



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA - SBF

UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI - URCA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CCT

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 31

CICERO IVANILTON SILVA SANTOS

**UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA NOS 3 MP USANDO SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL (O ALGODOO) PARA APOIAR O ESTUDO DOS
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS EM UMA PERSPECTIVA
PROBLEMATIZADORA**

JUAZEIRO DO NORTE

2025

CICERO IVANILTON SILVA SANTOS

**UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA NOS 3 MP USANDO SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL (O ALGODOO) PARA APOIAR O ESTUDO DOS
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS EM UMA PERSPECTIVA
PROBLEMATIZADORA**

Dissertação apresentada à Universidade Regional do Cariri-URCA, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração em Ensino de Física, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Arcenio dos Santos Lourenço
Coorientador: Prof. Dr. Jamil Saad

JUAZEIRO DO NORTE

2025

FICHA CATALOGRAFICA

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema
de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

Santos, Cicero Ivanilton Silva

S237uu UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA NOS 3 MP USANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (O ALGODOO) PARA APOIAR O ESTUDO DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS EM UMA PERSPECTIVA PROBLEMATIZADORA / Cicero Ivanilton Silva Santos. Juazeiro do Norte - CE, 2025.

102p. il.

Trabalho de Conclusão. Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof. Dr. José Arcenio dos Santos Lourenço

Coorientador(a): Prof. Dr. Jamil Saad

1.Algodoo, 2.Tecnologia na Educação, 3.Pierre Levy, 4.Três Momentos Pedagógicos; I.Título.

CDD: 621

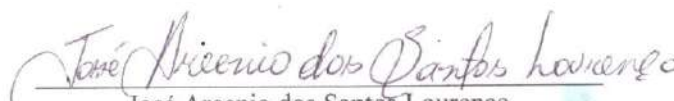
CICERO IVANILTON SILVA SANTOS

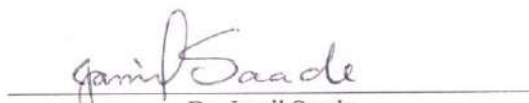
**UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA NOS 3 MP USANDO SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL (O ALGODOO) PARA APOIAR O ESTUDO DOS
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS EM UMA PERSPECTIVA
PROBLEMATIZADORA**

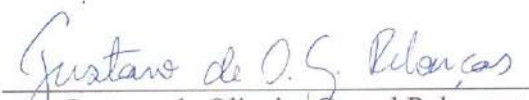
Dissertação apresentada à Universidade Regional do Cariri – URCA/ Polo - 31, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração em Ensino de Física, para obtenção do título de mestre.


Aprovada em 22 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA


José Arcenio dos Santos Lourenço
(Orientador - URCA)


Dr. Jamil Saade
(Coorientador - URCA)


Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças
(Membro Externo – UFERSA)


Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas
(Membro Interno - URCA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada esposa
Missilene Lôbo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a Deus, pela luz, força e direção que me permitiram chegar até aqui. Sua presença constante foi minha fonte de inspiração, e sem Seu auxílio, este momento de conquista não seria possível.

Agradeço imensamente à minha esposa, que sempre foi meu alicerce, oferecendo apoio incondicional, compreensão e paciência ao longo dessa jornada. Seu amor e dedicação foram fundamentais para que eu conseguisse focar nos estudos e seguir em frente nos momentos mais difíceis. Sou eternamente grato por sua parceria incansável.

Minha gratidão também à minha mãe e meu falecido pai, que sempre acreditou em mim e esteve ao meu lado com amor, força e dedicação. Seus ensinamentos e sacrifícios moldaram minha trajetória e foram essenciais para que eu nunca desistisse, mesmo nas adversidades.

Aos meus familiares: irmãos, sobrinhos, cunhada e sogros, agradeço a alegria e equilíbrio que trouxeram à minha vida. Suas palavras de incentivo e os momentos de descontração ajudaram a suavizar a caminhada, tornando-a mais leve e significativa. Sou grato pelo amor e pelas risadas compartilhadas ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador, agradeço profundamente pela paciência, orientação e pelo conhecimento compartilhado. Sua sabedoria foi indispensável para o desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para que eu alcançasse este objetivo.

Aos meus amigos e colegas, meu sincero agradecimento pela amizade, pelos ensinamentos mútuos e pelas discussões que tornaram esse percurso mais enriquecedor. O apoio de vocês foi fundamental para me manter motivado e focado, especialmente nos momentos em que a jornada parecia desafiadora.

Este momento é resultado do esforço constante e da determinação de nunca desistir. Sou grato por ter acreditado em mim e por ter dado o melhor de mim em cada etapa dessa caminhada. A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, minha eterna gratidão.

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

EPÍGRAFE

" Até aqui nos ajudou o Senhor."

1 Samuel 7:12

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta didática para o ensino de Fenômenos Ondulatórios no Ensino Médio, articulando uma Sequência de Ensino baseada na abordagem dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) com o uso do software de simulação *Algodo*. A pesquisa, fundamentada no referencial teórico de Pierre Lévy, foi motivada pela necessidade de promover uma aprendizagem ativa, superando a percepção abstrata da Física. A intervenção pedagógica foi realizada com alunos do 2º ano do Ensino Médio em Juazeiro do Norte, Ceará, ao longo de seis semanas, utilizando ciclos de Problematização, Organização e Aplicação do Conhecimento. A análise comparativa de questionários revelou uma evolução conceitual significativa: os alunos, que inicialmente partiam do senso comum, passaram a articular conceitos complexos como refração, difração e interferência para explicar fenômenos cotidianos. Os resultados indicam que a união da pedagogia crítica com a tecnologia interativa foi eficaz para desenvolver não apenas o conhecimento de conteúdos, mas também a autonomia e o pensamento crítico dos estudantes.

