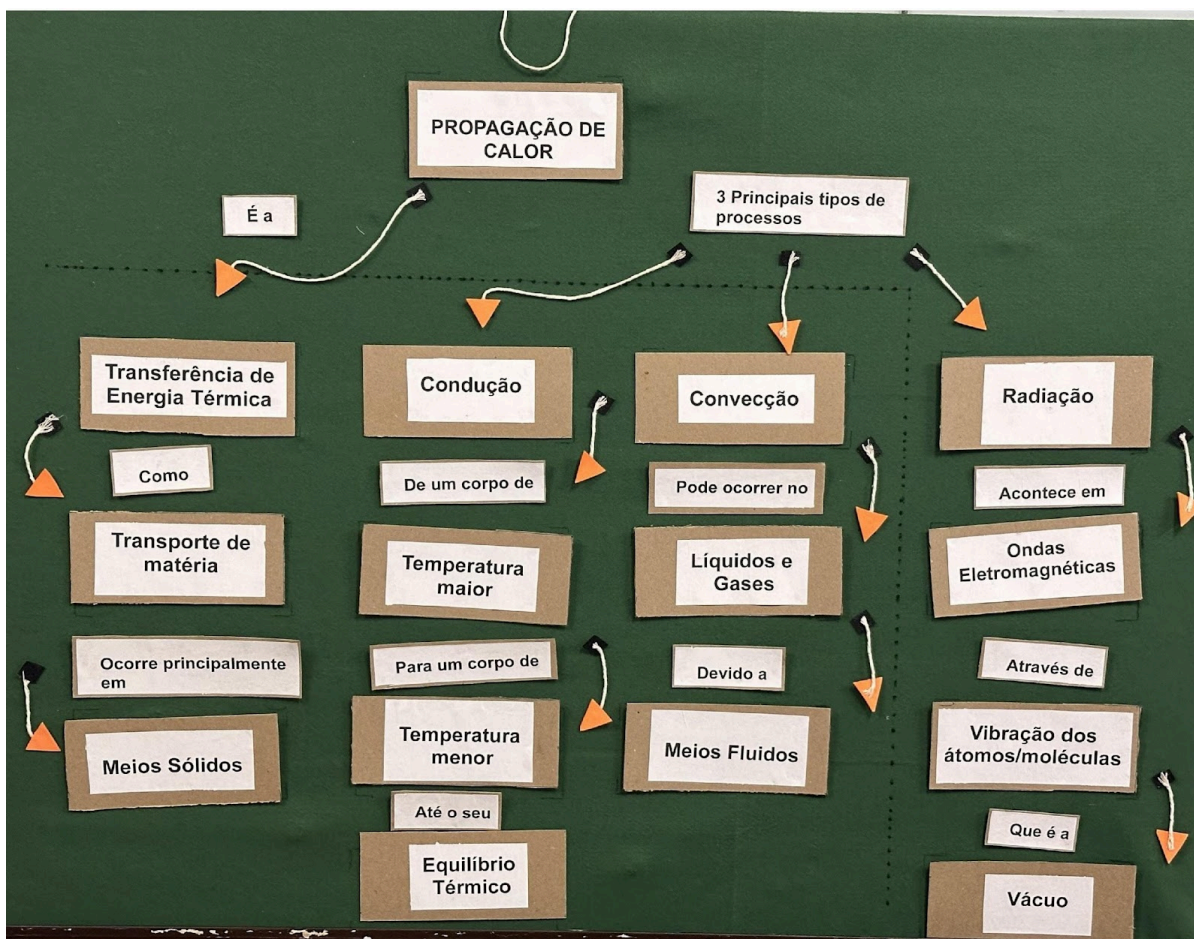


Fonte: Registrado pelo autor (2025).

Este mapa modelo (Figura 2) ilustra de forma clara como o conceito “CALOR” se relaciona com “Energia térmica”, “Temperatura” e suas respectivas unidades de medida e escalas, servindo como um guia metodológico fundamental para a tarefa que os alunos realizaram em seguida. Após a instrução metodológica, a turma se reuniu e, sem a intervenção direta do professor, elaborou seu próprio mapa conceitual sobre o tema central “Propagação

de Calor” (Figura 3). O mapa elaborado pelos alunos serviu como uma fotografia do estado de conhecimento inicial e revelou tanto as competências já desenvolvidas, quanto as lacunas conceituais existentes.

Figura 3: Mapa conceitual elaborado após a exibição dos vídeos e pré-teste.



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

Os alunos identificaram corretamente os três mecanismos de propagação de calor e estabeleceram proposições válidas para cada um deles. No entanto, a análise também expôs uma imprecisão conceitual chave, isto é, uma supergeneralização de que toda “Transferência de Energia Térmica” ocorre com “Transporte de matéria” e uma lacuna estrutural, a ausência de ligações cruzadas que integrassem os diferentes ramos do mapa. Isso revelou que, embora o conhecimento fosse presente, estava compartimentalizado.

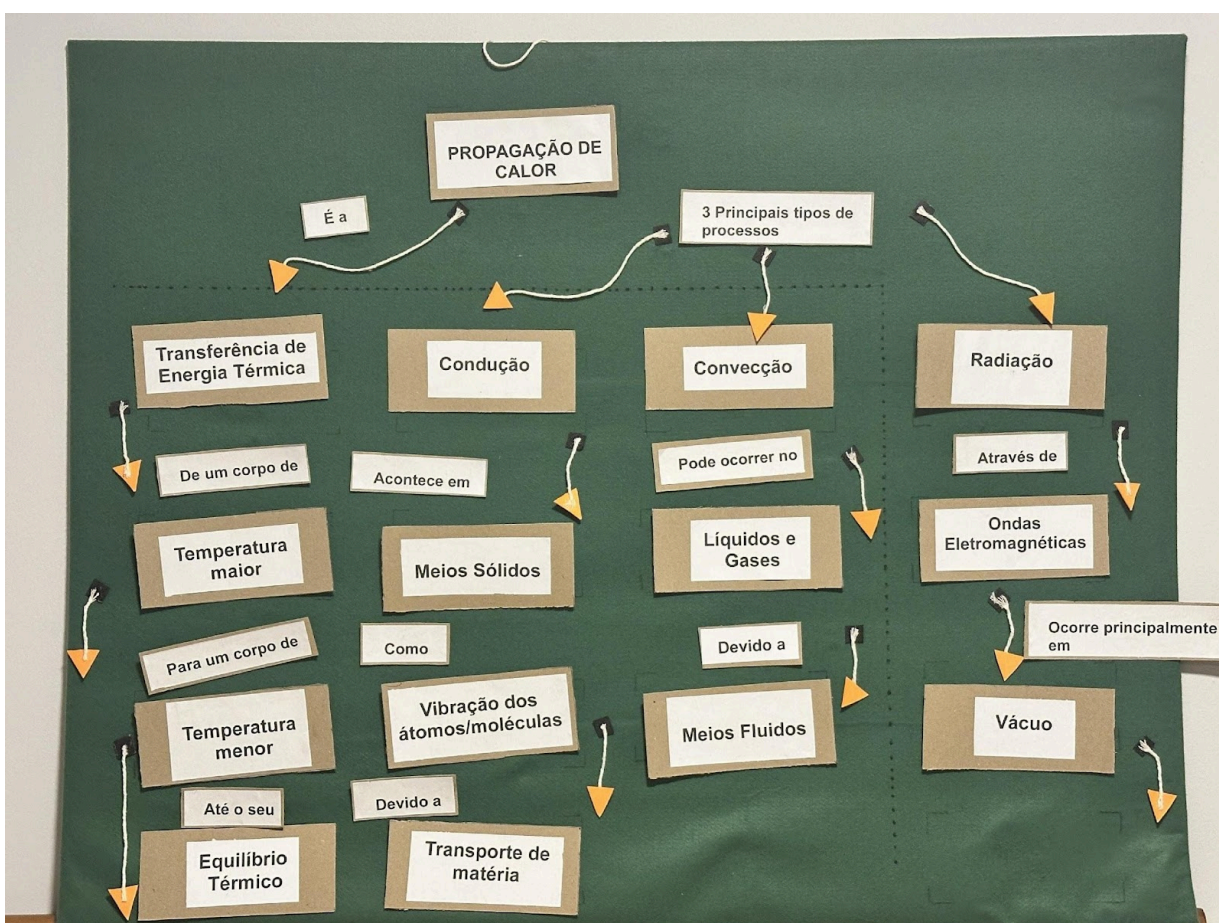
Entretanto, a análise também expôs uma imprecisão conceitual expressiva de que toda “Transferência de Energia Térmica” ocorre necessariamente com “Transporte de matéria”. Esta generalização inadequada representa uma barreira conceitual importante, pois não deixa

claro a distinção fundamental entre os diferentes mecanismos de propagação do calor. Paralelamente, identifica-se também a ausência de algumas ligações cruzadas que integrem os diferentes ramos do mapa, o que corrobora à tese do conhecimento correto, mas compartimentalizado.

### 7.3.2 Análise do Mapa Pós-Jogo

Após a aplicação do produto educacional: o jogo “Aventura Térmica” e a realização do pós-teste, os alunos foram convidados a revisitar o mapa conceitual inicial (elaborado por eles) e a implementar as alterações que julgassem necessárias. O resultado desse processo de revisão constitui um registro importante de evidência da reorganização do conhecimento (Figura 4), o que permite uma análise comparativa do desenvolvimento conceitual dos estudantes.

Figura 4: Mapa conceitual revisado pelos alunos após a intervenção com o jogo.



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

A comparação entre o mapa pré-jogo e o pós-jogo revela mudanças, ainda que sutis em sua manifestação visual, possui relevante significado conceitual. A transformação mais importante e sugestiva foi o reposicionamento estratégico do conceito “Transporte de matéria”. No mapa inicial, este conceito estava erroneamente ligado de forma generalizada à “Transferência de Energia Térmica”. No mapa revisado, os alunos moveram este elemento conceitual, conectando-o de forma precisa e exclusiva ao mecanismo de “Convecção”, por meio da proposição “Líquidos e Gases” (Devido a) “Transporte de matéria”.

Esta alteração não pode ser considerada trivial, pois ela representa uma diferenciação progressiva clara e significativa no processo de aprendizagem. A mudança sugere que a interação com as perguntas e desafios propostos pelo jogo forçou os alunos a refinar sua compreensão, distinguindo que apenas a convecção, dentre os três mecanismos estudados, envolve o deslocamento macroscópico de matéria.

Paralelamente, observa-se refinamentos significativos na linguagem utilizada para formar as proposições, indicando um ganho substancial em precisão científica. No ramo da “Radiação”, por exemplo, a ligação com o conceito “Vácuo” foi alterada. A proposição inicial, que apresentava imprecisão gramatical, foi substituída por “Ocorre principalmente em”, constituindo uma afirmação mais clara e discretamente correta. De forma similar, no ramo da “Condução”, a adição do termo de ligação “Acontece em” antes de “Meios Sólidos” serviu para refinar a relação proposicional, tornando o enunciado mais consistente do ponto de vista conceitual.

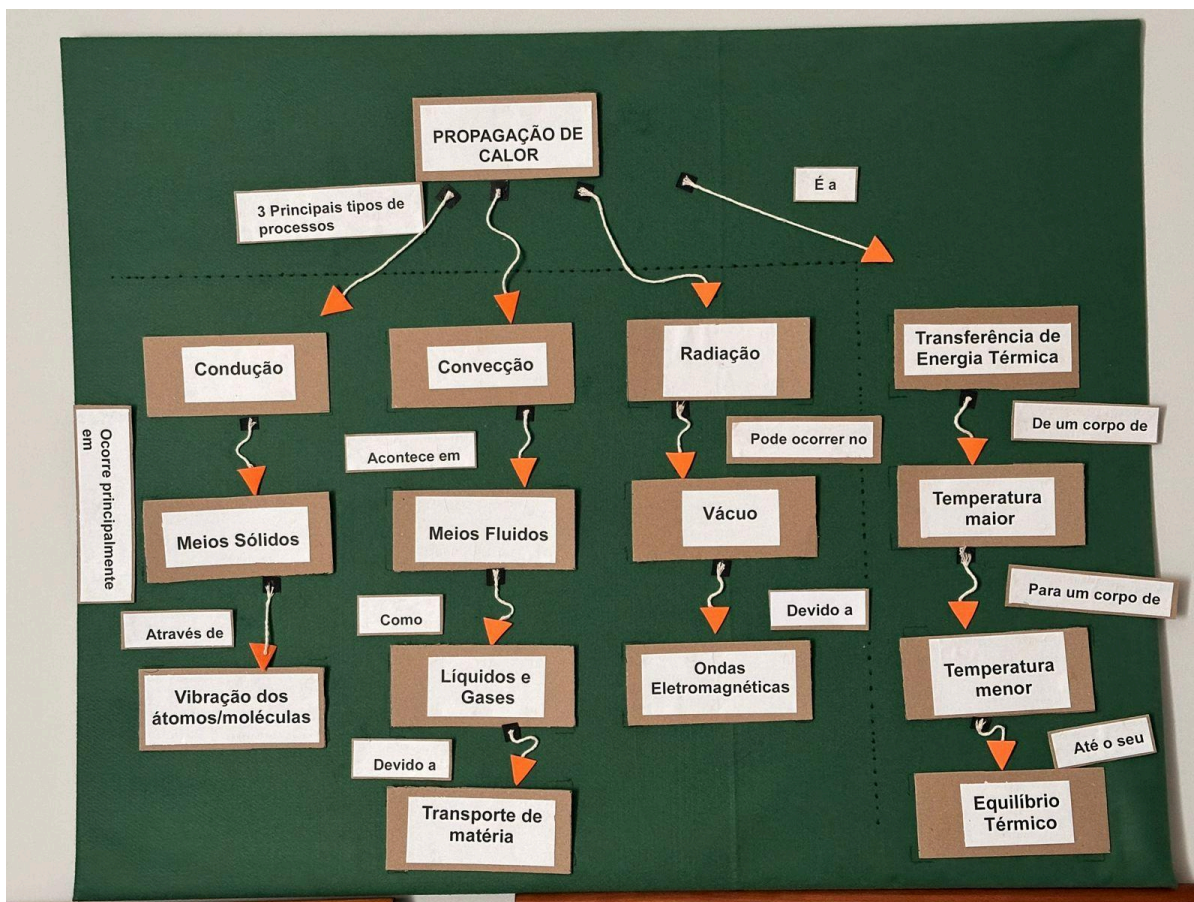
É particularmente notável que, embora os alunos tenham refinado e corrigido relações internas com considerável sucesso, eles não adicionaram novas ligações cruzadas que conectassem os grandes ramos do mapa. A estrutura geral permaneceu essencialmente a mesma. Esta constatação indica que a atividade com o jogo foi significativa em promover a diferenciação conceitual dentro de cada mecanismo específico, embora não tenha sido suficiente para estimular a integração dos diferentes processos em um nível mais abstrato e abrangente.

### **7.3.3 Comparação com o Mapa de Referência Final**

Ao final de todo o processo investigativo, foi construído, com o auxílio de um aluno voluntário, um mapa conceitual de referência (Figura 5), que representa uma organização conceitual completa e precisa do tema em estudo. Este mapa de referência serviu como

parâmetro para avaliar o grau de aproximação alcançado pelos estudantes em relação ao conhecimento cientificamente estabelecido.

Figura 5: Mapa Conceitual de Referência “gabarito” final.



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

Ao comparar o mapa revisado pelos alunos (Figura 4) com o mapa de referência (Figura 5), percebe-se uma aproximação notavelmente satisfatória. O mapa dos alunos, após a intervenção pedagógica, reflete a mesma correção conceitual fundamental presente no gabarito no que diz respeito ao “Transporte de matéria” estar ligado exclusivamente à “Convecção”. As proposições, embora expressas com palavras de ligação ligeiramente diferentes, comunicam as mesmas relações fundamentais estabelecidas no mapa de referência.

As diferenças que persistem são, em sua maioria, de natureza organizacional e de layout, não configurando incorreções conceituais substantivas. Esta constatação demonstra que os alunos, através da sequência didática implementada, foram capazes de construir, de forma autônoma e colaborativa, uma estrutura de conhecimento muito próxima àquela que se espera como resultado satisfatório em um processo de aprendizagem.

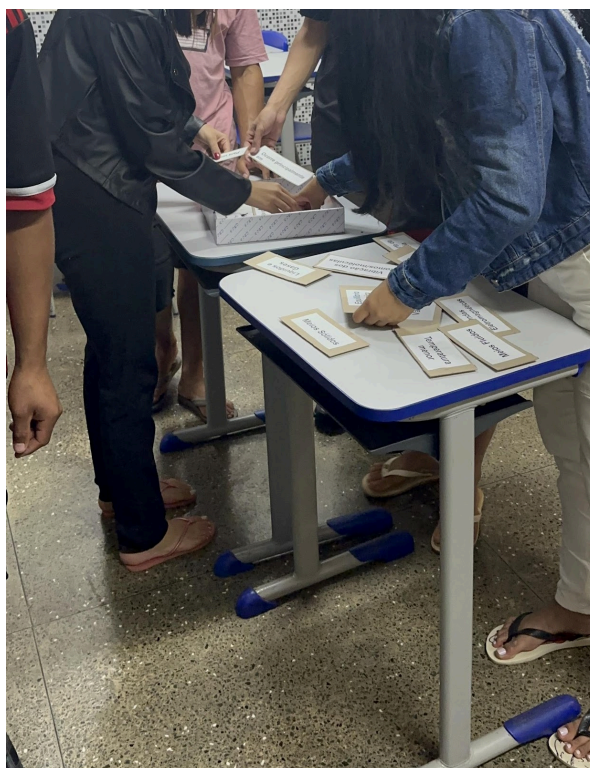
## 7.4 PROCESSO DE INTERAÇÃO E APRENDIZAGEM

A investigação do processo de aprendizagem em sala de aula demanda uma abordagem que ultrapasse a simples quantificação de acertos e erros a fim de contemplar a riqueza das interações entre os sujeitos. Neste sentido, a análise qualitativa das falas transcritas durante a construção do mapa conceitual e ao longo do jogo “Aventura Térmica” revela, com profundidade, a aprendizagem em seu estado nascente. Estes momentos discursivos permitem identificar indícios concretos do processo de assimilação, evidenciando não apenas a apropriação conceitual, mas também o desenvolvimento de habilidades cognitivas e metacognitivas que se manifestam nas trocas espontâneas, na articulação de dúvidas, nas correções mútuas e nas relações estabelecidas com situações do cotidiano.