Palavras chaves: Algodo. Tecnologia na Educação. Pierre Levy. .

ABSTRACT

This work presents a didactic proposal for the teaching of Wave Phenomena in High School, articulating a teaching sequence based on the Three Pedagogical Moments (3MP) approach with the use of the Algodoo simulation software. The research, based on the theoretical framework of Pierre Lévy, was motivated by the need to promote active learning, overcoming the abstract perception of Physics. The pedagogical intervention was carried out with 2nd-year High School students in Juazeiro do Norte, Ceará, over a period of six weeks, utilizing cycles of Problematization, Organization, and Application of Knowledge. The comparative analysis of questionnaires revealed a significant conceptual evolution: the students, who initially started from common sense, began to articulate complex concepts such as refraction, diffraction, and interference to explain everyday phenomena. The results indicate that the union of critical pedagogy with interactive technology was effective in developing not only content knowledge but also the students' autonomy and critical thinking.

Keywords: Algodoo. Technology in Education. Pierre Lévy. Three Pedagogical Moments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 A oscilação ocorre na mesma direção da propagação.....	53
Figura 2 A oscilação ocorre perpendicular à direção de propagação.	53
Figura 3: Reflexão, tem sua direção de propagação alterada	58
Figura 4: Refração, uma onda passa de meio de propagação para outro.....	60
Figura 5: Interferência construtiva, quando duas ou mais ondas se encontram e se combinam para formar uma onda resultante com uma amplitude maior do que as ondas individuais	62
Figura 6: Interferência destrutiva, ocorre quando duas ondas se encontram e se combinam de forma que suas amplitudes se anulam, resultando em uma onda resultante com amplitude menor ou nula	63
Figura 7: Interferência construtiva na experiência de Young, ocorre quando duas ondas se sobrepõem de forma que seus picos e vales se alinhem, resultando em uma onda com amplitude maior.....	64
Figura 8: Difração, ao encontrarem um obstáculo ou passarem por uma abertura, se espalham ou contornam esse obstáculo, alterando sua direção de propagação.	65
Figura 9: Polarização, ocorre com ondas transversais, como ondas eletromagnéticas, onde a direção de vibração da onda é restringida a um único plano ou orientação	67
Figura 10: Tela inicial do Algodoo.....	73
Figura 11 : Interface do Algodoo	74
Figura 12 Funcionalidades do Algodoo.....	75
Figura 13: Aplicação do questionário prévio antes do primeiro contato com o conteúdo.	77
Figura 14: Alunos tendo o primeiro contato com o Algodoo.....	78
Figura 15: Simulação produzida pelos alunos de uma equipe A: luz atravessando um prisma.	79
Figura 16: Simulação produzida pelos alunos de uma equipe B: luz atravessando um prisma.	79
Figura 17: Simulação produzida pelos alunos: experimento de young.....	80
Figura 18: Simulação produzida pelos alunos: refração da luz.....	81
Figura 19: Simulação produzida pelos alunos: luz atravessando um prisma.	82
Figura 20: Culminância da eletiva de Fenômenos Ondulatório na mostra de ciências da escola VIII SACC.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proposta de Sequência de Ensino conforme os 3 Momentos Pedagógicos.....	71
Tabela 2 – Sequência de Ensino.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

URCA – Universidade Regional do Cariri

SEDUC/CE – Secretaria de Educação do Estado do Ceará

CREDE – Centro Regional de Educação e Desenvolvimento da Estudantil

MEC – Ministério da Educação e Cultura

PIBID - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência

PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

TDIC - Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

Funcap - Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	21
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.4 A INTELIGÊNCIA HUMANA COLETIVA	22
1.5 TDIC E O ENSINO DE FÍSICA.....	25
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
2.1 TDIC NO ÂMBITO ESCOLAR.....	28
2.2 A INTELIGÊNCIA COLETIVA.....	28
REFERENCIAL METODOLÓGICO	40
3.1 PEDAGOGIA FREIREANA.....	40
3.2 TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.....	42
3.2.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL: DESPERTANDO A CURIOSIDADE E LIGANDO O SABER À VIDA	43
3.2.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO: CONSTRUINDO JUNTOS OS SIGNIFICADOS DA CIÊNCIA	45
3.2.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO: USANDO O SABER DE FORMA CRIATIVA EM NOVAS SITUAÇÕES E AGINDO PARA TRANSFORMAR.....	47
METODOLOGIA	51
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS.....	53
4.1 FENÔMENOS ONDULATÓRIOS.....	53
4.1.1 CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA	54
4.1.2 COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ.....	57
4.1.3 REFLEXÃO	58
4.1.4 REFRAÇÃO.....	60
4.1.5 INTERFERÊNCIA.....	62
4.1.6 DIFRAÇÃO	65
4.1.7 POLARIZAÇÃO.....	66
INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
6.1 SEQUÊNCIAS DE ENSINO BASEADA NOS 3MP PARA FENÔMENOS ONDULATÓRIOS.....	69
6.2 ALGODOO	73
6.3 INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA	76
6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91

REFERÊNCIAS	93
APÊNDICE A	97
APRESENTAÇÃO.....	98
METODOLOGIA.....	99
PRODUTO EDUCACIONAL: SEQUÊNCIA DE ENSINO	100
APÊNDICE C	104
QUESTIONÁRIO: FENÔMENOS ONDULATÓRIOS DA LUZ	104

INTRODUÇÃO

Esta dissertação explora a temática dos Fenômenos Ondulatórios por meio de uma Sequência de Ensino baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP). A pesquisa se fundamenta em aspectos das tecnologias digitais da informação e comunicação, alinhando-se com concepções de ensino participativo em uma perspectiva problematizadora. A estrutura da investigação vai além da simples exposição do conteúdo físico, buscando engajar os alunos em um processo de aprendizagem ativa. Para isso, utilizam-se objetos de aprendizagem, como o software *Algodo*, que proporcionam experiências sensoriais e interativas, favorecendo uma conexão maior com o tema abordado.

A metodologia aplicada inclui uma descrição detalhada da intervenção pedagógica, seguida a proposta de pesquisa exploratória, conforme define Gil (2007), ela tem a finalidade de aumentar a familiaridade do pesquisador com um tema, a fim de torná-lo mais explícito ou de fundamentar a construção de hipóteses, a pesquisa exploratória é aquela que tem por objetivo principal proporcionar familiaridade com um problema, buscando torná-lo mais explícito ou permitindo a construção de hipóteses, baseado nisso este trabalho propõe contribuições para o avanço do Ensino de Física em ambientes escolares, ressaltando a integração de conteúdos científicos com estratégias pedagógicas contemporâneas. Além de uma reflexão crítica sobre a prática docente, impulsionando transformações que podem beneficiar tanto educadores quanto alunos. Essa investigação serve para instigar debates mais amplos sobre a incorporação de tecnologias interativas no ensino de ciências, com o intuito de tornar a aprendizagem mais dinâmica e envolvente.

Vivemos na era dos nativos digitais, termo adotado por Palfrey e Gasser em seu livro "Nascidos na Era Digital: Entendendo a Primeira Geração de Nativos Digitais". Esta expressão faz referência àqueles que nasceram após os anos 80. Já os que não nasceram nessa época, mas utilizam ferramentas tecnológicas no seu dia a dia, são chamados por Prensky (2001) de imigrantes digitais. Segundo Prensky (2001), muitos imigrantes digitais, particularmente alguns professores, não acreditam que os alunos nativos digitais possam aprender enquanto utilizam ferramentas digitais. Isso ocorre porque esses docentes não praticam ou não possuem as habilidades necessárias, como, por exemplo, o uso de simuladores virtuais para realizar

experimentos de Física, como o PhET (Physics Education Technology Project) desenvolvido pela Universidade do Colorado.

A utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na educação ainda é motivo de discussão, principalmente entre profissionais que não dominam essas ferramentas (BARBOSA et al., 2020). Muitos docentes ainda resistem à incorporação dessas tecnologias nas práticas pedagógicas, seja por falta de formação, seja por receios quanto à eficácia desses recursos no processo de ensino-aprendizagem. Contudo, diversos estudos e experiências práticas têm demonstrado o potencial das TIC para transformar a educação, tornando-a mais dinâmica e interativa. Ferramentas como simuladores virtuais, aplicativos educacionais, plataformas de ensino a distância e recursos multimídia permitem que os alunos explorem conceitos de forma prática e contextualizada, facilitando a compreensão e a retenção do conhecimento.

No contexto do Ensino de Física, os simuladores têm se mostrado eficazes para a realização de experimentos virtuais, em escolas que não possuem laboratórios, permitindo que os alunos visualizem fenômenos e interajam com os conceitos de forma direta. Esses recursos não apenas complementam as aulas teóricas, mas também estimulam a curiosidade e o interesse dos alunos pela ciência, promovendo uma aprendizagem mais ativa e significativa. A integração das TIC no ensino, segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), pode melhorar a qualidade da educação, auxiliar na formação contínua dos professores e complementar a formação dos que já atuam, através de cursos de capacitação (UNESCO, 2009). Além disso, as TIC oferecem novas possibilidades para o desenvolvimento de metodologias de ensino inovadoras e centradas no aluno, como é o caso das metodologias ativas,¹ que buscam engajar os estudantes no seu próprio processo de aprendizagem.

Portanto, é necessário que os professores se apropriem de tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial e as realidades imersiva e aumentada, e se mantenham atualizados sobre as tendências educacionais que elas impulsionam, como a aprendizagem personalizada e o foco no desenvolvimento de competências. Investir na formação continuada torna-se, assim, essencial, não apenas para dominar as ferramentas, mas para aprender a desenhar jornadas de

¹ Metodologias Ativas são abordagens de ensino que colocam o estudante como protagonista e principal responsável pelo seu processo de aprendizagem.

aprendizagem, utilizar dados para apoiar cada estudante individualmente. É por meio desse aperfeiçoamento que se torna possível enfrentar os desafios da educação contemporânea, proporcionando aos alunos experiências ricas e envolventes, seja através de simulações práticas ou de projetos colaborativos que resolvem problemas reais. Essa transformação digital e pedagógica é corroborada por organizações como a UNESCO, que defende a utilização inteligente das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) como um pilar para uma educação de qualidade, equitativa e alinhada às necessidades do século XXI. Segundo a UNESCO (2009), a integração das tecnologias ao sistema de ensino pode melhorar a qualidade da educação, auxiliar na formação contínua dos professores e complementar a formação dos que já atuam, através de cursos de capacitação.