### 7.4.1 Análise das interações durante a construção do Mapa Conceitual

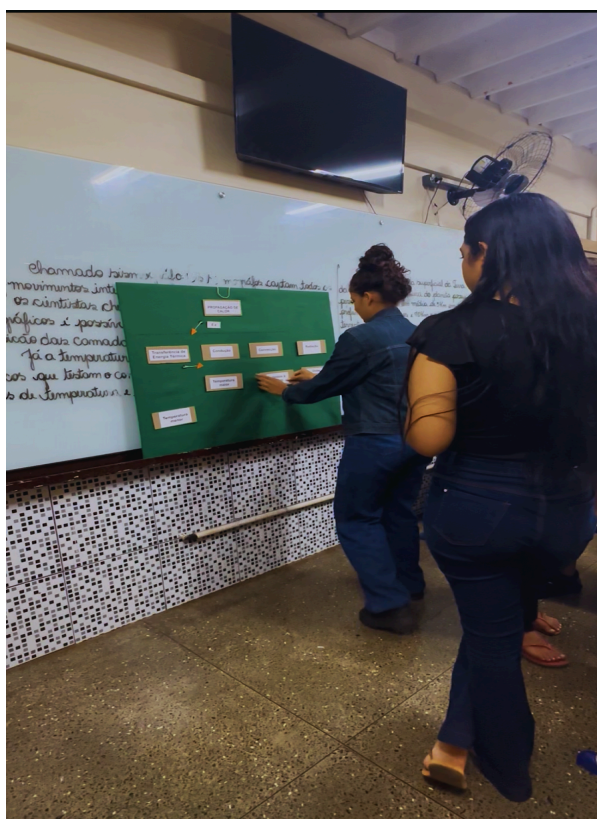
O mapa conceitual, utilizado como ferramenta de organização do conhecimento, funcionou também como um potente organizador prévio, catalisando a ativação dos conhecimentos dos estudantes. As verbalizações durante a montagem do mapa tornaram explícitos os subsunçores presentes em suas estruturas cognitivas. Falas como “Convecção é no líquido e nos gases” e “Gente, a condução ocorre do mais quente ‘pro’ mais frio. Da temperatura maior para a menor” constituem evidências empíricas de compreensões já consolidadas. Em contrapartida, enunciados como “Equilíbrio térmico é condução” ou “A radiação é nos átomos e moléculas” revelam concepções alternativas ou imprecisas, como uma fusão conceitual ou uma relação causal simplificada.

Figura 6: Momento da escolha dos cartões



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

Figura 7: Construção do Mapa Conceitual



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

A receptividade positiva dos alunos aos mapas conceituais foi evidente em declarações como a de um participante, que planejou adotar a ferramenta em seus estudos. Esse interesse ressalta o papel motivador da estratégia, alinhando-se à visão de Ausubel (1968) sobre a importância da disposição afetiva para a aprendizagem significativa.

A tabela a seguir sintetiza as dimensões do processo de interações observadas durante esta etapa.

Tabela 19: Dimensões do Processo de Interação na Elaboração do Mapa Conceitual

<b>Dimensão</b>	<b>Evidência Empírica</b>	<b>Interpretação segundo Ausubel</b>
Ativação de subsunçores	Falas espontâneas sobre conceitos	Diagnóstico de conhecimentos prévios
Diferenciação progressiva	Tentativas de aprofundamento e refinamento	Elaboração e refinamento conceitual
Reconciliação integrativa	Relação entre conceitos e exemplos do cotidiano	Integração de conhecimentos interconectados
Motivação e Participação	Valorização positiva do recurso didático	Disposição favorável à aprendizagem

Fonte: Registrado pelo autor (2025).

#### 7.4.2 Análise das interações durante o jogo “Aventura Térmica”

O jogo proporcionou um espaço privilegiado para a manifestação do pensamento científico em ação. Ao envolver os alunos em situações-problema contextualizadas, o jogo funcionou como um laboratório de interação, favorecendo a emergência de verdadeiras comunidades de investigação e a promoção de pensamento de ordem superior, em um processo que dialoga tanto com a perspectiva ausubeliana quanto com a de Lipman (1995).

A mobilização ativa de conceitos foi uma constante. Diante do questionamento sobre o aquecimento de um carro ao sol, a resposta de um estudante “O processo que inicia o aquecimento interno de um carro com os vidros fechados é a radiação” demonstra não apenas o reconhecimento do fenômeno, mas a capacidade de transferir o conhecimento para uma situação concreta. Contudo, em outros momentos, as respostas iniciais revelaram compreensões ainda superficiais, como no caso da garrafa térmica “Para manter o líquido sempre quente”. Nesses casos, a mediação do professor, ao solicitar maior precisão conceitual, atuou como um elemento de conflito cognitivo produtivo, essencial para a superação de compreensões simplistas e para o avanço rumo à reconciliação integrativa.

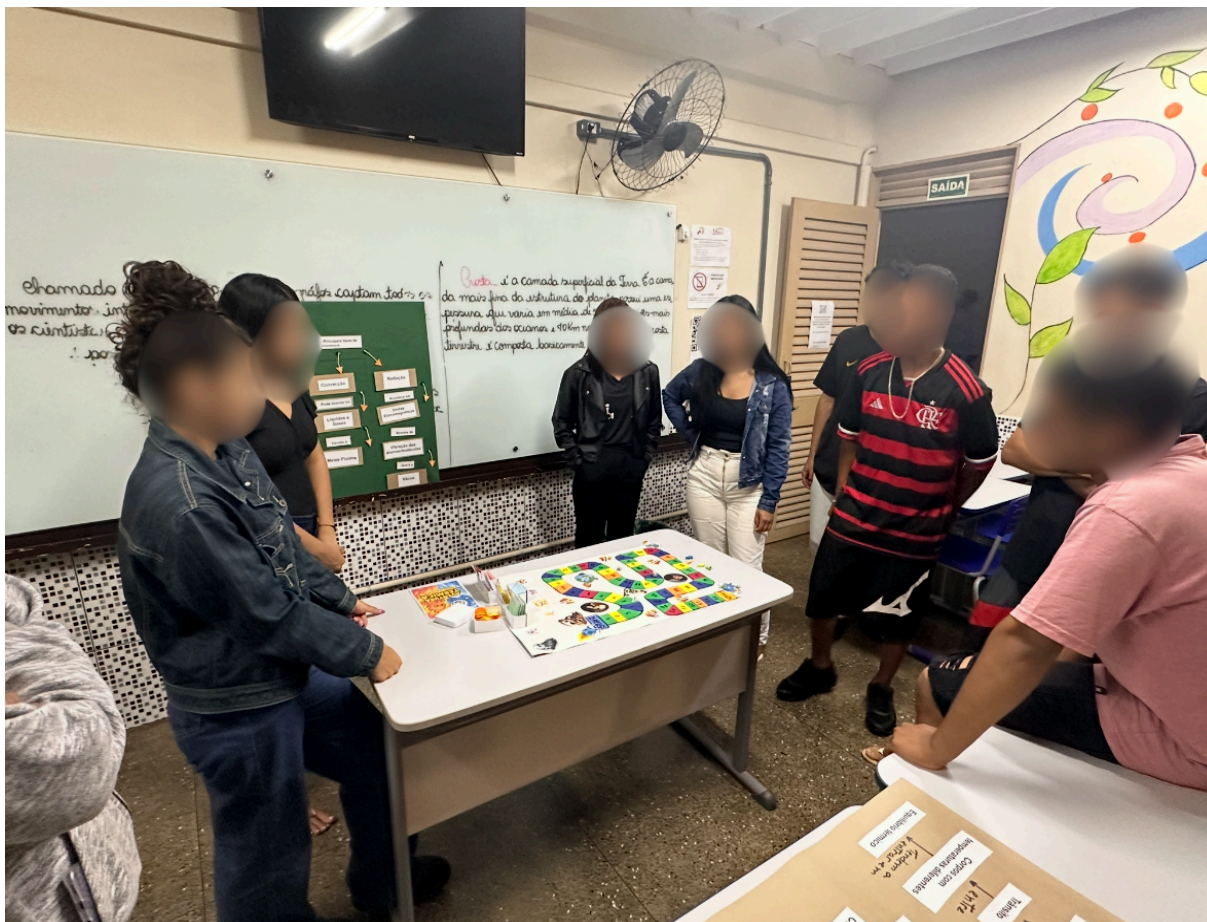
O reconhecimento da própria limitação, verbalizado em interações como a do fogão de indução “É pra explicar como funciona?”, indica a criação de um ambiente seguro para a expressão de dúvidas, pilar para o pensamento investigativo. Momentos de desafio em grupo, como a análise do aquecimento da sopa em uma panela, evidenciaram a potência da colaboração na construção do conhecimento. As falas sequenciais dos alunos, decompondo o fenômeno em processos de convecção e condução, traduzem o funcionamento real de uma comunidade de investigação, promovendo a integração de saberes e a apropriação significativa dos conceitos.

Figura 8: Momento de interação com o jogo



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

Figura 9: Momento de interação com o jogo Aventura Térmica



Fonte: Registrado pelo autor (2025).

Tabela 20: Aspectos da Aprendizagem Observados Durante o Jogo

Aspecto Observado	Exemplo de Fala/Interação	Implicação para a Aprendizagem Significativa
Aplicação conceitual	“O processo [...] é a radiação.”	Transferência do conhecimento para situações reais
Conflito cognitivo e mediação	“Porque o plástico não é um bom condutor térmico.”	Superação de compreensões simplistas
Reconhecimento de dúvidas	“É pra explicar como funciona?”	Ambiente favorável à construção coletiva
Construção colaborativa	“A condução tá no fogo aquecendo o metal.”	Elaboração conjunta de conceitos
Relação com o cotidiano	“Quando abre a janela, vai refrescar mais.”	Ancoragem do conceito na experiência vivida

Fonte: Registrado pelo autor (2025).

As interações analisadas, tanto no momento do mapa conceitual quanto durante o jogo didático, revelam a constituição de um ambiente pedagógico profícuo à aprendizagem significativa. Os estudantes, ao verbalizarem seus conhecimentos prévios e ao serem instigados a argumentar, corrigir e reconstruir suas concepções, demonstram um processo dinâmico de apropriação do conhecimento científico. A valorização dos aspectos afetivos e lúdicos, refletida no entusiasmo e engajamento dos alunos, potencializa a motivação intrínseca, fator reconhecido como catalisador da aprendizagem. Desta forma, a análise qualitativa das falas evidencia que a aprendizagem não se reduz à memorização de definições, mas se configura como um processo ativo, relacional e social, no qual os estudantes constroem, negociam e ressignificam seus saberes de modo contextualizado e integrado à sua experiência de mundo.

## 7.5 DISCUSSÃO E TRIANGULAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Uma análise integrada dos resultados indica uma consistência entre o desempenho conceitual evidenciado nos testes e a organização cognitiva revelada pelos mapas conceituais. Tal consistência reforça o argumento de Moreira (2011) e Novak e Gowin (1984), de que aprendizagens verdadeiramente significativas resultam da ancoragem dos novos conhecimentos em subsunçores relevantes e previamente consolidados.

Os resultados dos testes (pré e pós) mostraram estabilidade quantitativa, mas avanços qualitativos, especialmente no entendimento do conceito de calor – inicialmente uma lacuna, conforme já identificado por Viennot (1979) e Silva e Mortimer (2007). Essa evolução corrobora o argumento de Moreira (2011) e Novak e Gowin (1984) de que a AS depende da ancoragem em subsunçores consolidados.

A comparação entre os mapas pré e pós-intervenção revelou diferenciação progressiva, conforme proposto por Ausubel et al. (1978). Um exemplo marcante foi a correção espontânea da associação entre “transporte de matéria” e convecção, indicando uma estruturação mais precisa dos conceitos.

Entretanto, a escassez de cross-links entre os mecanismos de propagação de calor sugere que a reconciliação integradora (Ausubel, 2003) não foi plenamente atingida. Este ponto revela um desafio central da aplicação da teoria: embora os alunos tenham avançado na organização hierárquica dos conceitos (diferenciação progressiva), a capacidade de integrar e relacionar os diferentes ramos do conhecimento de forma coerente e sem contradições ainda

não foi plenamente alcançada. A reconciliação integradora exige uma mediação docente qualificada, discussões sistemáticas e tempo para amadurecimento cognitivo, elementos que nem sempre são plenamente viáveis em contextos escolares desafiadores como o desta pesquisa. Isso aponta para a necessidade de estratégias adicionais, como propõem Moreira e Greca (2003), para promover conexões explícitas entre tópicos relacionados.

Os alunos destacaram o ambiente colaborativo e motivacional do jogo, corroborando estudos sobre o papel da ludicidade na aprendizagem significativa (Kishimoto, 2022; Oliveira & Basso, 2015). Entretanto, a percepção de dificuldade elevada em questões complexas ressaltou a importância de dosar o desafio cognitivo – alinhando-se ao princípio de equilíbrio entre habilidade e desafio proposto por Prensky (2001).

A triangulação dos dados confirmou as hipóteses iniciais, evidenciando que a combinação de vídeos, jogos e mapas conceituais favorece aprendizagens profundas. Como perspectiva, recomenda-se investigar estratégias adicionais para fortalecer a integração conceitual, como atividades pós-jogo ou abordagens interdisciplinares.

Em síntese, os resultados validam pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa e destacam desafios específicos – como integração conceitual e equilíbrio de dificuldade –, avançando tanto a teoria quanto a prática no ensino de Física.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta pesquisa demonstrou o potencial inovador de uma abordagem pedagógica que integra sistematicamente vídeos educativos, jogos de tabuleiro e mapas conceituais, criando um modelo alinhado aos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa. Os resultados evidenciaram que esta combinação estratégica de recursos, promoveu ganhos substantivos na compreensão e retenção dos conceitos de propagação de calor.

A análise dos dados revelou uma notável congruência entre os indicadores quantitativos e qualitativos. A melhoria estatisticamente significativa nos testes de retenção, aliada às evidências de reestruturações cognitivas observadas nos mapas conceituais e à participação ativa dos alunos, configura um quadro consistente que valida a qualidade da aprendizagem na intervenção. Particularmente relevante, foi a correção autônoma de concepções alternativas pelos estudantes, que demonstra o processo de diferenciação progressiva previsto pela TAS.

Apesar desses avanços, o estudo identificou desafios importantes, especialmente no que concerne à integração conceitual mais profunda entre os diferentes mecanismos de transferência de calor.

É fundamental ponderar, também, a limitação referente ao tamanho da amostra. Como a pesquisa foi conduzida com apenas nove estudantes, é preciso ter cuidado com a generalização dos resultados. Trabalhos futuros poderiam buscar validar e expandir os achados aqui apresentados, aplicando a sequência didática em turmas com um número maior de alunos e em diferentes contextos escolares, além de investigar os efeitos de distintas estratégias de mediação docente ou o impacto de versões digitais da intervenção.

O diferencial deste trabalho está em sua abordagem sistêmica, que vai além da simples justaposição de recursos didáticos, para estabelecer uma sequência pedagogicamente fundamentada, em que cada elemento – vídeos como organizadores prévios, o jogo como espaço de aplicação e reflexão, e os mapas como ferramentas de síntese conceitual – cumpre uma função cognitiva específica e complementar. Esta articulação teórico-metodológica representa uma contribuição significativa para o campo, oferecendo não apenas evidências empíricas de que a TAS pode ser aplicada em contextos gamificados, mas também um modelo replicável para o ensino de conceitos científicos abstratos.

Os achados desta pesquisa reforçam a importância de se desenvolver intervenções pedagógicas que possam transformar o aprendizado da Física. Ao mesmo tempo, destacam a necessidade de investigações continuadas que aprofundem nossa compreensão sobre os mecanismos cognitivos envolvidos nestes processos e as melhores estratégias para potencializá-los em diferentes contextos educacionais.