Na visão de Moran (2000) as aulas tradicionais, baseadas em aulas expositivas (quadro e giz) estão ultrapassadas e necessitam de inovação e tal sensação é sentida por alunos e professores, mas ele afirma que a tecnologia no ensino não é tudo, se o ensino dependesse só da tecnologia, melhores soluções já teriam sido encontradas elas são importantes no processo de inovação, mas não resolvem tudo. No ano de 2019 em Wuhan que é a capital e maior cidade da província de Hubei na China, foi identificado o primeiro caso de um vírus denominado SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19 (STANWAY, 2021). Pessoas infectadas na China foram para outros países e o vírus se espalhou por todo o mundo tornando-se uma calamidade de nível global afetando diversos serviços essenciais, como a saúde, com a sobrecarga de hospitais e UTIs; transporte, com severas restrições à circulação de pessoas; economia, paralisando o comércio e as cadeias de suprimentos; e a educação, com o fechamento global de escolas e universidades. O sistema de educação teve suas aulas interrompidas e retomadas de forma remota para dar continuidade ao ano letivo, por determinação do Ministério da Educação e Cultura (MEC) através da portaria no 343 de 17 de março de 2020 (BRASIL, 2020).

No Brasil, o sistema de educação teve que adotar as aulas remotas através de plataformas digitais como exemplo; Google Suite, Office 365 & Teams, entre outras plataformas para suprir a falta das aulas presenciais. Inicialmente o prazo foi de 30 dias, mas foi renovando-se de acordo com as recomendações no Ministério da Saúde, com o avanço do combate a pandemia algumas cidades adotaram o esquema de ensino híbrido modo de ensino que combina aulas presenciais e remotas através de metodologias ativas (BRASIL, 2020). As ferramentas digitais, que antes eram algo opcional no ensino, tornaram-se, de forma repentina, o próprio ambiente da sala de

aula, o principal canal de comunicação e a única plataforma de avaliação, sendo o único meio de manter as aulas acontecendo de forma remota e emergencial. Nesse contexto, os professores foram forçados a se adaptar aprendendo a usar plataformas de videoconferência do dia para a noite, transformando suas casas em estúdios de gravação improvisados e utilizando aplicativos como o WhatsApp para garantir o mínimo de contato pedagógico.

Juntamente dos alunos, que por sua vez precisaram desenvolver autonomia e novas rotinas de estudo em ambientes muitas vezes inadequados e com acesso precário à tecnologia, mesmo não possuindo formação complementar sobre elas (MOREIRA; HENRIQUES; BARROS, 2020). Desse modo, Barbosa et al. (2020) faz uma reflexão sobre a importância de uma preparação para os professores. Com mudanças tão repentinas, fica a dúvida: será mesmo que foi possível mudar o sistema de ensino sem nenhuma preparação prévia e não ter impactos negativos no rendimento dos alunos? Pergunta o mesmo.

Este trabalho tem como finalidade demonstrar que o uso de simuladores pode ser eficaz na educação, especialmente na disciplina de Física, proporcionando uma aprendizagem mais ativa e experimental. Para este trabalho, foi escolhida a sequência dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), proposta por Delizoicov e Angotti (1990) para o Ensino de Física, e o simulador *Algodo* um software gratuito que permite criar simulações de fenômenos físicos em duas dimensões.

O projeto busca incentivar os alunos a construir conhecimentos de forma autônoma, ativa e colaborativa, em vez de se limitarem a escutar passivamente o professor, em consonância com os princípios de Paulo Freire (1974). Os alunos tornam-se protagonistas de sua própria aprendizagem ao explorar e experimentar no ambiente virtual do *Algodo*. A proposta é sistematizar os conceitos adquiridos de modo que os alunos possam compreender e aplicar esses conceitos em diversas situações, articulando teoria e prática por meio do uso do *Algodo* e da metodologia dos 3MP no Ensino de Física.

Pierre Lévy, teórico da informação é o referencial teórico deste trabalho. Lévy é conhecido por suas teorias sobre a cibercultura e a inteligência coletiva, que se referem à capacidade das comunidades virtuais de produzir e compartilhar conhecimento de forma colaborativa e descentralizada. A inteligência coletiva, conceito-chave de Pierre Lévy (1999), pode ser definida como um processo dinâmico de produção do conhecimento. Nessa

perspectiva, o saber é construído de forma colaborativa e se encontra em um fluxo de constante evolução, alimentado pela interação entre os indivíduos.

No contexto educacional, a teoria de Pierre Lévy destaca a importância da utilização das TIC para promover a aprendizagem colaborativa e interativa. O uso do *Algodoos*, por exemplo, permite que os alunos não apenas visualizem e simulem fenômenos físicos, mas também interajam entre si e com o professor, criando um ambiente de aprendizagem dinâmico e participativo. A aplicação das ideias de Lévy no Ensino de Física busca transformar a sala de aula em um espaço de construção coletiva do conhecimento, que promove o compartilhamento de descobertas, a discussão de soluções e a construção conjunta de um entendimento mais profundo dos conceitos.

Este trabalho articula o uso das TICs com a metodologia dos 3MP para demonstrar como a aprendizagem é potencializada por ferramentas tecnológicas. Fundamentada nas teorias de inteligência coletiva de Pierre Lévy, a abordagem proposta fomenta a construção colaborativa do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades críticas e reflexivas, resultando em um saber mais amplo e real.

1.1 OBJETIVO GERAL

1.2 O objetivo desta pesquisa é desenvolver, aplicar e analisar os resultados de uma Sequência de Ensino sobre Fenômenos Ondulatórios. A proposta utiliza o software de simulação *Algodoos* como ferramenta tecnológica central, dentro de uma estrutura metodológica baseada nos 3MP, a fim de promover uma real aprendizagem em alunos do 2º ano do Ensino Médio do 2º Colégio da Polícia Militar Coronel Hervano Macêdo Júnior, na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará.

Para realização do objetivo geral propomos os seguintes objetivos específicos:

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma Sequência de Ensino baseada nos 3MP, utilizando o *Algodoos* como ferramenta de ensino para o estudo de Fenômenos Ondulatórios.

- Criar uma situação-problema que desperte a curiosidade, a reflexão crítica e o diálogo entre os alunos sobre o tema abordado.
- Investigar a eficiência da utilização do *Algodo* como ferramenta educacional.
- Avaliar o desempenho dos alunos ao longo do processo de aprendizagem, identificando dificuldades, ajustando estratégias de ensino e respeitando as necessidades e os ritmos de aprendizagem.

1.4 A INTELIGÊNCIA HUMANA COLETIVA

A teoria proposta por Pierre Lévy em “As Tecnologias da Inteligência” (Lévy, 1998) é de grande relevância para o Ensino de Física, especialmente no contexto do uso de simuladores. O autor aborda a transformação das formas de conhecimento, destacando o impacto das tecnologias cognitivas no modo como os indivíduos pensam, representam e comunicam as informações. Ao aplicar essas ideias ao Ensino de Física, é possível observar como os simuladores de física se alinham ao conceito de ecologia cognitiva, onde as técnicas, as tecnologias e os indivíduos interagem para moldar o pensamento e o conhecimento. Nessa perspectiva, as ferramentas tecnológicas não são vistas como meros instrumentos, mas como "extensões do processo cognitivo", onde as ferramentas tecnológicas funcionam como extensões do processo cognitivo dos alunos.

Lévy (1993) propõe que as tecnologias de informação e comunicação modificam a maneira como os indivíduos acessam, organizam e constroem o conhecimento. No Ensino de Física, os simuladores permitem a visualização de fenômenos que, muitas vezes, são abstratos ou difíceis de observar de forma direta, como as leis do movimento ou a interação de partículas. Esses simuladores não apenas ilustram visualmente os conceitos, mas também oferecem um espaço dinâmico para que os alunos experimentem e manipulem os parâmetros do sistema, criando uma compreensão mais interativa e prática dos conteúdos.

Além disso, o conceito de ecologia cognitiva desenvolvido por Lévy é fundamental para entender como os simuladores funcionam como mediadores no processo de aprendizagem. A tecnologia, ao integrar diferentes formas de representação e interação, cria um ambiente onde os alunos podem construir seu conhecimento de maneira mais ativa e personalizada. Segundo

o autor, as ferramentas cognitivas, como os simuladores, não são neutras, mas estão impregnadas de contextos culturais e sociais que influenciam diretamente a maneira como os alunos se engajam com os conteúdos (Lévy, 1993).

A questão do contexto também desempenha um papel crucial na teoria de Lévy. O autor argumenta que o sentido do conhecimento não é fixo e absoluto, mas depende do contexto e das interações estabelecidas pelos alunos com as informações (Lévy, 1993). Nos simuladores, o contexto é moldado pelas escolhas feitas pelos estudantes. Ao alterar os parâmetros de um experimento simulado, por exemplo, o aluno observa resultados diferentes, o que demonstra como o conhecimento se constrói em uma rede de possibilidades, e não como algo fixo e linear. Essa interatividade oferece, portanto, um campo de experimentação onde os alunos se tornam agentes ativos de sua aprendizagem, em consonância com a proposta de Lévy sobre a importância do contexto na construção do sentido (Lévy, 1993).

Em relação à multimodalidade, comunicação que utiliza múltiplos "modos" ou "meios" para transmitir uma mensagem. Em vez de depender apenas de um formato, como o texto escrito, a comunicação multimodal combina diferentes elementos para criar significado, Lévy também destaca como as novas tecnologias criam possibilidades de comunicação multimodal, integrando diferentes formas de conhecimento, como o visual, o auditivo e o cinestésico. No Ensino de Física, o uso de simuladores proporciona algo similar a essa multimodalidade, pois os alunos interagem com imagens, gráficos, sons e até animações que ajudam a explicar os fenômenos físicos. Essa abordagem multimodal facilita a compreensão de conceitos difíceis de abordar apenas por meio de métodos tradicionais de ensino.

Por fim, o conceito de hipertexto², abordado por Lévy, também se aplica aos simuladores de Física. A ideia de redes interconectadas de conhecimento, onde os elementos não estão dispostos de maneira linear, mas sim como uma rede de possibilidades, pode ser comparada à estrutura de um simulador. Ao interagir com um simulador, os alunos exploram diferentes cenários e variáveis, criando uma rede de conexões e aprendizados que não seguem uma sequência fixa, mas são construídas a partir das interações do próprio aluno (Lévy, 1993).

² O hipertexto é uma estrutura de organização de informações que permite a interconexão de textos por meio de links, possibilitando uma navegação não linear. No contexto educacional, ele facilita a aprendizagem autônoma e a exploração de conteúdos de forma dinâmica, permitindo aos alunos acessarem informações adicionais e aprofundar seus estudos de maneira interativa.

Esse modelo de aprendizado, mais flexível e dinâmico, reflete a proposta de Lévy de uma reorganização das formas de conhecimento, permitindo um aprendizado mais profundo e envolvente.

O *Algodo* é um software de simulação 2D interativo, desenvolvido pela Algoryx Simulation AB, utilizado na educação para explorar conceitos de Física de maneira prática e criativa. Com ferramentas de desenho simples, os usuários podem construir simulações para estudar temas como gravidade, atrito e movimento. Ao permitir que os alunos manipulem parâmetros e experimentem com fenômenos físicos de maneira visual e prática, através da interação com a plataforma, os alunos não apenas observam as leis da física em ação, mas também ajustam variáveis, testam hipóteses e verificam os resultados em tempo real, o que reflete a ideia de Lévy de que o conhecimento é moldado por interações e contextos específicos. Assim, o *Algodo* oferece um espaço de experimentação no qual os conceitos de Física são internalizados de forma mais prática e personalizada.