## 9 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. F. G.; MONTEIRO, F. F. **Explorando a interconexão entre teorias de aprendizagem na óptica geométrica: um estudo de caso no ensino médio.** *Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino*, v. 7, n. 2, p. 118-134, 2023.
- ATKINS, P. W.; DE PAULA, J. **Physical Chemistry**. 10. ed. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva.** Tradução de Lígia Teopisto. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- AUSUBEL, David P. **Educational Psychology: a cognitive view.** New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Educational Psychology: a cognitive view.** 2. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1978.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARCELLOS, Leandro da Silva; BODEVAN, Jéssica Adriane de Souza; COELHO, Geide Rosa. Ação mediada e jogos educativos: um estudo junto a alunos do ensino médio em uma aula de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 38, n. 2, p. 853-882, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e72011>.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 2011.
- BENEDETTI FILHO, Edeamar; SILVA, Adriana de Oliveira Delgado; FAVARETTO, Danilo Vieira. Um jogo de tabuleiro utilizando tópicos contextualizados em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, e20190356, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0356>.
- BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer.** 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
- BIPM – BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. **The International System of Units (SI).** 9. ed. Sèvres: BIPM, 2019. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- CALLEN, H. B. **Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.
- CAMARGO, Eder Pires de; NARDI, Roberto. Concepções alternativas em óptica: um estudo comparativo entre estudantes brasileiros e portugueses. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 1, p. 7-24, 2007.

CAMPOS, L. M.; BORTOLOTO, T. M.; PIMENTEL, A. G. Jogos de tabuleiro no ensino de termodinâmica. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 1, p. 134-145, 2014.

CARDWELL, D. S. L. **From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age**. Ithaca: Cornell University Press, 1971.

CARSLAW, H. S.; JAEGER, J. C. **Conduction of Heat in Solids**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1959.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CEPEDA, N. J.; PASHLER, H.; VUL, E.; WIXTED, J. T.; ROHRER, D. Distributed practice in verbal recall tasks: a review and quantitative synthesis. **Psychological Bulletin**, v. 132, n. 3, p. 354–380, 2006.

CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Pesquisa de métodos mistos**. Porto Alegre: Penso, 2013.

DRIVER, R.; GUESNE, Edith; TIBERGHEN, Andrée. **Children's ideas in science**. Philadelphia: Open University Press, 1985.

DRIVER, R. et al. **Making Sense of Secondary Science: research into children's ideas**. London: Routledge, 1994.

EDDINGTON, A. S. **The Nature of the Physical World**. Cambridge: Cambridge University Press, 1928.

ERICKSON, G. L. Children's conceptions of heat and temperature. **Science Education**, v. 63, n. 2, p. 221-230, 1979.

ERICKSON, Gaalen L. Misconceptions about heat: a cross-cultural study. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON MISCONCEPTIONS IN SCIENCE AND MATHEMATICS, 1., 1985, Ithaca. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1985. p. 309-323.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics**. v. 1. Reading: Addison-Wesley, 1963.

GARLAND, Ron. The mid-point on a rating scale: Is it desirable? **Marketing Bulletin**, v. 2, n. 3, p. 66-70, 1991.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES Jr.; BARROSO. Análise do desempenho em Termodinâmica no ENEM 2009–2011. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2014.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of**

**Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.18809>. Acesso em: 25 abr. 2025.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; BERGMAN, Theodore L.; LAVINE, Adrienne S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB): relatório de resultados 2021**. Brasília: INEP, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/saeb>. Acesso em: abr. 2025.

IUPAC – INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry (Green Book)**. 3. ed. Cambridge: RSC Publishing, 2007.

KERBY, D. S. The simple difference formula: an approach to teaching nonparametric correlation. **Comprehensive Psychology**, v. 3, art. 1, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2466/11.IT.3.1>.

KESIDOU, Sofia; DUIT, Reinders. Students' conceptions of the second law of thermodynamics: an interpretive study. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 1, p. 85-106, 1993.

KIPPER, L. M.; LOPES, R. V.; VILLAR, A. S. Jogos digitais no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. 112-125, 2019.

KISHIMOTO, T. M. **O jogo e a educação infantil**. São Paulo: Pioneira, 2001.

KISHIMOTO, Tizuko Morchida. **Jogos infantis: o jogo, a criança e a educação**. 19. ed. Petrópolis: Vozes, 2022.

KITTEL, C.; KROEMER, H. **Thermal Physics**. 2. ed. San Francisco: W. H. Freeman, 1980.

KRASILCHIK, Myriam; MARANDINO, Martha. **Ensino de Ciências e Cidadania**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2018.

LEBOWITZ, J. L. Boltzmann's entropy and time's arrow. **Physics Today**, v. 46, n. 9, p. 32-38, 1993.

LIMA, Francisca Mara Jane Silva; NETO, Pedro Eduardo Cavalcante; ESMERALDO, Nádia Ferreira de Andrade. Jogos aplicados ao ensino de Física. **Ensino em Perspectivas**, Fortaleza, v. 2, n. 2, p. 1-18, 2021. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/ensinoemperspectivas/>. Acesso em: 25 maio 2025.

LIPMAN, M. **O pensar na educação**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1995.

MAINARDES, Jefferson; STREMEL, Silvana. A dimensão afetiva na aprendizagem: contribuições de Henri Wallon. **Educar em Revista**, n. 56, p. 67-83, 2015.

McQUARRIE, D. A. **Statistical Mechanics**. Sausalito: University Science Books, 2000.

MEDEIROS, Thiago dos Santos. **Gamificação no ensino de física: uma proposta para o ensino de termologia utilizando jogos e mapas conceituais**. 2021. 142 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/32479>. Acesso em: 24 maio 2024.

MODEST, M. F. **Radiative Heat Transfer**. 3. ed. Oxford: Academic Press, 2013.

MONTEIRO, Fábio Ferreira. Análise de uma experiência híbrida no ensino de Física 1. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 43, e20200315, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0315>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/dp3JDyDjPSgFyygNY8VJM5y/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MONTEIRO, F. F.; FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; CRUZEIRO, W. S. **Modelo 5E e aprendizagem por descoberta: a luz e seus impactos na tecnologia cotidiana**. *Plurais Revista Multidisciplinar*, v. 6, n. 2, p. 138-159, 2021.

MORAN, José Manuel. Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologias audiovisuais e telemáticas. In: MORAN, José Manuel; MASETTO, Marcos T.; BEHRENS, Marilda. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21. ed. Campinas: Papirus, 2013. p. 45.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Editora da USP, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, Porto Alegre, v. 24, n. 6, 2013. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/public/taef/v24\\_n4\\_moreira.pdf](http://www.if.ufrgs.br/public/taef/v24_n4_moreira.pdf). Acesso em: 25 nov. 2025.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, Marco Antonio; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino do método científico: uma perspectiva dos pesquisadores em ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. especial, p. 7-32, 2013.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. Anomalies and conflicts in classroom discourse. **Science Education**, v. 84, n. 4, p. 429-453, 2000.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, v. 5, n. 1, p. 9-29, jan./jun. 2010.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Learning How to Learn**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

OLIVEIRA, Andréia Guerra; JUSTI, Rosária. A evasão em cursos de Física: um estudo sobre fatores motivacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 1-18, 2015.

OLIVEIRA, Vagner Benedito de; BASSO, Marcus Vinicius de Azevedo. **Ensino de Física por Investigação: estratégias para a resignificação conceitual**. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

ÖZISIK, M. N. **Heat Conduction**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

PATHRIA, R. K.; BEALE, P. D. **Statistical Mechanics**. 3. ed. Oxford: Academic Press, 2011.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1972.

PRATT, J. W. Remarks on zeros and ties in the Wilcoxon signed-rank procedures. **Journal of the American Statistical Association**, v. 54, n. 287, p. 655–667, 1959.

PRIGOGINE, I. **From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences**. San Francisco: W. H. Freeman, 1980.

RAMOS, E. M.; MASSONI, N. T. Jogos no ensino de Física: desafios e potencialidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 28-42, 2016.

REAL STATISTICS USING EXCEL. **Wilcoxon Signed-Ranks Table**. Disponível em: <https://real-statistics.com/statistics-tables/wilcoxon-signed-ranks-table/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

REDISH, E. F. **Teaching Physics with the Physics Suite**. Hoboken: Wiley, 2003.

REIF, F. **Fundamentals of Statistical and Thermal Physics**. New York: McGraw-Hill, 1965.

RIBEIRO, C. M.; SILVA, J. P.; KOSCIANSKI, A. Animação digital como organizador prévio no ensino de Física: um estudo experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 2, p. 145-162, 2018.

ROSA, Paulo Ricardo da Silva. O uso dos recursos audiovisuais e o ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 1, p. 33-49, abr. 2000.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; BAPTISTA, M. del P. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, L. P.; SANTOS, C. A.; MACÊDO, J. A. Desenvolvimento e avaliação de jogo sobre termodinâmica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 2, p. 165-182, 2015.

SANTOS, Poliana Alves dos. **O uso de mapas conceituais como estratégia de ensino e avaliação da aprendizagem de conceitos de ecologia no ensino fundamental**. 2020. 109 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2020. Disponível em: <https://www.prp.ueg.br>. Acesso em: 24 maio 2024.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SIEGEL, R.; HOWELL, J. R. **Thermal Radiation Heat Transfer**. 4. ed. New York: Taylor & Francis, 2002.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SILVA, C. C.; MORTIMER, E. F. **Concepções espontâneas e aprendizagem significativa: um estudo sobre a evolução conceitual em Física**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 1987.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-221, 1979.

VILLANI, Alberto; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. Concepções espontâneas em mecânica: um estudo com alunos de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 3, p. 205-221, 1990.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

WHITE, F. M. **Fluid Mechanics**. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2016.

WILCOXON, F. Individual comparisons by ranking methods. **Biometrics Bulletin**, v. 1, n. 6, p. 80-83, 1945.

ZANON, D. A. V.; FREITAS, D.; ZANON, S. A. **Ludicidade no ensino de ciências**. Ijuí: Unijuí, 2008.

ZEITTER, P. **Recursos audiovisuais no ensino de ciências: teoria e prática**. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

ZEMANSKY, M. W.; DITTMAN, R. H. **Heat and Thermodynamics**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

## **APÊNDICE A – ANÁLISE ESTATÍSTICA**

## Demonstração dos Cálculos Estatísticos de Desempenho

Aqui, detalha-se o processo de cálculo para as três métricas centrais de desempenho utilizadas na análise quantitativa: a Média de Acertos (desempenho médio), o Desvio Padrão da Amostra e o Aproveitamento Médio (%). Os cálculos foram realizados para o Pré-teste, Pós-teste e Teste de Retenção, com base nas pontuações dos  $N = 9$  alunos.

Fórmulas Utilizadas 1.

Média de Acertos ( $\mu$ ):

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

2. Aproveitamento Médio (%):

$$\text{Aproveitamento} = \left( \frac{\mu}{\text{Total de Questões}} \right) \times 100$$

onde o total de questões é 15.

3. Desvio Padrão da Amostra (s):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

O desvio padrão mede a dispersão ou variabilidade dos dados em torno da média.

1. Cálculos para o Pré-Teste

Dados Brutos (Pontuações): [13, 8, 10, 9, 9, 10, 14, 11, 9]

a) Média de Acertos ( $\mu$ )

- Soma das Pontuações:  $13 + 8 + 10 + 9 + 9 + 10 + 14 + 11 + 9 = 93$
- Cálculo da Média:

$$\mu = \frac{93}{9} \approx 10,33$$

b) Aproveitamento Médio (%)

- Cálculo do Aproveitamento:

$$\text{Aproveitamento} = \left( \frac{10,33}{15} \right) \times 100 \approx 68,9\%$$

## c) Desvio Padrão (s)

I. Cálculo dos desvios ao quadrado  $(x_i - \mu)^2$ :

- $(13 - 10,33)^2 = 2,672 \approx 7,13$
- $(8 - 10,33)^2 = (-2,33)^2 \approx 5,43$
- $(10 - 10,33)^2 = (-0,33)^2 \approx 0,11$
- $(9 - 10,33)^2 = (-1,33)^2 \approx 1,77$
- $(9 - 10,33)^2 = (-1,33)^2 \approx 1,77$
- $(10 - 10,33)^2 = (-0,33)^2 \approx 0,11$
- $(14 - 10,33)^2 = 3,672 \approx 13,47$
- $(11 - 10,33)^2 = 0,672 \approx 0,45$
- $(9 - 10,33)^2 = (-1,33)^2 \approx 1,77$

II. Soma dos desvios ao quadrado  $\sum(x_i - \mu)^2$ :

- $7,13 + 5,43 + 0,11 + 1,77 + 1,77 + 0,11 + 13,47 + 0,45 + 1,77 = 32,01$

III. Cálculo da Variância  $(s^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N-1})$ :

$$s^2 = \frac{32}{8} = 4,0 \text{ (usando o valor exato de 32)}$$

IV. Cálculo do Desvio Padrão  $(s = \sqrt{s^2})$ :

$$s = \sqrt{4,0} = 2,0$$

## 2. Cálculos para o Pós-Teste

Dados Brutos (Pontuações): [10, 9, 10, 12, 11, 11, 12, 10, 8]

a) Média de Acertos ( $\mu$ )

- Soma das Pontuações:  $10 + 9 + 10 + 12 + 11 + 11 + 12 + 10 + 8 = 93$
- Cálculo da Média:

$$\mu = \frac{93}{9} \approx 10,33$$

b) Aproveitamento Médio (%)

$$\text{Aproveitamento} = \left( \frac{10,33}{15} \right) \times 100 \approx 68,9\%$$

## c) Desvio Padrão (s)

I. Soma dos desvios ao quadrado  $\sum(x_i - \mu)^2$ : O cálculo preciso resulta em 14.

II. Cálculo da Variância ( $s^2$ ): ( $s^2$ ):  $s^2 = \frac{14}{8} = 1,75$

III. 3. Cálculo do Desvio Padrão (s):

$$s = \sqrt{1,75} \approx 1,32$$

## 3. Cálculos para o Teste de Retenção

Dados Brutos (Pontuações): [10, 12, 11, 12, 13, 11, 14, 12, 12]

a) Média de Acertos ( $\mu$ )

• Soma das Pontuações:  $10 + 12 + 11 + 12 + 13 + 11 + 14 + 12 + 12 = 107$

• Cálculo da Média:

$$\mu = \frac{107}{9} \approx 11,89$$

## b) Aproveitamento Médio (%)

$$\text{Aproveitamento} = \left( \frac{11,89}{15} \right) \times 100 \approx 79,3\%$$

## c) Desvio Padrão (s)

I. Soma dos desvios ao quadrado  $\sum(x_i - \mu)^2$ : O cálculo preciso resulta em aproximadamente 10,89.

II. Cálculo da Variância ( $s^2$ ):

$$s^2 = \frac{10,89}{8} \approx 1,36$$

Tabela APA1: Resumo dos Resultados

Tabela 1: Resumo dos Resultados Estatísticos por Teste			
Métrica	Pré-Teste	Pós-Teste	Teste de Retenção
Média de Acertos ( $\mu$ )	10,33	10,33	11,89
Aproveitamento Médio (%)	68,9%	68,9%	79,3%
Desvio Padrão (s)	2,00	1,32	1,17

A análise do desvio padrão também revela uma informação interessante: a dispersão das notas diminuiu ao longo do tempo (de 2,00 para 1,32 e depois para 1,17), sugerindo que a turma se tornou mais homogênea em seu conhecimento após a intervenção.

## Análise de Significância Estatística – Teste de Wilcoxon

### 1 Coleta e Preparação dos Dados

A análise inicia-se pela extração dos escores registrados nos três momentos de avaliação: Pré-Teste, Pós-Teste e Teste de Retenção. A Tabela 1 reúne esses valores para cada participante.

Aluno	Pré-Teste	Pós-Teste	Retenção
1	13	10	15
2	8	9	12
3	10	10	11
4	9	12	11
5	9	11	12
6	10	11	10
7	14	12	15
8	11	10	12
9	9	8	12

Tabela APA2: Escores nos diferentes momentos de avaliação para cada aluno.

Comentário: Observa-se que alguns alunos não apresentaram variação imediata (Aluno 3) ou mantiveram seu desempenho no teste de retenção (Aluno 6). Essas ocorrências serão tratadas conforme o protocolo do teste de Wilcoxon, removendo-se as diferenças nulas.

### 2 Método Estatístico: Wilcoxon Signed-Rank Test

O teste de Wilcoxon foi escolhido por não exigir distribuição normal das diferenças emparelhadas e por ser adequado para amostras pequenas. Os passos a seguir descrevem detalhadamente o procedimento aplicado:

1. Cálculo das diferenças  $d_i = X_{2i} - X_{1i}$ . Registram-se tanto o sinal quanto o valor absoluto.
2. Exclusão de casos nulos: sempre que  $d_i = 0$ , o par é removido, pois não contribui para a estatística de postos.
3. Cálculo dos valores absolutos  $|d_i|$ , etapa essencial para a ordenação.
4. Ordenação e atribuição de postos: os  $|d_i|$  são ordenados e recebem postos  $R_i$ . Empates são tratados atribuindo-se a média dos postos correspondentes.

5. Reatribuição de sinais aos postos  $R_i$  de acordo com o sinal original de  $d_i$ .
6. Somas de postos: computam-se  $T^+ = \sum_{d_i > 0} R_i$  e  $T^- = \sum_{d_i < 0} R_i$ .
7. Estatística  $W = \min(T^+, T^-)$ .
8. Parametrização: para amostras de tamanho  $N$ , a média e desvio de  $W$  são

$$\mu_W = \frac{N(N+1)}{4}, \quad \sigma_W = \sqrt{\frac{N(N+1)(2N+1)}{24}}.$$

9. Cálculo de  $z$  e valor- $p$ :

$$z = \frac{W - \mu_W}{\sigma_W}, \quad p = 2\Phi(-|z|).$$

10. Tamanho de efeito: além do valor- $p$ , calcula-se

$$r = \frac{|z|}{\sqrt{N}}, \quad r_b = \frac{T^+ - T^-}{N(N+1)/2}.$$

Comentário: Essa sequência garante transparência no cálculo e facilita a identificação de possíveis desvios ou omissões em cada etapa.