Além disso, o *Algodo* pode ser visto como uma aplicação moderna do conceito de hipertexto de Lévy, onde o conhecimento não segue uma estrutura linear, mas sim uma rede de interconexões³. Cada ação realizada pelo usuário no simulador, seja ajustando a gravidade ou modificando as propriedades de materiais, gera novos resultados e reflexões, estabelecendo uma rede de significados que vai além do simples aprendizado passivo. Esse aspecto interativo, em que os alunos podem explorar diferentes cenários e resultados, facilita a construção de um entendimento profundo, em consonância com a ideia de Lévy de que o aprendizado é um processo não linear, envolvendo múltiplas possibilidades e interpretações. Dessa forma, o *Algodo* contribui para a democratização do conhecimento e a formação de uma tecnodemocracia⁴, onde a tecnologia é usada para promover uma compreensão mais acessível e envolvente dos fenômenos científicos.

³ As interconexões no contexto educacional referem-se às relações estabelecidas entre diferentes conteúdos, disciplinas e fontes de informação, facilitadas pelas tecnologias digitais. Elas permitem uma aprendizagem mais integrada e colaborativa, onde alunos podem acessar, conectar e aplicar o conhecimento de diversas áreas de forma interativa e dinâmica.

⁴ A tecnodemocracia no ensino refere-se ao uso das tecnologias digitais para democratizar o acesso ao conhecimento, promovendo a participação ativa de alunos e professores e tornando a educação mais acessível e inclusiva.

1.5 TDIC E O ENSINO DE FÍSICA

A teoria de Pierre Lévy, especialmente no que diz respeito à transformação do conhecimento através das tecnologias, oferece uma base teórica sólida para entender a problemática que envolve a dependência excessiva das tecnologias pelos alunos, como o uso indiscriminado de celulares e computadores durante as aulas. Lévy (1993) argumenta que as tecnologias não são intrinsicamente prejudiciais ao processo de aprendizagem, mas, quando mal utilizadas ou mal compreendidas, podem afastar os alunos do foco educacional. Para ele, as TIC estão intrinsecamente ligadas à transformação do pensamento humano, e, se inseridas de maneira estratégica e consciente no ambiente escolar, têm o potencial de promover uma verdadeira revolução na forma como o conhecimento é construído. No entanto, esse processo depende de uma reflexão crítica sobre o uso dessas tecnologias e da criação de um ambiente pedagógico que as integre de forma significativa e relevante para os alunos.

No cenário atual, observa-se que muitos alunos têm se mostrado cada vez mais dependentes das tecnologias, em especial dos celulares e computadores, mas essa dependência nem sempre é utilizada de maneira produtiva. Muitas vezes, os estudantes acabam utilizando esses dispositivos para distração, o que prejudica seu engajamento nas atividades propostas pelos professores. Em um contexto em que a atenção e o foco dos alunos são frequentemente desafiados pela presença constante dessas tecnologias, muitos educadores se veem em uma posição desconfortável, sem saber como incorporar as TIC de forma eficaz em suas práticas pedagógicas. Lévy (1993) propõe que, ao invés de combater o uso das tecnologias, é fundamental reconhecer seu papel transformador e encontrar formas de integrá-las de maneira estratégica ao processo educacional. Isso não significa renunciar a métodos tradicionais de ensino, mas sim adaptá-los à realidade atual, criando espaços de aprendizagem mais interativos, dinâmicos e colaborativos, onde os alunos possam ser protagonistas de sua própria aprendizagem.

Nesse sentido, o uso de ferramentas como o *Algodoos*, que permite aos alunos simularem fenômenos físicos de maneira interativa e visual, apresenta uma excelente oportunidade para transformar a dependência da tecnologia em uma prática pedagógica produtiva e envolvente. O *Algodoos* não é apenas um simulador de física, mas um ambiente em que os alunos podem, ativamente, construir, testar e observar fenômenos físicos, como os Fenômenos Ondulatórios,

de forma prática e visual. Isso favorece a internalização dos conceitos de maneira significativa, pois a interação com o software permite que o estudante visualize e experimente os efeitos de diferentes variáveis em tempo real, proporcionando um aprendizado mais concreto e aplicável. Em vez de usar o celular para distração, os alunos podem se envolver com a tecnologia de forma construtiva, realizando experimentos virtuais que reforçam os conceitos aprendidos em sala de aula.

A proposta de sequências de ensino baseada nos três momentos pedagógicos introdução, desenvolvimento e consolidação, fundamentada em Lévy, é uma forma eficaz de organizar e potencializar o uso das TIC no Ensino de Física. A introdução deve envolver a apresentação do conceito e o contexto do fenômeno ondulatório a ser estudado, gerando curiosidade e interesse nos alunos. No momento de desenvolvimento, os alunos interagem com o *Algodo*, explorando as variáveis do fenômeno, criando suas próprias simulações e observando os efeitos das mudanças que promovem. Durante essa etapa, o professor atua como mediador, orientando a experimentação e garantindo que as conclusões sejam bem fundamentadas. Por fim, a consolidação permite que os alunos reflitam sobre o que aprenderam, conectando o conhecimento adquirido com situações do cotidiano e outras áreas do conhecimento, o que reforça a aprendizagem e a compreensão profunda.

Essa abordagem não só melhora o entendimento dos alunos sobre fenômenos complexos, como também atende à proposta de Lévy de que as tecnologias devem ser usadas para promover a tecnodemocracia, onde os estudantes se tornam participantes ativos em seu processo de aprendizagem. Além disso, o uso do *Algodo* e outras ferramentas digitais no Ensino de Física promove a formação de professores capacitados a utilizar as TDIC, com a confiança necessária para integrar essas tecnologias de forma eficaz. Ao adotar essas ferramentas, os educadores não só melhoram suas práticas pedagógicas, mas também preparam seus alunos para um futuro em que as habilidades digitais serão essenciais, conforme propõe a teoria de Lévy sobre a evolução da sociedade na era digital.

Em conclusão, ao integrar simuladores como o *Algodo* no ensino de Fenômenos Ondulatórios, é possível transformar a dependência dos alunos pelas tecnologias em uma oportunidade pedagógica. Ao invés de restringir o uso de celulares e computadores, os professores podem, com a devida formação, reorientar o uso dessas tecnologias para promover

um aprendizado mais significativo e profundo, alinhado com as ideias de Pierre Lévy sobre a transformação cognitiva e social proporcionada pelas tecnologias. O resultado é um ambiente educacional mais dinâmico e envolvente, onde os alunos não apenas aprendem conceitos científicos, mas também desenvolvem as competências digitais necessárias para o futuro.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e os resultados de uma pesquisa voltada para o Ensino de Física, com foco nos Fenômenos Ondulatórios, utilizando o simulador *Algodo* como recurso didático. Integrada à metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, essa abordagem proporcionou uma Sequência de Ensino estruturada, conectando teoria e prática. A dissertação se inicia, no primeiro capítulo, com a Introdução, que contextualiza o tema e apresenta a problemática, os objetivos e a relevância da pesquisa. O segundo capítulo, a Fundamentação Teórica, explora o papel das TDIC no contexto escolar e sua contribuição para a modernização do processo educativo. Este capítulo se apoia fortemente na perspectiva de Pierre Lévy; suas ideias sobre a cibercultura e a inteligência coletiva oferecem um referencial teórico para compreender como as TDIC podem transformar a dinâmica da aprendizagem. Lévy destaca que o uso da tecnologia deve ir além da simples inserção de ferramentas digitais, propondo uma abordagem que favoreça a construção coletiva do conhecimento e o protagonismo dos alunos. No terceiro capítulo, é detalhada a Sequência de Ensino fundamentada nos 3MP de Demétrio Delizoicov Neto, planejada para conectar o conteúdo teórico à experiência dos estudantes. O quarto capítulo é sobre a Metodologia, será discutido o método de trabalho, descrevendo o tipo e a abordagem da pesquisa exploratória. Quinto capítulo é dedicado ao conteúdo de Fenômenos Ondulatórios. No sexto capítulo dedicado à Intervenção Pedagógica, realizando uma análise detalhada da aplicação prática da sequência com o uso da ferramenta *Algodo* e apresenta os resultados obtidos, evidenciando o excelente desempenho dos alunos e a recepção positiva da ferramenta. Finalmente, no sétimo capítulo, o trabalho é concluído com as Considerações Finais, analisando as contribuições da pesquisa para o Ensino de Física no ensino médio. Ao integrar aspectos teóricos, metodológicos e práticos, esta dissertação evidencia como as ideias de Pierre Lévy e de outros teóricos podem servir de base para transformar o ensino, utilizando a inovação tecnológica e a pedagogia crítica como pilares para enriquecer o aprendizado.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TDIC NO ÂMBITO ESCOLAR

Nos últimos anos, as TDIC têm revolucionado nossas formas de trabalho, comunicação, interação social e aprendizado, desempenhando um papel central (BNCC, 2024). Inicialmente associadas apenas ao uso de computadores, as TDIC atualmente englobam uma ampla gama de recursos tecnológicos, como dispositivos móveis, internet e plataformas digitais (BNCC, 2024).

“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.” (BNCC, 2018)

O sistema educacional contemporâneo enfrenta o desafio de atender a uma população estudantil diversificada e dispersa geograficamente, mantendo a qualidade e a equidade no ensino. Nesse sentido, o uso das TDIC é considerado um instrumento crucial para reduzir desigualdades educacionais e promover a inclusão (BNCC, 2024).

“Nesse contexto, é preciso lembrar que incorporar as tecnologias digitais na educação não se trata de utilizá-las somente como meio ou suporte para promover aprendizagens ou despertar o interesse dos alunos, mas sim de utilizá-las com os alunos para que construam conhecimentos com e sobre o uso dessas TDICs.” (BNCC, 2024)

Entretanto, o impacto positivo dessas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem depende diretamente de sua utilização adequada. Enquanto o uso inadequado pode gerar resultados adversos, a aplicação consciente e planejada pode proporcionar significativas melhorias pedagógicas, potencializando as oportunidades de aprendizagem e a participação ativa dos estudantes (BNCC, 2024).

2.2 A INTELIGÊNCIA COLETIVA

Pierre Lévy, em suas vastas obras, dedica-se a analisar o impacto e a natureza das técnicas e tecnologias na reconfiguração do conhecimento, da cultura e das interações sociais. Em sua obra *O que é o virtual?* (LÉVY, 1996), o autor desvenda como as tecnologias digitais não apenas medeiam, mas transformam nossa compreensão do real, afetando intrinsecamente os processos de conhecer e compartilhar saberes. Já em *A Inteligência Coletiva: Por uma*

antropologia do ciberespaço (LÉVY, 1998), aprofunda-se na maneira como o ciberespaço e as ferramentas digitais potencializam novas formas de cognição e dinâmicas sociais colaborativas, e em *As Tecnologias da Inteligência: O Futuro do Pensamento na Era da Informática* (LÉVY, 1993), investiga a historicidade das ecologias cognitivas.