### 3 Resultados e Conferência

#### 3.1 Pré-Teste vs. Pós-Teste

Primeiro, calculam-se as diferenças  $d_i$  e seus valores absolutos, conforme Tabela 2. O Aluno 3, que teve  $d_i = 0$ , é excluído nesta etapa.

Aluno	$d_i$	$ d_i $	Observação
1	-3	3	Queda de desempenho imediato
2	+1	1	Pequeno ganho
4	+3	3	Maior ganho imediato
5	+2	2	Ganho moderado
6	+1	1	Ganho mínimo
7	-2	2	Ligeira queda

8	-1	1	Pequena queda
9	-1	1	Pequena queda

Tabela APA3: Diferenças e interpretação qualitativa (Pré vs. Pós)

Comentário: As variações mostram tanto ganhos quanto perdas imediatas. A seguir, atribuem-se pontos aos valores absolutos.

$ d_i $	Frequência	Posto Ri	Sinal
1	4	2,5	+ para dois casos, - para dois casos
2	2	5,5	+ (Aluno 5), - (Aluno 7)
3	2	7,5	+ (Aluno 4), - (Aluno 1)

Tabela APA4: Distribuição de postos (Pré vs. Pós).

$$T^+ = 2.5 + 5.5 + 7.5 = 15.5, \quad T^- = 2.5 + 5.5 + 7.5 = 15.5, \quad W = 15.5.$$

$$\mu_W = 18, \quad \sigma_W \approx 7.14, \quad z \approx -0.35, \quad p \approx 0.73.$$

$$r \approx 0.12, \quad r_b = 0.$$

Interpretação: Com  $p > 0.05$ , não se rejeita a hipótese nula; não há ganho imediato geral.

### 3.2 Pré-Teste vs. Teste de Retenção

De modo análogo, a Tabela 4 apresenta as diferenças, excluindo o Aluno 6.

Aluno	$d_i$	$ d_i $	Observação
1	+2	2	Ganho consistente
2	+4	4	Maior ganho
4	+1	1	Leve ganho
5	+2	2	Ganho moderado
6	+3	3	Ganho significativo
7	+1	1	Leve ganho
8	+1	1	Leve ganho

9	+3	3	Ganho significativo
---	----	---	---------------------

Tabela APA5: Diferenças e interpretação qualitativa (Pré vs. Retenção).

$ d_i $	Frequência	Posto $R_i$	Sinal
1	3	2	+
2	2	4,5	+
3	2	6,5	+
4	1	8	+

Tabela APA6: Distribuição de postos (Pré vs. Retenção).

$$T^+ = 2 + 4.5 + 6.5 + 8 = 21, \quad T^- = 0, \quad W = 0.$$

$$\mu_W = 18, \quad \sigma_W \approx 7.14, \quad z \approx -2.52, \quad p \approx 0.012.$$

$$r \approx 0.89, \quad r_b \approx 0.58.$$

Interpretação:  $p < 0.05$  indica ganho estatisticamente significativo no teste de retenção, com tamanho de efeito grande, evidenciando consolidação do aprendizado.

### 3.3 Aplicação do Teste de Kerby

O Teste de Kerby é uma abordagem intuitiva e não-paramétrica para medir o efeito em dados pareados. Ele consiste em comparar o desempenho de cada participante em dois momentos distintos, classificando cada caso como vitória, derrota ou empate. A estatística é obtida pela diferença entre o número de vitórias e derrotas dividido pelo total de pares válidos (com empates descartados). O resultado, chamado  $r_{\text{Kerby}}$ , varia de -1 a +1.

$$r_{\text{Kerby}} = \frac{\text{Vitórias} - \text{Derrotas}}{N}$$

em que

Vitória = desempenho melhor no segundo momento (pós ou retenção)

Derrota = desempenho pior

Empate = desempenho igual (diferença nula; excluído da análise)

N = total de pares válidos (vitórias + derrotas)

<b>Aluno</b>	<b>Pré</b>	<b>Pós</b>	<b>Diferença (Pós-Pré)</b>	<b>Resultado</b>
1	13	10	-3	Derrota
2	8	9	1	Vitória
3	10	10	0	Empate (excluído)
4	9	12	3	Vitória
5	9	11	2	Vitória
6	10	11	1	Vitória
7	14	12	-2	Derrota
8	11	10	-1	Derrota
9	9	8	-1	Derrota

Tabela APA7: Tabela de Cálculo – Pré-Teste × Pós-Teste

**Vitórias:** 4 (Alunos 2, 4, 5, 6)

**Derrotas:** 4 (Alunos 1, 7, 8, 9)

**Empate:** 1 (Aluno 3; excluído)

**Total de pares válidos (N):** 8

$$r_{Kerby} = \frac{4 - 4}{8} = 0,00$$

Aluno	Pré	Retenção	Diferença (Retenção-Pré)	Resultado
1	13	15	2	Vitória
2	8	12	4	Vitória
3	10	11	1	Vitória
4	9	11	2	Vitória
5	9	12	3	Vitória
6	10	10	0	Empate (excluído)
7	14	15	1	Vitória
8	11	12	1	Vitória
9	9	12	3	Vitória

Tabela APA8: Tabela de Cálculo – Pré-Teste × Teste de Retenção

Vitórias: 8 (Alunos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9)

Derrotas: 0

Empate: 1 (Aluno 6; excluído)

Total de pares válidos (N): 8

$$r_{Kerby} = \frac{8 - 0}{8} = 1,00$$

Comparação	Vitórias	Derrotas	Empates (excluídos)	Total de pares	$r_{Kerby}$
Pré-Teste × Pós-Teste	4	4	1	8	0
Pré-Teste × Teste de Retenção	8	0	1	8	1

Tabela APA9: Resumo dos resultados

Pré vs. Pós:  $P = 0,50 \rightarrow r = 0,00$  coerente com o resultado não significativo do Wilcoxon.

Pré vs. Retenção:  $P = 1,00 \rightarrow r = 1,00$ , efeito máximo, confirmando a melhora observada.

### Lista variáveis e símbolos

$X_{1i}$  ,  $X_{2i}$  : Valores da variável para o mesmo participante nos dois momentos/comparações (ex: antes e depois da intervenção).

$d_i$  : Diferença entre os pares, para cada participante

$$d_i = X_{2i} - X_{1i}$$

$|d_i|$  : Valor absoluto da diferença; usado para ordenar e ranquear os pares.

$R_i$  : Posto (ranking) atribuído ao valor absoluto  $|d_i|$ . Empates recebem média dos postos correspondentes.

$T^+$  : Soma dos postos  $R_i$  cujos  $d_i > 0$  (ou seja, casos em que houve aumento).

$T^-$  : Soma dos postos  $R_i$  cujos  $d_i < 0$  (ou seja, casos em que houve redução).

$W$ : Estatística do teste Wilcoxon. É o menor valor entre  $T^+$  e  $T^-$ .  $W = \min(T^+, T^-)$

$N$ : Número de pares considerados na análise (ou seja, total de diferenças não nulas).

$\mu_W$ : Valor esperado (média) da estatística  $W$  sob a hipótese nula.

$$\mu_W = \frac{N(N + 1)}{4}$$

$\sigma_W$  : Desvio padrão da estatística  $W$  sob a hipótese nula.

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{N(N + 1)(2N + 1)}{24}}$$

$z$ : Estatística padronizada (z-score), usada para calcular o valor-p (p-value) em grandes amostras:

$$z = \frac{W - \mu_W}{\sigma_W}$$

$p$  : Valor-p do teste, indica a probabilidade de se observar um resultado igual ou mais extremo que o obtido, assumindo a hipótese nula.

$r$  : Tamanho do efeito não paramétrico, calculado por

$$r = \frac{|z|}{\sqrt{N}}$$

$r_b$  ou  $r_{Kerby}$  : Correlação biserial de postos (rank-biserial), alternativa para descrever o tamanho do efeito:

$$r_b = \frac{T^+ - T^-}{N(N + 1)/2}$$

$P$  : Representa a proporção de casos em que a pontuação de um momento avaliativo.

**APÊNDICE B - TRANSCRIÇÃO DAS FALAS E MOMENTOS DE INTERAÇÕES**

### **Transcrição de algumas falas dos alunos sobre o mapa conceitual**

- Fala do aluno A “Convecção é no líquido e nos gases.”
- Fala do aluno B “Gente, a condução ocorre do mais quente ‘pro’ mais frio. Da temperatura maior para a menor.”
- Fala do aluno C “A convecção é negócio lá do ar-condicionado.”
- Fala do aluno A “A convecção pode ser forçada também.”
- Fala do aluno D “Equilíbrio térmico é condução.”
- Fala do aluno C “A radiação é nos átomos e moléculas.”
- Fala do aluno A “Achei muito legal esses mapas, vou tentar usar nos meus estudos!”
- Fala do aluno B “Achei muito útil!”

Observação: Na elaboração do Mapa Conceitual Pós-teste, os comentários foram a respeito da disposição de alguns cartões. Não observei falas que tivessem relevância ou impactos.

### **Transcrição das principais interações dos alunos no jogo “Aventura térmica”**

- A pergunta (fácil): Você já percebeu que em dias ensolarados, o carro que ficou exposto ao sol fica muito quente por dentro? Qual processo de propagação de calor explica esse aquecimento interno?
  - A resposta do aluno A “O processo que inicia o aquecimento interno de um carro com os vidros fechados é a radiação”
- Sobre a interpretação da pergunta (fácil): Por que as garrafas térmicas, como as usadas para manter o café quente, têm paredes espelhadas e são revestidas por dentro com uma camada de vácuo?
  - A resposta do aluno B “Para manter o líquido sempre quente”

- O professor esclareceu a pergunta, questionando “porque elas não são, por exemplo, somente de plástico?”
  - A resposta do aluno C “Porque o plástico não é um bom condutor térmico”

Ao final, o professor corrigiu a resposta explicando o fenômeno correto.

- A pergunta (classificada como nível difícil): Explique como a propagação em um fogão de indução é diferente de um fogão a gás.
  - Resposta do aluno A: “Fogão de indução é aquele elétrico?”
  - Resposta do aluno B “É aquele que se esquentava pelo vidro”
  - Resposta do aluno C “É pra explicar como funciona?”

da Ao final não souberam responder. O professor deu a resposta explicando o fenômeno de indução magnética.

- Pergunta (Desafio em grupo): Explique como a condução e a convecção ocorrem simultaneamente em uma panela com sopa sendo aquecida no fogão.
  - Reflexão do aluno A “Sopa é líquido” aluno B completa “Convecção”
  - Um aluno C comenta “professor, vai ter que elevar a temperatura para ela cozinhar, aí vai gerar a condução.”
  - Aluno D “A condução tá no fogo aquecendo o metal”
  - Aluno E “O metal vai aquecer a sopa”

Professor se deu por satisfeito por achar que os alunos conseguiram estruturar e perceber a presença dos dois processos nesse fenômeno.

- Pergunta (média) Quando um prato é retirado do forno e colocado sobre uma mesa de madeira, ele perde calor mais lentamente do que se fosse colocado em uma superfície de metal. Por quê?
  - Resposta do aluno B “Porque a madeira é isolante, já o metal é bom condutor”

- Pergunta (Desafio em grupo): Você está em uma sala quente e decide abrir as janelas e ligar um ventilador. Explique, em grupo, como a circulação do ar ajuda a reduzir a sensação de calor, mesmo sem mudar a temperatura real da sala.
  - Reflexão do aluno D “Tem relação com o calor do nosso corpo, não tem?”;

Professor esclarece um pouco mais a questão lendo novamente o trecho da pergunta “como a circulação do ar ajuda a reduzir a sensação de calor, mesmo sem mudar a temperatura real da sala.”

- Respostas dos alunos: “Quando abre a janela, vai refrescar mais.”
- O Professor questiona “Por quê?”
- Respostas dos alunos “Porque vai melhorar a circulação”
- O Professor questiona “Que processo é esse, gente?”
- Respostas dos alunos: “Processo de condução”; “Então, radiação”; “É convecção professor!”

Professor Responde “Trata-se de uma convecção forçada, pessoal. Inclusive está no vídeo. Estamos fazendo com que ela aconteça, como? Ligando o ventilador e abrindo a janela para que o ar possa circular.

- Um aluno comenta “Eu pensei que ia diminuir a pressão”

Professor explica “Que o que fazemos é provocar a movimentação da massa de ar de forma mais rápida que se deixarmos naturalmente acontecer”

### **Fechamento das atividades – Sequência didática**

- Fala do aluno A “O jogo foi muito divertido!”
- Fala do aluno B “Achei muito legal”
- Fala do aluno C “Poderia demorar mais o jogo.”

- Fala do aluno D “Não achei justo!”
- Fala do aluno E “Gostei da atividade!”

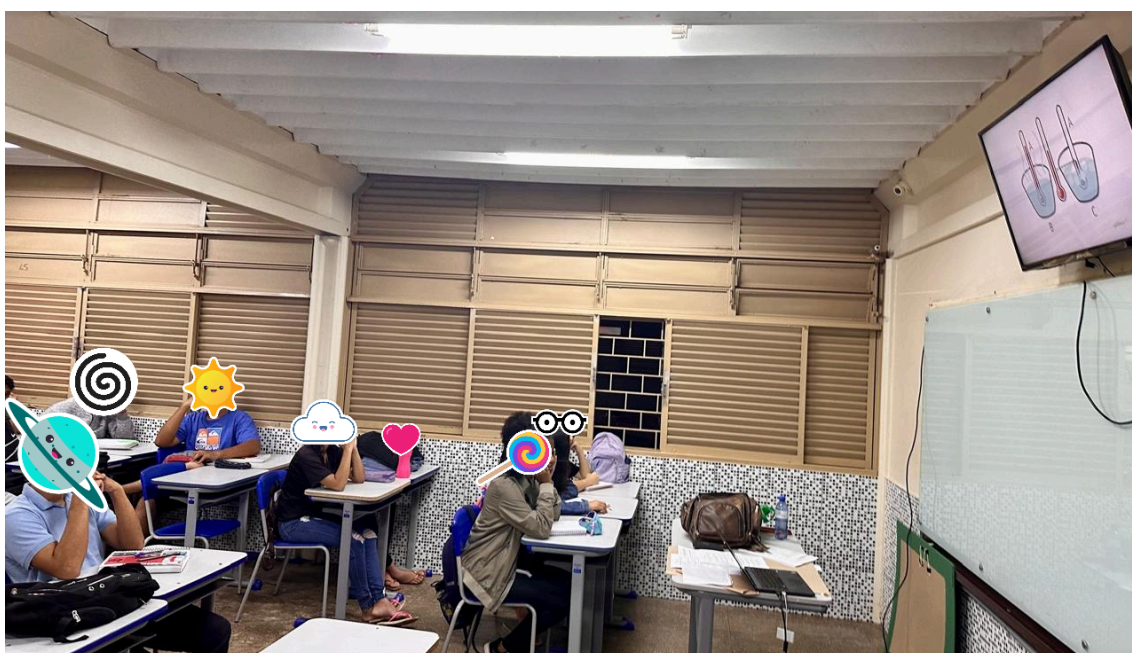


Figura APB1: Exibição dos vídeos dirigidos

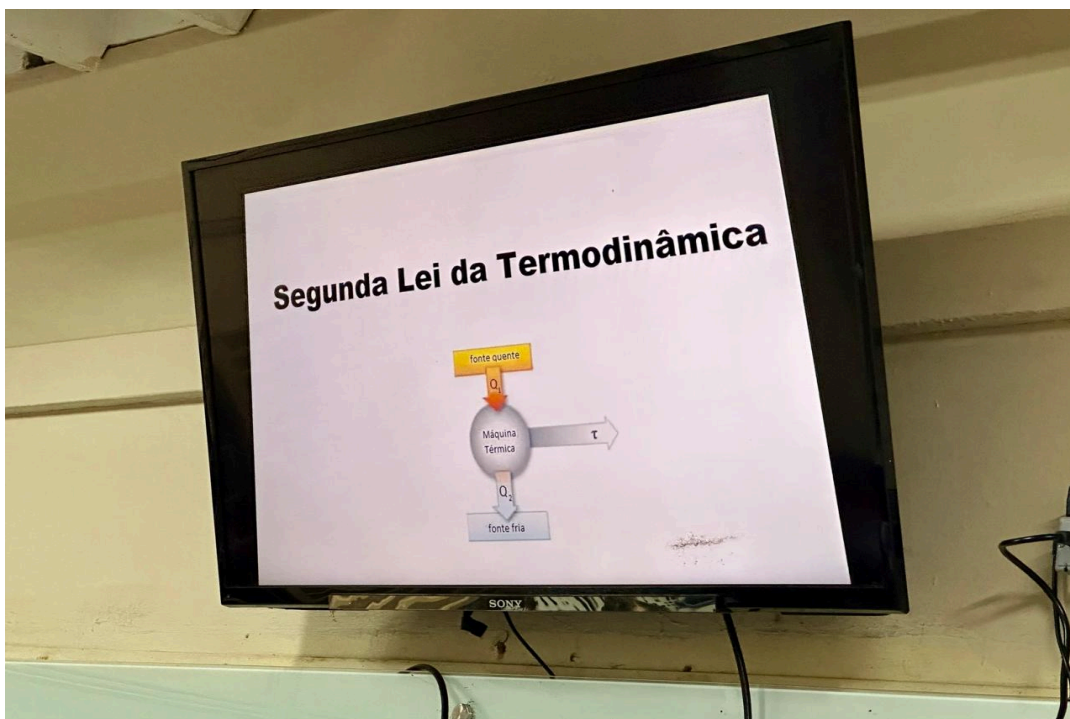


Figura APB2: Exibição dos vídeos dirigidos

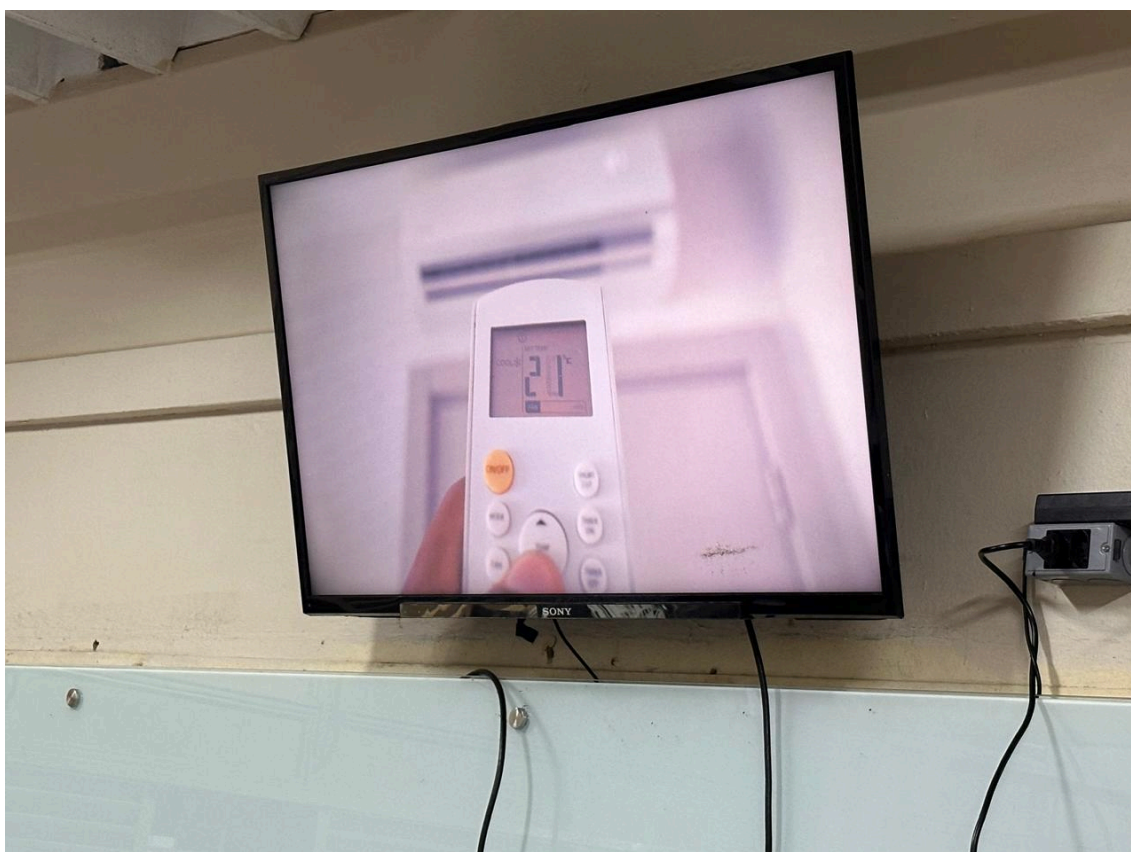


Figura APB3: Exibição dos vídeos dirigidos



Figura APB4: Momento de interação no mapa conceitual



Figura APB5: Momento de interação no jogo



Figura APB6: Momento de interação no jogo

**APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL**



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física





UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
POLO 01

AVENTURA TÉRMICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE  
PROPAGAÇÃO DE CALOR

**PRODUTO EDUCACIONAL**

Sequência Didática

Daniel Lima de Sousa

Fábio Ferreira Monteiro

Alessandra Ferreira Albernaz

Brasília – DF

2025

Daniel Lima de Sousa

## **AVENTURA TÉRMICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE PROPAGAÇÃO DE CALOR**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM SIGNIFICA DOS CONCEITOS DE PROPAGAÇÃO DE CALOR: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM RECURSOS LÚDICOS “AVENTURA TÉRMICA”, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 01 – UnB/Brasília-DF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof<sup>o</sup>. Dr. Fábio Ferreira Monteiro

Coorientadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alessandra Ferreira Albernaz

Brasília – DF  
2025

## **AGRADECIMENTOS**

A todos que, de alguma forma, tornaram este trabalho possível, minha sincera gratidão.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

## Sumário

1 APRESENTAÇÃO	5
2 FUNDAMENTAÇÃO DA PROPOSTA	6
2.1 Alicerce Pedagógico: A Aprendizagem Significativa de Ausubel	7
2.2 Fundamentos da Física: Propagação de Calor	7
3 GUIA DE APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	8
3.1 Passo a Passo da Aplicação	9
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DICAS PARA O PROFESSOR	11
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
6. APÊNDICES	12

## 1 APRESENTAÇÃO

Caro(a) colega professor(a),

Quantas vezes, ao abordar a Termologia, não nos deparamos com o desafio de tornar conceitos abstratos, como os de propagação de calor, em algo palpável e interessante para nossos alunos? Em nossa realidade, marcada por desigualdades onde tecnologias como ar-condicionado ou painéis solares não fazem parte do cotidiano de muitos estudantes, esse desafio é ainda maior.

Foi pensando nisso que foi desenvolvido a “Aventura Térmica”. Este material não é uma fórmula mágica, mas um convite para transformarmos juntos o ensino de Física. Trata-se de uma sequência didática completa e flexível, que combina vídeos, mapas conceituais e, como peça central, um jogo de tabuleiro lúdico e colaborativo. A proposta foi pensada e aplicada em uma turma do 2º ano do Ensino Médio noturno de uma escola pública do Distrito Federal, com estudantes que, em sua maioria, conciliam estudo e trabalho. O resultado foi uma experiência envolvente, que despertou a curiosidade e promoveu uma aprendizagem que se mostrou duradoura.

Este guia foi elaborado para que você possa aplicar, adaptar e reinventar essa proposta em sua sala de aula. A intenção é oferecer um caminho para que o estudo da propagação de calor se torne uma jornada mais leve, significativa e conectada com a realidade dos nossos jovens.

Sinta-se à vontade para explorar e modificar este material. Que a “Aventura Térmica” seja um recurso valioso em sua prática docente!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO DA PROPOSTA**

Para que esta sequência didática seja mais do que apenas uma atividade divertida, ela foi alicerçada em fundamentos teóricos sólidos que explicam por que ela funciona.

### **2.1 Alicerce Pedagógico: A Aprendizagem Significativa de Ausubel**

Diferente da simples memorização (aprendizagem mecânica), a Aprendizagem Significativa, teoria de David Ausubel, acontece quando o aluno consegue conectar uma nova informação a algo que ele já sabe, um conhecimento prévio que funciona como uma “âncora” (o chamado subsunçor). Para que isso ocorra, três condições são essenciais:

- iv. **Material com Lógica:** O conteúdo (vídeo, jogo) precisa ser claro e bem organizado.
- v. **Presença de Âncoras (Subsunçores):** O aluno, precisa ter conhecimentos prévios para conectar o novo saber.
- vi. **Disposição para Aprender:** O aluno, precisa querer fazer essa conexão, e é aqui que o envolvimento se torna crucial.

A presente sequência didática foi desenhada para atender a essas condições e promover a AS usando três princípios de Ausubel:

- i. **Organizadores Prévios:** São “pontes” entre o que o aluno sabe e o que vai aprender. Em nossa proposta, os vídeos introdutórios cumprem essa função, ativando o conhecimento prévio e preparando o terreno para os conceitos mais complexos.
- ii. **Diferenciação Progressiva:** A ideia é ir do geral para o específico. A sequência começa com os vídeos (visão geral) e avança para o jogo, onde os conceitos de condução, convecção e radiação são aplicados e diferenciados em situações específicas.

- iii. **Reconciliação Integradora:** É o processo de esclarecer relações, resolver contradições e integrar as ideias. As discussões durante o jogo e a reconstrução do mapa conceitual ao final são momentos chave para esse processo, ajudando os alunos a organizar e solidificar o conhecimento.

## **2.2 Fundamentos da Física: Propagação de Calor**

O estudo da propagação de calor é essencial e está previsto tanto na BNCC quanto nos currículos regionais. O tema aborda os três mecanismos de transferência de energia térmica:

- **Condução:** Transferência de calor por contato direto, partícula a partícula, sem transporte de matéria. É predominante em sólidos. Metais são bons condutores; madeira e isopor são isolantes.
- **Convecção:** Transferência de calor pelo movimento de um fluido (líquido ou gás). Partes quentes, menos densas, sobem, e as partes frias, mais densas, descem, criando as “correntes de convecção”. É o que acontece ao aquecer água na panela ou na formação de brisas.
- **Radiação:** Transferência de calor por ondas eletromagnéticas, que não precisam de um meio material para se propagar, ocorrendo inclusive no vácuo. É assim que o calor do Sol chega à Terra.

Compreender a fundo esses três processos é o objetivo conceitual desta sequência didática.

## **3 GUIA DE APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Esta seção é o roteiro prático para a aplicação da “*Aventura Térmica*”.

### **Público-alvo:**

Alunos do 2º ano do Ensino Médio.

**Duração total estimada:**

3 aulas de 45-50 min (ou uma aula dupla + uma simples). O tempo é flexível.

**Observação:** Após duas ou mais semanas, reserve 15 minutos de uma aula para aplicação do teste de retenção.

**Pré-requisitos:**

É desejável que os alunos já tenham noções básicas sobre **Calor, Temperatura e Equilíbrio Térmico**. Os vídeos iniciais servem para nivelar e reforçar esses conceitos.

**Materiais Necessários:**

## ii. Recursos Audiovisuais:

- Dispositivo para exibir os vídeos (TV, projetor) com acesso à internet.
- Links dos vídeos:
  - Calor: <https://www.youtube.com/watch?v=yv0sC66Ae10>
  - Temperatura: <https://www.youtube.com/watch?v=CQo0wi1hZNs>
  - Termômetros: <https://www.youtube.com/watch?v=WQB4bNfHBoE>
  - Lei Zero da Termodinâmica: <https://www.youtube.com/watch?v=tMolRWkRZsc>
  - Propagação de Calor: <https://www.youtube.com/watch?v=xlf-BaOHdQY&t=4s>

iii. **Jogo “Aventura Térmica”**

- Tabuleiro, cartas, dados e fichas (conforme descrito nos Apêndices).

iv. **Material para mapa conceitual**

- Quadro de feltro, cartões com conceitos e palavras de ligação, setas de EVA com barbante.

v. **Instrumentos de avaliação impressos**

- Pré-teste, Pós-teste, Teste de Retenção e Questionário de Avaliação (disponíveis nos Apêndices).

### 3.1 Passo a Passo da Aplicação

#### Aula 1

##### Etapa 1: Preparando o Terreno (Aprox. 35 min)

- iii. **Apresentação (5 min):** Apresente os objetivos da atividade aos alunos, explicando que eles participarão de uma sequência com vídeos, mapas e um jogo para estudar a propagação de calor de uma forma diferente.
- iv. **Organizadores Prévios (20 min):** Exiba a sequência de vídeos. Faça breves pausas entre eles para os alunos refletirem. O último vídeo (“Propagação de Calor”) é o mais importante para introduzir o tema central.
- v. **Diagnóstico Inicial (10 min):** Aplique o Pré-teste impresso (Apêndice A). Avise que é um diagnóstico para entender os conhecimentos da turma. Os resultados não são uma “nota”, mas um ponto de partida.

##### Etapa 2: Primeira Organização do Conhecimento (Aprox. 30 min)

- **O que é um Mapa Conceitual? (10 min):** Explique a função de um mapa conceitual. Utilize o mapa modelo sobre “Calor” (disponível no Apêndice) para mostrar como os conceitos se conectam hierarquicamente por meio de palavras de ligação para formar frases com sentido (proposições).
- **Construção Colaborativa (20 min):** Em um grande grupo ou em equipes, peça para a turma construir o primeiro mapa conceitual sobre “Propagação de Calor” usando o quadro de feltro e os cartões. Seu papel aqui é observar, sem intervir diretamente, deixando que eles discutam e organizem as ideias. Fotografe o mapa final para registro. Este mapa revelará o conhecimento compartilhado da turma após a exposição aos vídeos.

#### Aula 2

##### Etapa 3: Introdução ao Jogo (Aprox. 10 min)

- iv. Apresentando a Aventura (5 min): Divida a turma em equipes e apresente o tabuleiro e os componentes do jogo “*Aventura Térmica*”.

- v. Leitura das Regras (5 min): Faça uma leitura conjunta das regras básicas (disponíveis no Manual de Instruções no Apêndice) para garantir que todos entenderam a dinâmica.

#### **Etapa 4: Jogando e Aprendendo (Aprox. 25 min)**

- **Que comece o jogo!** As equipes jogam a “*Aventura Térmica*”.
- **Seu Papel de Mediador:** Este é um momento crucial. Organize as rodadas e controle o tempo (~2 min por resposta). Quando uma equipe errar uma resposta, não apenas diga que está errado. Instigue o debate: “*Por que vocês acham que essa é a resposta? Alguém tem uma ideia diferente?*”. Forneça a explicação conceitual correta após a discussão. Valide as respostas corretas, reforçando o porquê de estarem certas.

### **Aula 3**

#### **Etapa 5: Avaliando e Reorganizando o Conhecimento (Aprox. 20 min)**

- **Pós-teste (10 min):** Ao final do tempo de jogo, aplique o *Pós-teste* impresso (Apêndice A). Este teste possui um nível de complexidade maior, para avaliar a aplicação dos conceitos.
- **Revisitando o Mapa (10 min):** Apresente novamente ou projete a foto do mapa que eles construíram na primeira aula. Pergunte: “*Depois do jogo e das discussões, vocês mudariam algo neste mapa?*”. Promova a discussão e, com a ajuda de um aluno voluntário, reorganize o mapa no quadro de feltro, corrigindo imprecisões e refinando as conexões. Este é o momento da Reconciliação Integradora na prática.

#### **Etapa 6: Fechamento**

*Feedback* da Atividade (10 min): Aplique o Questionário de Avaliação (Apêndice) para colher as percepções dos alunos sobre a sequência. Agradeça a participação e faça uma fala final sobre a importância do tema.

#### **Etapa 7: Avaliação da Retenção (Aprox. 15 min.)**

Teste de Retenção (15 min): Algumas semanas após a intervenção, aplique o *Teste de Retenção* (idêntico ao *pré-teste*) para verificar a permanência do aprendizado.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DICAS PARA O PROFESSOR**

Ao final desta jornada, espera-se que a “*Aventura Térmica*” tenha sido uma ferramenta enriquecedora para o processo de aprendizagem, conforme observado na pesquisa que a originou. Com base na aplicação original, apresentam-se as seguintes considerações:

##### **Flexibilidade**

Os tempos sugeridos são um guia. Recomenda-se adaptar a duração de cada etapa à realidade da turma e ao planejamento docente.

##### **Mediação docente**

A pesquisa evidenciou que o sucesso da atividade depende significativamente da atuação do professor como mediador. Os erros nas respostas devem ser encarados como oportunidades pedagógicas. Sugere-se:

1. Estimular debates com perguntas reflexivas (“*Por que vocês escolheram essa resposta?*”);
2. Construir coletivamente as respostas corretas.

##### **Nível de desafio**

Os alunos da pesquisa consideraram as perguntas equilibradas entre complexidade e viabilidade. Caso a turma apresente dificuldades, recomenda-se:

- Iniciar com maior apoio nas cartas de nível fácil (verdes);
- Aumentar gradualmente a autonomia.

##### **Trabalho Colaborativo**

O aspecto mais valorizado pelos alunos foi a colaboração em equipe. Para potencializá-la:

- Incentivar discussões internas antes da resposta final;
- Manter o foco na aprendizagem colaborativa, mesmo em um jogo competitivo.

### Sugestões de adaptação

- Para outros temas:
  - O modelo pode ser replicado em outros tópicos de Física ou Ciências, mediante criação de novas cartas de perguntas.
- Materiais alternativos:
  - Mapas conceituais podem ser feitos com *post-its* em lousas, cartolinas ou softwares gratuitos (ex: *CmapTools*).
- Versão digital:
  - A criação de uma versão digital do jogo pode ampliar sua aplicabilidade.

### O objetivo final

Este produto educacional visa transformar o ensino de Física em uma experiência significativa e contextualizada. Espera-se que ele contribua para atingir esse propósito em sala de aula.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília, DF: MEC/CONSED/UNDIME, 2018.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Educação do DF. **Currículo em Movimento do Distrito Federal**. Brasília, 2020.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2011.

## **6. APÊNDICES**

Apêndice 1 – *Pré-teste/Retenção e Pós-teste* (instrumentos de diagnóstico e avaliação)

Apêndice 2 – vídeos dirigidos (links e breve descrição)

Apêndice 3 – Mapas Conceituais (exemplo e gabarito)

Apêndice 4 – Jogo “*Aventura Térmica*” (tabuleiro, cartas e manual de regras)

Apêndice 5 – Questionário de Avaliação de Qualidade

**APÊNDICE 1 – PRÉ-TESTE/RETENÇÃO E PÓS-TESTE**

### QUESTIONÁRIO 1

Julgue os itens abaixo, assinalando V para os VERDADEIROS e F para os FALSOS.

Afirmações	V	F
A temperatura é uma grandeza física que mede o grau de agitação térmica das partículas de um sistema.		
Dois objetos em equilíbrio térmico têm a mesma temperatura		
A temperatura de um objeto reflete diretamente a energia cinética média de suas moléculas.		
Calor é a energia térmica em trânsito.		
O calor se move espontaneamente de um corpo mais frio para um corpo mais quente.		
O processo de transferência de calor entre dois corpos sólidos em contato, com diferentes temperaturas, é chamado de condução.		
Materiais metálicos são bons condutores de calor porque permitem que o calor se mova facilmente entre as partículas		
O processo de transferência de calor em líquidos e gases por meio do movimento das partículas é chamado de convecção.		

<p>Ao ligar o ar-condicionado num dia quente, o ar quente desce porque é mais denso do que o ar frio.</p>		
<p>A radiação é a transferência de calor por ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio material.</p>		
<p>Todos os corpos quentes emitem calor por meio de radiação térmica, mesmo sem contato com outros corpos.</p>		
<p>O efeito estufa ocorre quando a atmosfera retém parte da radiação térmica emitida pela Terra.</p>		
<p>A convecção é um dos processos responsáveis pelas correntes de ar e de água que afetam o clima.</p>		
<p>Plástico e madeira são usados em cabos de panela porque são isolantes térmicos.</p>		
<p>Motor de um automóvel transforma calor de queima de combustíveis em trabalho mecânico.</p>		

**QUESTIONÁRIO 2**

Julgue os itens abaixo, assinalando V para os VERDADEIROS e F para os FALSOS.

Afirmações	V	F
Para medir temperaturas construímos termômetros clínicos ou industriais que se baseiam na propriedade dos materiais.		
A temperatura absoluta (Kelvin) de um sistema é diretamente proporcional à energia cinética total de todas as suas partículas.		
Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico, eles possuem a mesma energia interna total.		
Materiais que são bons condutores térmicos transferem calor de forma eficiente.		
Definimos calor como sendo a energia transferida devido às diferenças de temperatura.		
Em uma barra metálica, o calor se propaga pela movimentação das partículas de um extremo ao outro, sem envolver o transporte de massa.		

<p>A condução ocorre em todas as formas de matéria, sólidos, líquidos, gases e plasmas, mas não requer nenhum movimento macroscópico de massa da matéria condutora.</p>		
<p>Durante o processo de convecção em líquidos, as partículas com maior energia tendem a subir, enquanto as partículas com menor energia e mais densas descem, formando correntes de convecção.</p>		
<p>A convecção natural só ocorre em líquidos, enquanto a convecção forçada pode ocorrer tanto em líquidos quanto em gases.</p>		
<p>A radiação é a transferência de calor por ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio material.</p>		
<p>Todos os corpos quentes emitem calor por meio de radiação térmica, mesmo sem contato com outros corpos.</p>		
<p>A diferença de densidade entre o ar quente e o ar frio é a principal causa dos ventos que ocorrem nas regiões litorâneas.</p>		
<p>A convecção é um dos processos responsáveis pelas correntes de ar e de água que afetam o clima.</p>		
<p>Convecção forçada é um processo de transmissão de calor que ocorre quando um agente externo, por exemplo um ventilador ou uma geladeira, força o movimento de um fluido para promover trocas térmicas.</p>		

Motor de um automóvel transforma calor de queima de combustíveis em trabalho mecânico.		
--	--	--

### QUESTIONÁRIO 1 (VERSÃO DO PROFESSOR)

Julgue os itens abaixo, assinalando V para os VERDADEIROS e F para os FALSOS.

Conceitos	Afirmações	V	F
Temperatura	A temperatura é uma grandeza física que mede o grau de agitação térmica das partículas de um sistema.	X	
Temperatura	Dois objetos em equilíbrio térmico têm a mesma temperatura	X	
Temperatura	A temperatura de um objeto reflete diretamente a energia cinética média de suas moléculas.	X	
Calor	Calor é a energia térmica em trânsito.	X	
Calor	O calor se move espontaneamente de um corpo mais frio para um corpo mais quente.		X
Condução	O processo de transferência de calor entre dois corpos sólidos em contato, com diferentes temperaturas, é chamado de condução.	X	
Condução	Materiais metálicos são bons condutores de calor porque permitem que o calor se mova facilmente entre as partículas		X

Convecção	O processo de transferência de calor em líquidos e gases por meio do movimento das partículas é chamado de convecção.	X	
Convecção	Ao ligar o ar-condicionado num dia quente, o ar quente desce porque é mais denso do que o ar frio.		X
Radiação	A radiação é a transferência de calor por ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio material.	X	
Radiação	Todos os corpos quentes emitem calor por meio de radiação térmica, mesmo sem contato com outros corpos.	X	
Fenômenos	O efeito estufa ocorre quando a atmosfera retém parte da radiação térmica emitida pela Terra.	X	
Fenômenos	A convecção é um dos processos responsáveis pelas correntes de ar e de água que afetam o clima.	X	
Tecnologia	Plástico e madeira são usados em cabos de panela porque são isolantes térmicos.	X	
Tecnologia	Motor de um automóvel transforma calor de queima de combustíveis em trabalho mecânico.	X	

## QUESTIONÁRIO 2 (VERSÃO DO PROFESSOR)

Julgue os itens abaixo, assinalando V para os VERDADEIROS e F para os FALSOS.

Conceitos	Afirmações	V	F
Temperatura	Para medir temperaturas construímos termômetros clínicos ou industriais que se baseiam na propriedade dos materiais.	X	
Temperatura	A temperatura absoluta (Kelvin) de um sistema é diretamente proporcional à energia cinética total de todas as suas partículas.	X	
Temperatura	Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico, eles possuem a mesma energia interna total.		X
Calor	Materiais que são bons condutores térmicos transferem calor de forma eficiente.	X	
Calor	Definimos calor como sendo a energia transferida devido às diferenças de temperatura.	X	
Condução	Em uma barra metálica, o calor se propaga pela movimentação das partículas de um extremo ao outro, sem envolver o transporte de massa.	X	

Condução	A condução ocorre em todas as formas de matéria, sólidos, líquidos, gases e plasmas, mas não requer nenhum movimento macroscópico de massa da matéria condutora.	X	
Convecção	Durante o processo de convecção em líquidos, as partículas com maior energia tendem a subir, enquanto as partículas com menor energia e mais densas descem, formando correntes de convecção.	X	
Convecção	A convecção natural só ocorre em líquidos, enquanto a convecção forçada pode ocorrer tanto em líquidos quanto em gases.		X
Radiação	A radiação é a transferência de calor por ondas eletromagnéticas, sem a necessidade de um meio material.	X	
Radiação	Todos os corpos quentes emitem calor por meio de radiação térmica, mesmo sem contato com outros corpos.	X	
Fenômenos	A diferença de densidade entre o ar quente e o ar frio é a principal causa dos ventos que ocorrem nas regiões litorâneas.	X	
Fenômenos	A convecção é um dos processos responsáveis pelas correntes de ar e de água que afetam o clima.	X	

Tecnologia	Convecção forçada é um processo de transmissão de calor que ocorre quando um agente externo, por exemplo um ventilador ou uma geladeira, força o movimento de um fluido para promover trocas térmicas.	X	
Tecnologia	Motor de um automóvel transforma calor de queima de combustíveis em trabalho mecânico.	X	

**APÊNDICE 2 – VÍDEOS DIRIGIDOS**



Figura AP2.1: Vídeo 1 – Calor

<https://www.youtube.com/watch?v=yv0sC66Ae10>



FiguraAP2.2: Vídeo 2 – Temperatura

<https://www.youtube.com/watch?v=CQo0wi1hZNs>

## 3. Termômetros



Figura AP2.3: Vídeo 3 – Termômetros

<https://www.youtube.com/watch?v=WQB4bNfHBoE>

## 4. Lei zero da termodinâmica: conceito

## A Lei Zero da Termodinâmica



Figura AP2.4: Vídeo 4 – Lei Zero da Termodinâmica

<https://www.youtube.com/watch?v=tMolRWkRZsc>

5. Propagação de calor: princípios, fenômenos e aplicações



Figura AP2.5: Vídeo 5 – Propagação de Calor

<https://www.youtube.com/watch?v=xlf-BaOHdQY&t=4s>

**APÊNDICE 3 – MAPA CONCEITUAL**

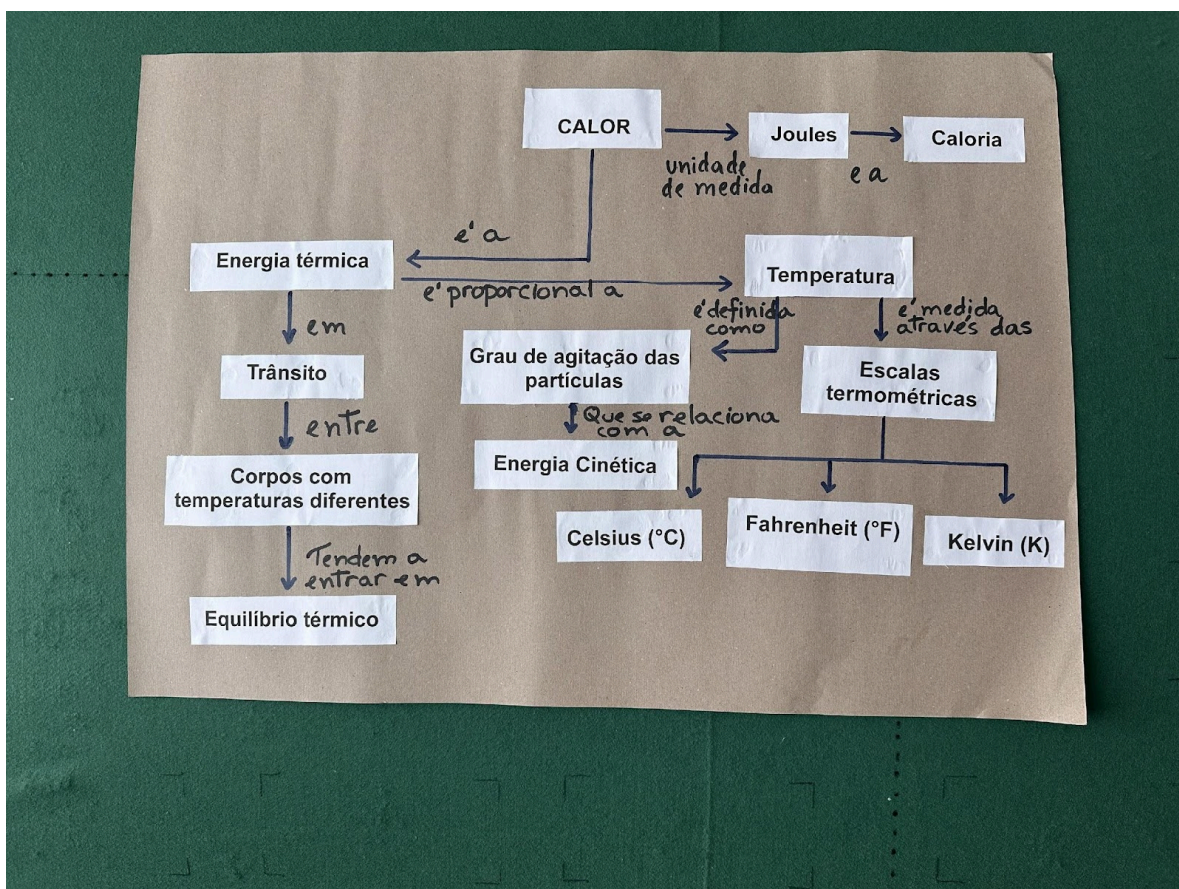


Figura AP3.1: Mapa Conceitual 1- Exemplo de Mapa Calor



Figura AP3.2: Exemplo de ficha linha para ligação do conceitos

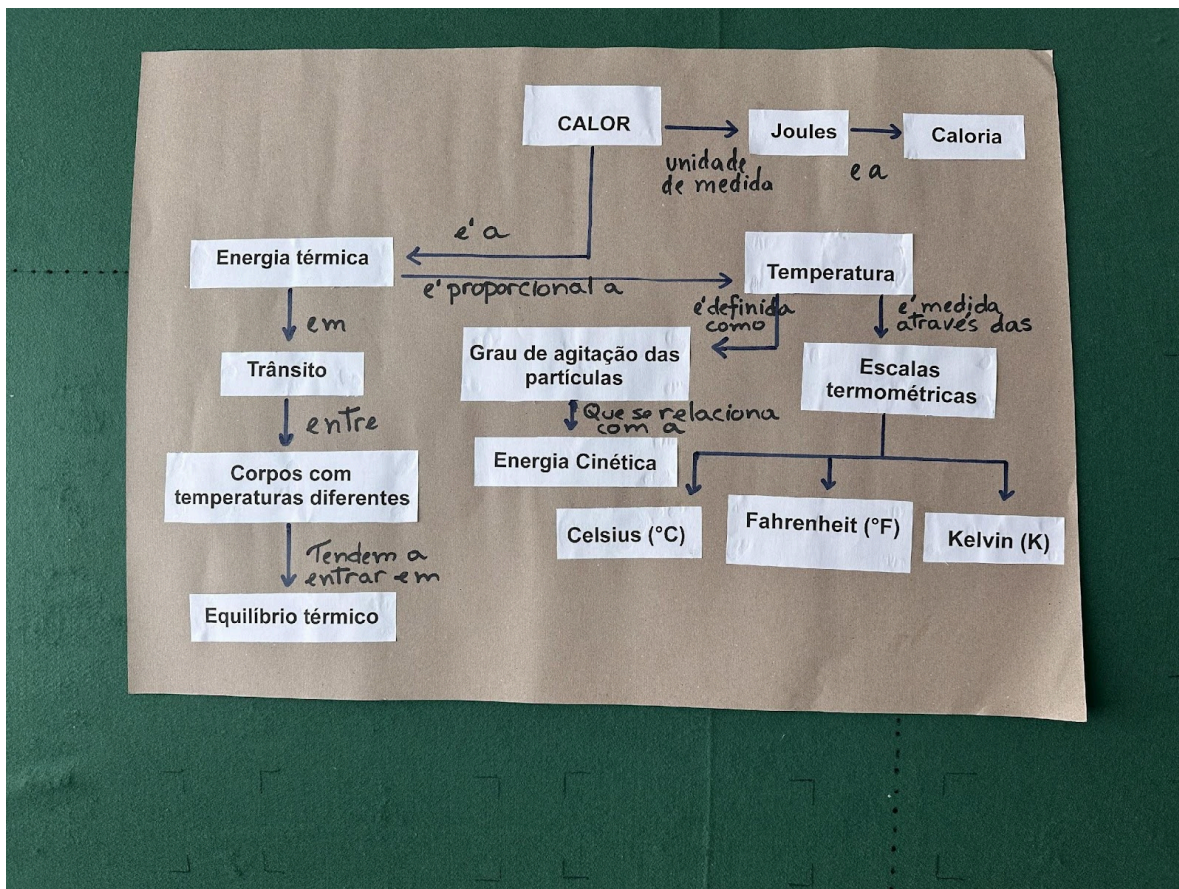


Figura AP3.3: Mapa Conceitual 1- Exemplo de Mapa Calor

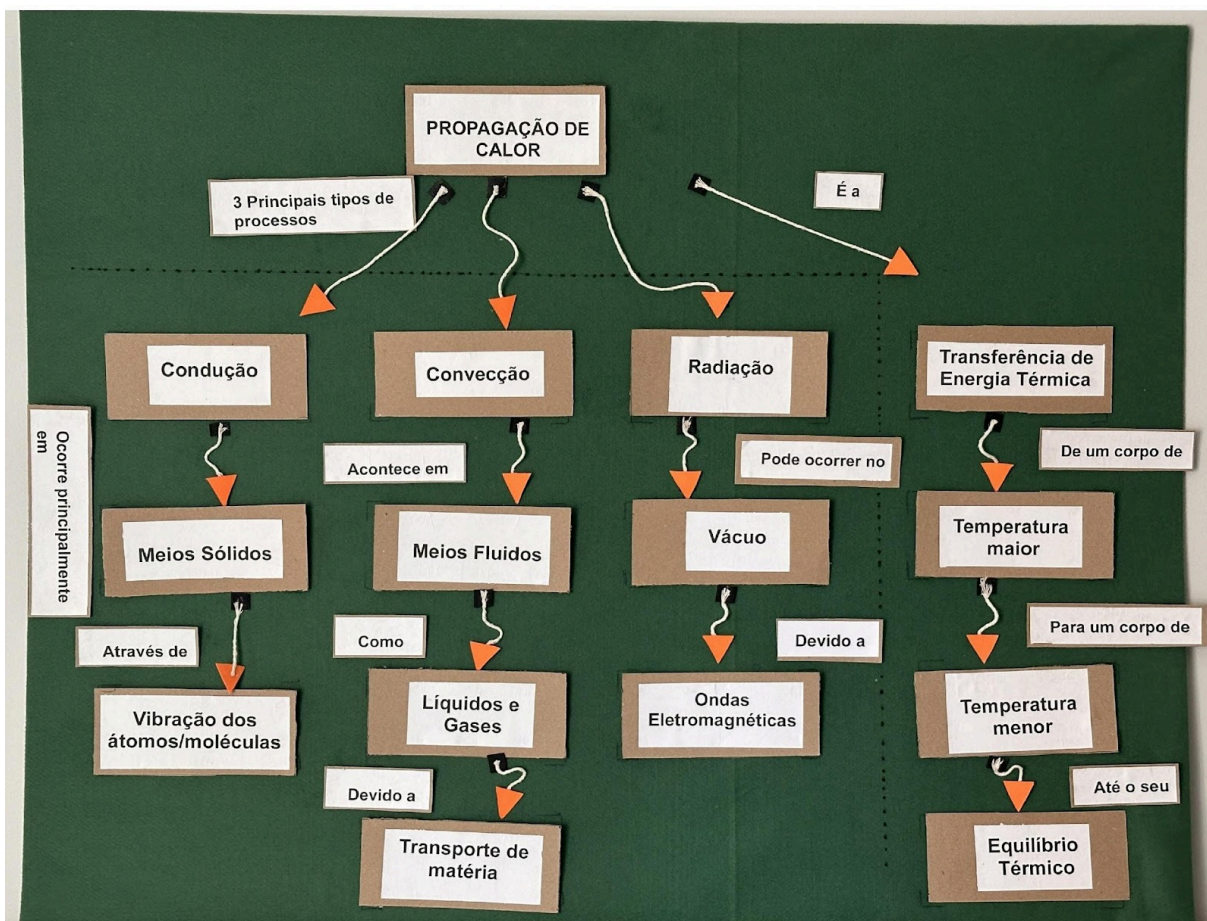


Figura AP3.4: Mapa Conceitual 2 - Gabarito Propagação de Calor

**APÊNDICE 4 – JOGO AVENTURA TÉRMICA**



Figura AP4.1: Tabuleiro do jogo “Aventura Térmica”



Figura AP4.2: Peças do jogo “Aventura Térmica”

**APÊNDICE 5 – MANUAL DO REGRAS DO JOGO**



# AVENTURA TÉRMICA

MANUAL DE INSTRUÇÕES

# COMPONENTES DO JOGO

## Tabuleiro:

Com 55 casas divididas entre perguntas, sorte /revés e desafios de grupo.



## Cartas de Perguntas:

55 cartas (25 verdes, 20 amarelas).



## Cartas de Sorte/Reves:

12 cartas azuis.

## Cartas de Desafio de Grupo



## Fichas de Conhecimento

## Peças de Jogo

Peças coloridas para cada jogador.

## Dados:

Um dado comum de 6 faces.



## Fichas de Conhecimento

50 fichas.



# Casas de Perguntas



**Verde:** Perguntas fáceis. Responder corretamente permite ganhar 1 ficha de conhecimento e avançar 1 casas.



**Amarelo:** Perguntas intermediárias. Responder corretamente permite ganhar 2 fichas de conhecimento e avançar 2 casas.



**Vermelha:** Perguntas difíceis. Responder corretamente permite ganhar 3 fichas de conhecimento e avançar 3 casas.



# Casas de Perguntas



**Laranja** : Perguntas intermediárias.

Responder corretamente permite ganhar 3 fichas de conhecimento e avançar 3 casas.



# Casas de Sorte/Revés

- **Sorte:**

Benefícios variados como ganhar fichas extras ou avançar casas adicionais.



## **Revés:**

Penalidades como perda de fichas ou retrocesso no tabuleiro.

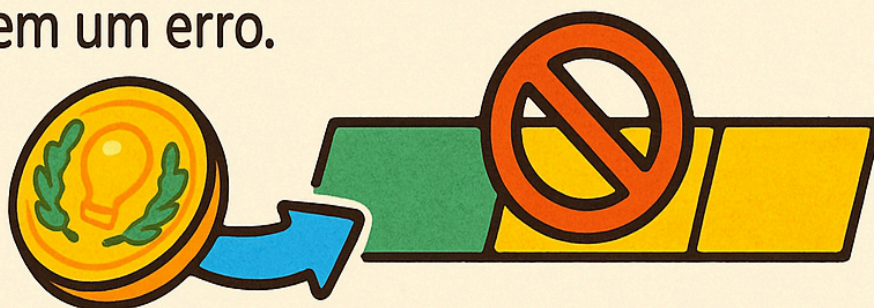


## USO DAS FICHAS DE CONHECIMENTO

- **Avançar Casas Extras:** Gaste 2 fichas de conhecimento para avançar 2 casas extras.

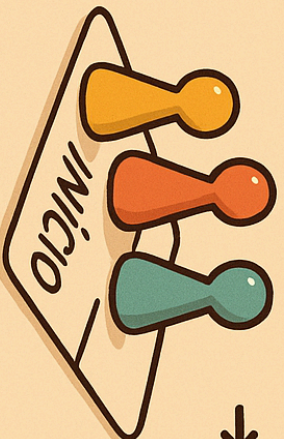


- **Evitar Retrocesso:** Gaste 1 ficha de conhecimento para evitar voltar 1 casa em um erro.



## PREPARAÇÃO DO JOGO

- Cada jogador escolhe uma peça e a coloca na casa "INÍCIO".
- Embaralhe as cartas de perguntas e separe-as por cor: verde, amarela e vermelha. Coloque cada monte no campo correspondente.
- Embaralhe as cartas de desafio de grupo e coloque-as no campo correspondente.



# REGRAS DO JOGO: MOVIMENTO

- › Os jogadores lançam o dado e movem suas peças pelo número de casas indicado.

O tipo de casa em que a peça cai determina a ação a ser realizada



# INÍCIO DO JOGO

- ▶ Decida quem começa o jogo lançando o dado. O jogador com o maior número inicia.



# FINAL DO JOGO

## Chegada ao Fim

O primeiro jogador a chegar à casa “FIM” recebe um bônus de 5 fichas de conhecimento.



O jogo continua até todos os jogadores alcançarem a casa “FIM”.

## Decisão de Vencedor

O vencedor é o jogador com o maior número de fichas de conhecimento acumuladas ao final do jogo.



**APÊNDICE 6 – CARTÕES DO JOGO**

<p>Em um dia de sol, você sente o chão de concreto muito quente ao pisar descalço. Como você explicaria esse aquecimento do chão em relação ao conceito de propagação de calor?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve relacionar a radiação solar com a condução do calor no concreto, discutindo como o material absorve o calor e o transfere para o ambiente e para quem o toca.</p>	<p>Imagine que você está cozinhando e segurando uma colher de metal que está em contato com uma panela quente. Por que a colher esquenta?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve abordar a condução de calor no metal, explicando como o calor passa da panela para a colher e o que isso ensina sobre os materiais condutores.</p>	<p>Quando estamos em uma sala quente e ligamos um ventilador, sentimos alívio mesmo que a temperatura não mude. O que está acontecendo com o ar e o calor nesse caso?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve pensar na movimentação do ar (convecção forçada) e na sensação térmica causada pelo movimento do ar, discutindo como o ventilador redistribui o calor.</p>
---	---	--

<p>Por que as garrafas térmicas, como as usadas para manter o café quente, têm paredes duplas com vácuo e revestimento interno espelhado?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> Relacionar a função da garrafa térmica à minimização da transferência de calor por condução, convecção e radiação, explicando como o vácuo e os materiais espelhados ajudam a preservar a temperatura.</p>	<p>No inverno, é comum usarmos cobertores de lã para nos manter aquecidos. Explique como o cobertor impede que o calor do corpo se perca para o ambiente.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve tratar da capacidade isolante da lã, que retém o calor do corpo e evita a perda de calor por condução para o ambiente mais frio.</p>	<p>Quando colocamos gelo em um copo de suco, com o tempo o suco esfria. Como o gelo consegue transferir frio para o suco ou, na verdade, o que está acontecendo com o calor?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve focar na transferência de calor do suco para o gelo, e não o contrário, discutindo a perda de calor do líquido e o derretimento do gelo.</p>
---	---	--

<p>Você já percebeu que em dias ensolarados, o carro que ficou exposto ao sol fica muito quente por dentro? Qual processo de propagação de calor explica esse aquecimento interno?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> Explicar como a radiação solar atravessa os vidros e aquece os objetos dentro do carro, que reemitem calor, aquecendo o interior.</p>	<p>Quando estamos perto de uma fogueira, conseguimos sentir o calor mesmo sem tocar nas chamas. Qual processo de propagação de calor está acontecendo?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve relacionar essa situação com a radiação térmica, explicando que o calor se propaga por ondas e pode ser sentido à distância.</p>	<p>Em um dia frio, é comum ver as pessoas esfregando as mãos para se aquecer. Como essa ação ajuda a aumentar a temperatura das mãos?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve relacionar o movimento das mãos com a geração de calor por atrito, discutindo como o atrito aumenta a energia térmica nas superfícies em contato.</p>
---	---	--

<p>Ao colocar a mão sobre uma panela quente, você sente o calor sem tocar nela. Que tipo de propagação de calor explica essa sensação?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> Explicar como a radiação térmica é responsável por essa sensação de calor à distância.</p>	<p>Quando estamos em uma rua asfaltada, percebemos que o asfalto aquece muito em um dia de sol, enquanto a grama ao lado não aquece tanto. Por que isso acontece?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> Discutir as diferenças de absorção de calor entre materiais, mostrando que o asfalto, sendo escuro e denso, absorve mais radiação e aquece mais que a grama.</p>	<p>Durante o inverno, as janelas de vidro em uma casa ficam frias ao toque. O que explica essa sensação de frio quando tocamos no vidro?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A questão deve ser respondida relacionando a condução de calor, onde o calor da mão é transferido para o vidro, que é um mau condutor térmico.</p>
<p>Ao aquecer água em uma panela no fogão, a chama aquece a panela e, em seguida, a água começa a esquentar. Explique como o calor é transferido da chama até a água e quais processos de propagação de calor estão envolvidos nessa situação.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> Descrever os processos de condução (transmissão de calor da chama para a panela) e convecção (movimentação do calor dentro da água), explicando como cada um contribui para o aquecimento completo do líquido.</p>	<p>Por que é comum em países muito frios usarem janelas duplas em casas?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O aluno deve explicar como o espaço entre as duas camadas de vidro atua como isolante, reduzindo a condução de calor e mantendo o ambiente interno mais quente.</p>	<p>Em dias de calor, muitas vezes as pessoas usam roupas claras em vez de escuras. Como a cor da roupa influencia a sensação térmica?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve abordar a absorção de radiação, onde roupas claras refletem mais calor, enquanto as escuras absorvem mais calor, tornando o corpo mais quente.</p>
<p>Por que ao sair de um banho quente em um dia frio, rapidamente sentimos frio, mesmo que ainda esteja um pouco de vapor no banheiro?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve discutir a evaporação e a perda de calor do corpo para o ambiente mais frio, explicando como a evaporação da água retira calor do corpo.</p>	<p>Ao cozinhar alimentos no forno, por que o calor parece se espalhar de maneira uniforme, mesmo que os alimentos estejam em diferentes alturas?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve falar sobre convecção, onde o ar quente se move dentro do forno, distribuindo o calor.</p>	<p>Durante uma reforma, você percebe que a parede onde bate o sol fica muito quente. Como você explicaria esse aumento de temperatura?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve relacionar a radiação solar e a absorção de calor pelo material da parede, que aquece e transfere calor para o ambiente.</p>

<p>Quando deixamos um cubo de gelo no ar, ele derrete aos poucos. Explique como o calor do ambiente chega ao gelo e o faz derreter.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve envolver a transferência de calor por condução e convecção, onde o calor do ar ao redor do gelo passa para ele.</p>	<p>Em dias frios, por que sentimos mais conforto ao usar roupas feitas de lã ou de outros tecidos grossos?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar que tecidos como a lã funcionam como isolantes térmicos, ajudando a reter o calor do corpo e impedindo a perda de calor para o ambiente frio.</p>	<p>Ao andar de bicicleta ou moto em alta velocidade, por que sentimos mais frio?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve abordar a convecção forçada, onde o vento retira mais calor do corpo.</p>
--	---	---

<p>Em dias frios, por que a água quente esfria mais devagar em uma garrafa térmica?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve relacionar a estrutura isolante da garrafa térmica, que reduz a transferência de calor por condução, convecção e radiação.</p>	<p>Quando ligamos o chuveiro quente, por que o banheiro fica cheio de vapor?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar o processo de evaporação, onde a água quente do chuveiro se transforma em vapor ao ganhar energia térmica.</p>	<p>Ao abrir a porta do congelador em um dia quente, você percebe que se forma uma névoa branca. O que explica esse fenômeno?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve envolver a condensação, onde o vapor de água do ar quente se resfria ao entrar em contato com o ar frio do congelador.</p>
---	--	--

<p>Quando colocamos gelo em um copo com água, percebemos que o gelo flutua. O que isso nos diz sobre o calor e a densidade do gelo e da água?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve explorar a densidade do gelo (sólido) ser menor que a água líquida e como a temperatura afeta a densidade e a flutuação.</p>		
---	--	--

<p>Você está em uma sala com um aquecedor elétrico ligado. Explique por que o calor gerado pelo aquecedor faz a temperatura da sala aumentar, mas o aquecimento pode não ser uniforme.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir como o calor é transferido inicialmente por radiação e depois por convecção, mas pode haver zonas da sala com diferentes temperaturas, devido à má circulação do ar.</p>	<p>Quando cozinhamos uma sopa, a parte de cima muitas vezes ainda está fria enquanto o fundo já está quente. O que isso nos ensina sobre a convecção do calor em líquidos?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve tratar da convecção natural, onde o líquido quente sobe e o frio desce, mas o calor demora para se distribuir completamente.</p>	<p>Por que quando deixamos uma colher de metal e uma colher de madeira em uma panela de água quente, a colher de metal esquenta mais rapidamente?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar que o metal é um bom condutor térmico, enquanto a madeira é um isolante, dificultando a propagação de calor.</p>
--	--	---

<p>Em muitos edifícios, as paredes são pintadas de branco. Qual a vantagem dessa escolha em relação à absorção de calor?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O estudante deve discutir como cores claras refletem mais radiação solar, ajudando a manter o edifício mais fresco.</p>	<p>Ao acender uma lareira, percebemos que o calor parece se espalhar pela sala, embora as chamas estejam em um ponto fixo. Qual fenômeno explica isso?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve abordar a convecção e a radiação térmica, explicando como o calor se propaga por correntes de ar quente e por radiação para o ambiente.</p>	<p>Um motor de carro aquece bastante após um tempo de uso. Como a queima de combustível gera calor no motor?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir a combustão interna e como a energia química do combustível é transformada em calor e trabalho mecânico.</p>
---	---	--

<p>Por que é importante utilizar materiais com baixa condutividade térmica nas paredes de uma casa em regiões muito frias?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve abordar como materiais isolantes reduzem a perda de calor para o ambiente externo, mantendo a casa aquecida por mais tempo.</p>	<p>Ao sair de uma piscina em um dia ventoso, você sente frio rapidamente. Explique como o vento intensifica a perda de calor do corpo.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve relacionar a convecção forçada e a evaporação da água na pele, que aumenta a taxa de perda de calor corporal.</p>	<p>Você aquece um copo de leite no micro-ondas e nota que partes do leite estão mais quentes do que outras. O que isso nos diz sobre a propagação de calor por radiação?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve discutir como as micro-ondas aquecem o leite de maneira desigual devido à absorção irregular da radiação pelas moléculas.</p>
<p>Quando um prato é retirado do forno e colocado sobre uma mesa de madeira, ele perde calor mais lentamente do que se fosse colocado em uma superfície de metal. Por quê?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve envolver a diferença de condutividade térmica entre o metal (bom condutor) e a madeira (isolante), o que afeta a rapidez com que o prato esfria.</p>	<p>Por que é importante deixar uma pequena abertura em uma panela com tampa ao cozinhar alimentos com líquidos?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve abordar a importância da liberação do vapor, que ajuda a evitar o acúmulo excessivo de pressão dentro da panela.</p>	<p>Você está em uma sala com janelas de vidro em um dia frio. Por que o vidro não consegue manter a temperatura interna tão bem quanto uma parede de alvenaria?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir a capacidade do vidro de conduzir calor mais rapidamente do que a alvenaria, facilitando a perda de calor para o ambiente externo.</p>

<p>Quando deixamos um balde com água quente exposto ao ar frio, ele esfria com o tempo. Explique como o calor da água é transferido para o ambiente.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve incluir a transferência de calor por convecção (do ar ao redor) e radiação térmica.</p>	<p>Por que o calor em uma panela de arroz se distribui de maneira desigual se ela não for mexida durante o cozimento?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve falar sobre a convecção limitada dentro do arroz e a necessidade de mexer para distribuir o calor igualmente.</p>	<p>Quando usamos um aquecedor portátil, por que sentimos o calor de maneira mais intensa nas proximidades do aquecedor, mas ele não aquece igualmente toda a sala?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir como a transferência de calor é mais eficiente por condução e radiação nas proximidades, e como a convecção espalha o calor mais lentamente pela sala.</p>
---	---	--

<p>Por que o alumínio é amplamente utilizado em trocadores de calor, como nos radiadores de carros?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve abordar a alta condutividade térmica do alumínio, que permite uma rápida troca de calor entre o fluido do radiador e o ambiente.</p>	<p>Em um forno convencional, por que é importante que o ar circule para que o alimento asse de maneira uniforme?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir a importância da convecção no forno, que distribui o calor uniformemente ao redor do alimento.</p>	<p>Em um dia ensolarado, o interior de um carro fechado pode ficar extremamente quente. Como esse fenômeno está relacionado ao conceito de efeito estufa?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar como a radiação solar atravessa os vidros e aquece o interior do carro, onde o calor fica preso, elevando a temperatura interna.</p>
---	--	---

<p>Por que usar panelas de fundo grosso ao cozinhar alimentos que precisam de aquecimento uniforme?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve abordar como o fundo grosso distribui melhor o calor por condução, evitando pontos de calor que podem queimar o alimento.</p>	<p>Ao caminhar em um terreno arenoso durante o dia, percebemos que a areia fica extremamente quente. Por que isso acontece tão rapidamente?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar como a areia, sendo um material leve e de cor clara, absorve a radiação solar e aquece rapidamente por condução.</p>	<p>Explique como as trocas de calor em um motor a combustão interna influenciam a eficiência do motor e a dissipação de calor.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar como a queima do combustível gera calor, e parte desse calor é convertido em trabalho mecânico, enquanto o restante é dissipado para evitar o superaquecimento do motor.</p>
--	---	--

<p>Explique como um sistema de ar-condicionado utiliza o conceito de calor latente para resfriar o ambiente e ao mesmo tempo controlar a umidade.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A explicação deve abordar o processo de evaporação e condensação do fluido refrigerante. Ao evaporar, o fluido absorve o calor latente do ambiente, removendo o calor e reduzindo a umidade.</p>	<p>Quando aquecemos uma peça de metal, ela se expande. Como essa expansão está relacionada ao aumento da energia interna e à propagação de calor?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve abordar como o aumento da energia cinética das partículas internas do metal causa uma expansão térmica, já que o calor provoca uma maior agitação das moléculas.</p>	<p>Por que o calor de uma chama é transferido mais rapidamente para uma panela de alumínio do que para uma panela de aço inoxidável?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir a diferença de condutividade térmica entre o alumínio (bom condutor) e o aço inoxidável (pior condutor), resultando em uma transferência de calor mais rápida no alumínio.</p>
---	---	--

<p>Nos sistemas de resfriamento industrial, como as torres de resfriamento dissipam calor utilizando água?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve abordar o uso da água como meio para absorver e liberar calor, explicando como a alta capacidade térmica da água ajuda a retirar calor dos sistemas e dissipá-lo através da evaporação e convecção.</p>	<p>Como o isolamento térmico utilizado em edifícios pode reduzir significativamente o consumo de energia em climas extremos?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar como o isolamento térmico evita a transferência de calor para o ambiente externo no inverno e impede a entrada de calor no verão, reduzindo a necessidade de aquecimento e ar-condicionado.</p>	<p>Explique como a propagação de calor em um fogão de indução é diferente de um fogão a gás.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir o conceito de indução magnética, onde correntes elétricas geram calor diretamente na panela, diferentemente do fogão a gás que transfere calor através da chama por condução e convecção.</p>
--	---	---

<p>Por que, ao subir uma montanha, percebemos que a temperatura diminui, mesmo que a radiação solar esteja presente?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve discutir devido a menor densidade do ar em grandes altitudes, reduz sua capacidade de absorver e reter calor, além da influência da pressão atmosférica reduzida.</p>	<p>Explique como os painéis solares térmicos utilizam a radiação solar para aquecer a água.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O jogador deve explicar que os painéis solares captam a radiação solar e transferem esse calor para tubos cheios de água ou outro fluido, aquecendo-os por condução e convecção.</p>	<p>Por que a propagação de calor por radiação é essencial para o aquecimento da Terra pelo Sol, e como a atmosfera interfere nesse processo?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve abordar a radiação solar que atravessa a atmosfera e aquece a Terra. Parte desse calor é refletida de volta pela atmosfera, criando o efeito estufa, que mantém a Terra aquecida.</p>
--	---	---

<b>Sorte</b>	<b>Sorte</b>	<b>Sorte</b>
Você encontrou um atalho no caminho e descobriu novos conhecimentos!	Sua compreensão sobre termodinâmica te levou adiante rapidamente.	Você encontrou um livro explicando tudo de forma clara e simples!
Ganhe 2 fichas de conhecimento extras e avance 2 casas.	Avance 4 casas e ganhe 1 ficha de conhecimento.	Troque uma pergunta difícil por uma fácil.

<b>Sorte</b>	<b>Sorte</b>	<b>Sorte</b>
Você participou de um seminário e aprendeu muito sobre a propagação de calor.	Sua intuição e sorte te guiaram para frente no jogo.	Você ganhou uma dica preciosa de um especialista em termodinâmica.
Ganhe 3 fichas de conhecimento extras.	Avance 3 casas extras e ganhe 1 ficha de conhecimento.	Escolha uma carta de qualquer cor sem penalidades.

<b>Sorte</b>	<b>Revés</b>	<b>Revés</b>
Você teve um insight brilhante que te fez avançar no jogo.	Você encontrou uma explicação confusa que te fez retroceder.	Um erro de cálculo te fez perder terreno no jogo.
Ganhe 1 ficha de conhecimento e avance para o próximo espaço de sua escolha.	Perca 2 fichas de conhecimento e volte 2 casas.	Volte 3 casas e perca 1 ficha de conhecimento.

<b>Revés</b>	<b>Revés</b>	<b>Revés</b>
Você ficou preso em um conceito complicado e precisa de tempo para entender.	Você subestimou um problema que se revelou mais complexo do que parecia.	Um contratempo inesperado te fez retroceder no caminho do aprendizado.
Perda 1 ficha de conhecimento e fique sem jogar na próxima rodada.	Troque uma pergunta fácil por uma difícil.	Volte 4 casas.

<p>Você está em uma sala quente e decide abrir as janelas e ligar um ventilador. Explique, em grupo, como a circulação do ar ajuda a reduzir a sensação de calor, mesmo sem mudar a temperatura real da sala.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O grupo deve discutir como a convecção e a movimentação do ar pelo ventilador facilitam a evaporação do suor e redistribuem o calor, diminuindo a sensação térmica.</p>	<p>Explique, em grupo, como a convecção e a condução ocorrem simultaneamente em uma panela com sopa sendo aquecida no fogão.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> A resposta deve combinar a condução do calor da chama para a panela e a convecção dentro da sopa, que promove a movimentação do líquido quente e frio.</p>	<p>Um grupo de cientistas está desenvolvendo um novo material isolante térmico para edifícios em climas quentes. Discutam que propriedades esse material deve ter para ser eficiente na redução da transferência de calor.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O grupo deve discutir a baixa condutividade térmica do material, sua capacidade de refletir radiação solar e suas propriedades que evitam a convecção do calor.</p>
--	--	---

<p>Um grupo de engenheiros está criando um sistema de resfriamento eficiente para uma fábrica. Eles precisam decidir entre usar água ou ar como meio de troca de calor. Discutam as vantagens e desvantagens de cada meio.</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O grupo deve comparar a capacidade térmica da água com a do ar, abordando a eficiência de cada um na absorção e liberação de calor, bem como o custo e os desafios técnicos de cada opção.</p>	<p>Imagine que vocês estão em uma sala com um aquecedor elétrico em uma ponta e um ventilador na outra. Como seria possível distribuir o calor de forma eficiente para aquecer a sala uniformemente?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O grupo deve discutir o papel da convecção forçada (ventilador) na movimentação do ar quente gerado pelo aquecedor, promovendo a distribuição homogênea do calor.</p>	<p>Uma equipe está planejando um sistema de aquecimento para uma casa em uma região fria. Eles querem garantir que o calor seja bem distribuído por todos os cômodos. Como poderiam usar o conceito de radiação, condução e convecção para maximizar a eficiência do sistema?</p> <p><b>Ponto de reflexão:</b> O grupo deve discutir o uso de radiadores, isolamento adequado nas paredes para reduzir a perda de calor por condução, e a importância da circulação do ar quente para manter a temperatura homogênea em toda a casa.</p>
--	---	--

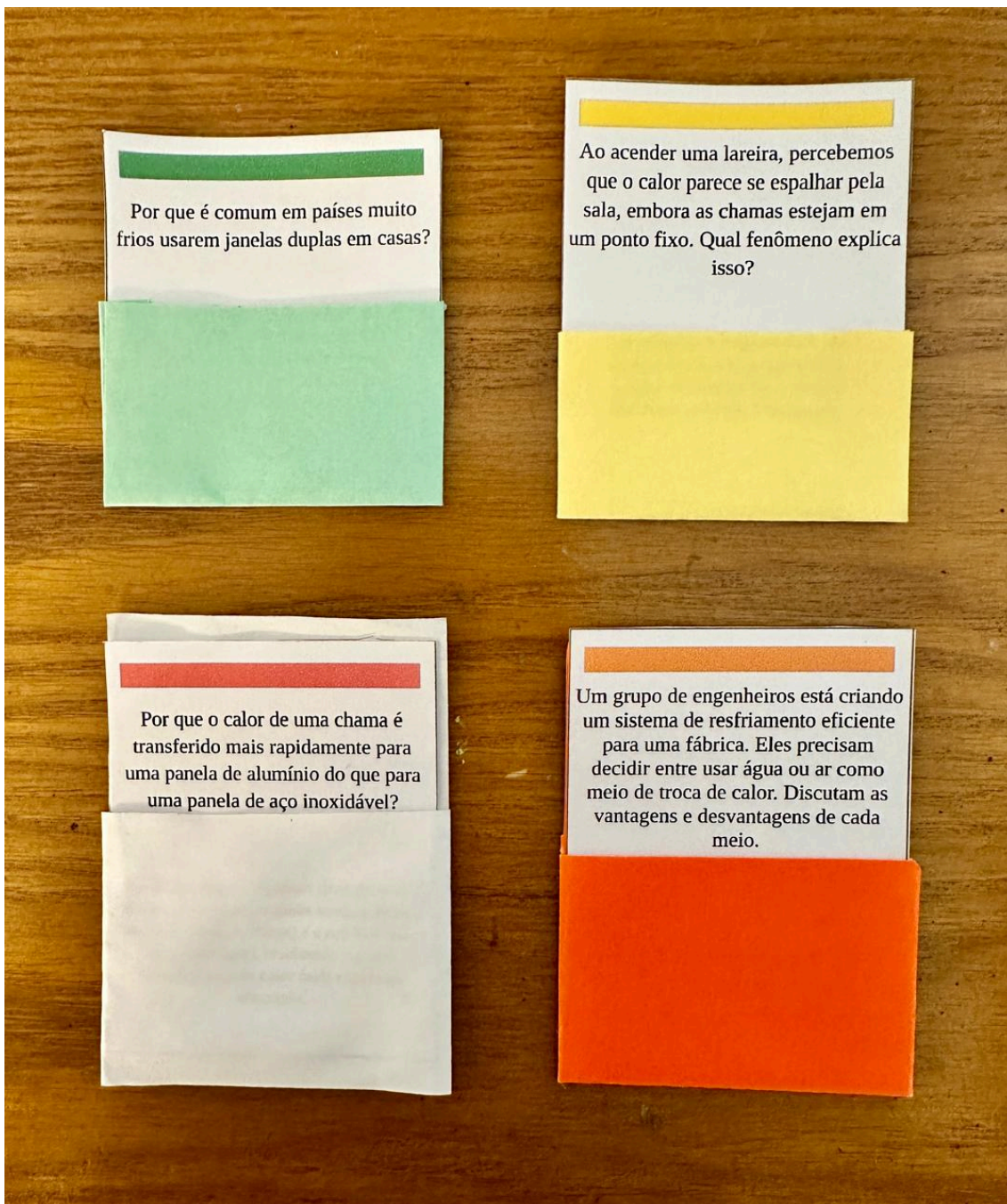


Figura AP6.1: Construção dos envelopes dos cards

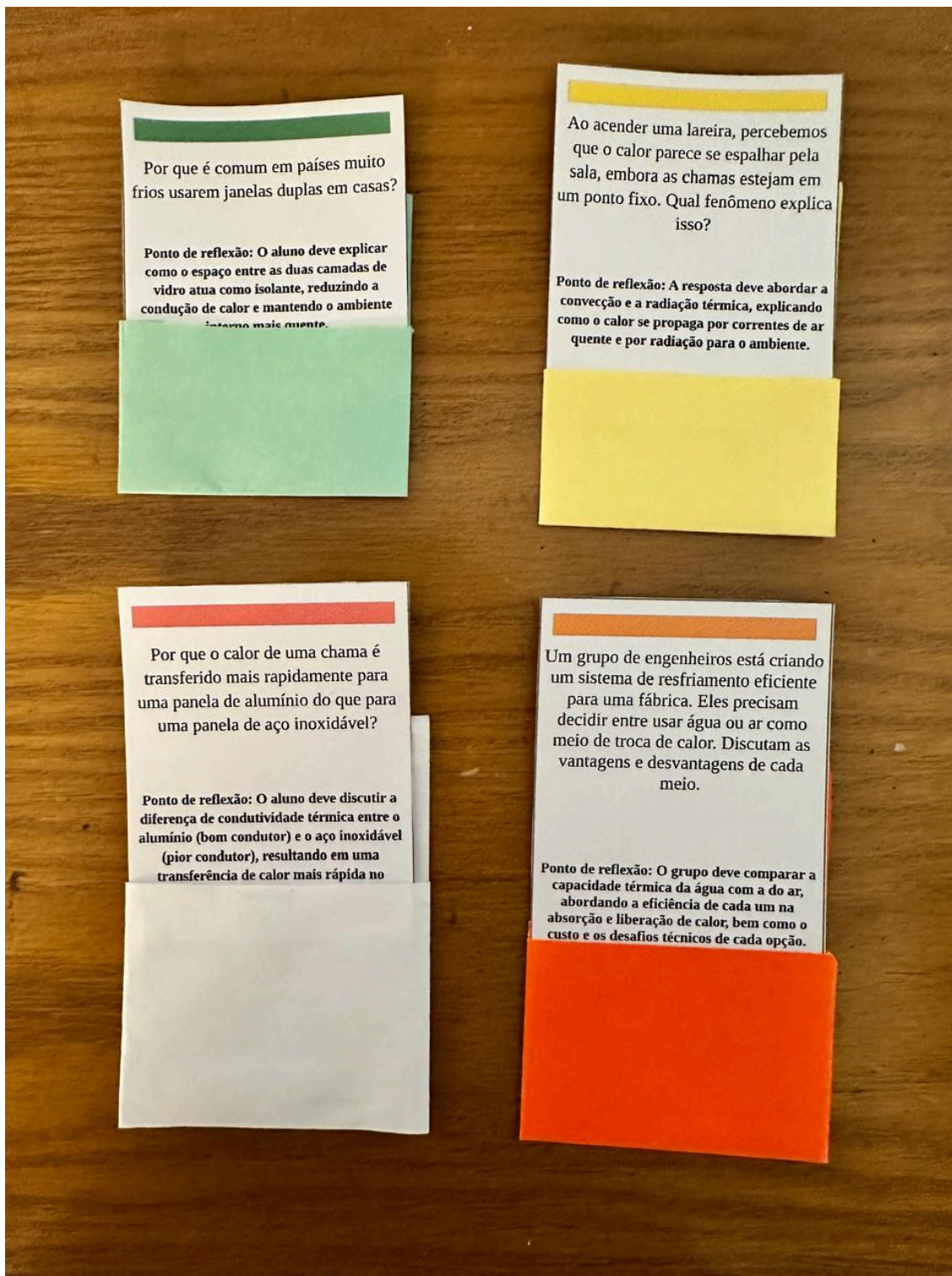


Figura AP6.2: Construção dos envelopes dos cards

**APÊNDICE 7 – AVALIAÇÃO DE QUALIDADE**

Instruções: Leia atentamente cada uma das questões e marque a alternativa que melhor representa sua opinião. Ao final, escreva seus comentários e sugestões para melhorar o jogo.

1. O jogo ajudou a reforçar o meu aprendizado sobre os conceitos de propagação de calor.
  - Muito eficaz
  - Eficaz
  - Pouco eficaz
  - Não foi eficaz
2. O jogo foi envolvente e divertido de jogar.
  - Muito envolvente e divertido
  - Envolvente e divertido
  - Pouco envolvente
  - Não foi envolvente
3. As perguntas do jogo foram claras e bem elaboradas.
  - Todas as perguntas foram muito claras
  - A maioria das perguntas foi clara
  - Poucas perguntas foram claras
  - As perguntas não foram claras
4. O nível de dificuldade das perguntas foi muito alto.
  - Muito fácil
  - Fácil
  - Difícil
  - Muito difícil
5. O jogo ajudou a trabalhar em equipe e colaborar com meus colegas.
  - Sim, muito
  - Sim, em parte
  - Não ajudou
  - Não joguei em equipe
6. O tempo dedicado ao jogo foi suficiente.
  - Mais do que suficiente
  - Suficiente
  - Um pouco curto
  - Muito curto
7. O jogo permitiu que eu aplicasse os conceitos de propagação de calor em situações práticas e fenômenos reais.
  - Sim, de maneira excelente
  - Sim, de maneira adequada
  - Pouco
  - Não
8. A mediação do professor durante o jogo foi útil para esclarecer dúvidas e aprofundar os conceitos.
  - Muito útil
  - Útil

- Pouco útil
- Não foi útil

9. O jogo pode ser utilizado em outras disciplinas para reforçar o aprendizado?

- Sim, certamente
- Sim, com algumas adaptações
- Pouco
- Não

## **Parte 2: Perguntas Abertas**

10. O que você mais gostou no jogo de tabuleiro “Aventura Térmica”?

11. O que você achou mais difícil ou desafiador durante o jogo?

12. O que você mudaria ou sugeriria para melhorar o jogo?