No pensamento de Pierre Lévy, o termo "técnicas" transcende a mera instrumentalidade, referindo-se aos complexos arranjos e métodos que moldam e são moldados pela inteligência humana. As "tecnologias intelectuais", em particular, são aquelas que "se integram ou substituem funções cognitivas humanas como memória, imaginação, percepção, raciocínio" (LÉVY, 1993, p. 157). Nesse sentido, a proposição de um "espaço do saber" (LÉVY, 1998, p. 120) emerge como uma técnica sociotécnica fundamental para organizar, dinamizar e compartilhar informações e competências na era digital, visando à expansão da inteligência coletiva. Este "espaço do saber" não é um mero repositório, mas um ambiente dinâmico de fluxos informacionais e interações cognitivas, onde o conhecimento é constantemente (re)construído e negociado. Lévy (1993, p. 4) argumenta que "a técnica é uma das dimensões fundamentais onde está em a transformação do mundo humano por ele mesmo", ressaltando a interdependência intrínseca entre o devir humano e as suas ferramentas cognitivas. A técnica, portanto, não é um agente externo que "impacta" a sociedade, mas um componente intrínseco da própria constituição do humano e de suas formas de conhecer e interagir.

A aplicação dessas tecnologias intelectuais no campo educacional, especialmente no ensino de disciplinas como a Física, que frequentemente demanda a visualização de conceitos abstratos e a simulação de fenômenos complexos, representa uma transformação paradigmática. A Física, com seus modelos teóricos e experimentais, encontra nas tecnologias digitais um campo fértil para a reinvenção de suas práticas pedagógicas, movendo-se para dentro desse "espaço do saber" fluido e interconectado. A tradicional separação entre o local de ensino (sala de aula, laboratório) e o mundo "lá fora" desaparece à medida que o ciberespaço permite o acesso ubíquo a informações, simulações e comunidades de aprendizagem.

Lévy (1993, p. 17) introduz a metáfora do hipertexto como um conceito-chave para a compreensão das novas arquiteturas do conhecimento e comunicação possibilitados pelas tecnologias digitais. O hipertexto, com sua estrutura reticular e não linear, permite que o conhecimento seja explorado de forma interativa e associativa. No ensino da Física, isso se

traduz na possibilidade de criar "redes de significação dinâmicas, onde conceitos fundamentais como força, movimento, energia e campo podem ser interconectados através de animações interativas, simulações e laboratórios virtuais" (LÉVY, 1993, p. 22). Tal abordagem oferece ao estudante uma via de acesso mais intuitiva e engajadora às teorias físicas, permitindo a navegação entre diferentes níveis de abstração e suas aplicações concretas. A premissa de Lévy (1993, p. 14) de que "o objetivo de todo texto é o de provocar em seu leitor um certo estado de excitação da grande rede heterogênea de sua memória" ganha especial relevância no contexto da Física. Essa "rede heterogênea" não se limita a conceitos proposicionais; ela engloba imagens mentais, modelos intuitivos, experiências sensório-motoras prévias, e até mesmo conexões afetivas com o tema.

No ensino tradicional, muitas vezes linear e descontextualizado, essa rede pode permanecer subutilizada ou ser ativada de forma fragmentada. O hipertexto, ao contrário, alinha-se à premissa de Lévy (1993) de que a aprendizagem deve ser interativa e associativa. Com sua capacidade de apresentar informações de múltiplas formas (textual, visual, sonora) e de conectar conceitos de maneira flexível, o hipertexto tem o potencial de "excitar" essa rede mnemônica de forma muito mais rica e profunda. A exploração hipertextual de modelos físicos e fenômenos complexos, seja através da manipulação de variáveis em uma simulação, da visualização de campos eletromagnéticos em 3D, ou da navegação por uma narrativa interativa, pode despertar uma multiplicidade de associações, facilitando a ancoragem de novos conhecimentos e promovendo uma compreensão mais significativa. Essa "excitação", como aponta Lévy (1993), não é um mero entretenimento, mas um processo cognitivo fundamental para a construção ativa do sentido, onde o estudante se torna um navegador e construtor de suas próprias trilhas de aprendizagem. O hipertexto, assim, materializa a ideia defendida pelo autor de que o conhecimento não é um objeto a ser transmitido, mas um "espaço a ser percorrido" e reconfigurado pelo aprendiz.

Corroborando essa perspectiva, Lévy (1993, p. 4) destaca que "emerge, neste final do século XX, um conhecimento por simulação que os epistemologistas ainda não inventariaram". Com essa afirmação, o autor aponta que essa nova forma de produzir saber era tão nova que os filósofos da ciência (os epistemologistas) ainda não a haviam estudado, catalogado e incorporado em suas teorias sobre como o conhecimento é validado. Este "conhecimento por simulação", central na cibercultura (LÉVY, 1999), oferece uma ruptura com as metodologias

científicas tradicionais, que por vezes mantinham uma separação estrita entre a teoria e a experimentação prática. A simulação digital, ao contrário, permite uma exploração dinâmica e flexível de múltiplos cenários e possibilidades, tornando-se uma ferramenta poderosa para a investigação e a aprendizagem. Em *Cibercultura* (LÉVY, 1999, p. 165), a simulação é apresentada como um "modo de conhecimento próprio da cibercultura", que "permite aos grupos que compartilhem, negociem e refinem modelos mentais comuns, qualquer que seja a complexidade deles".

O que seria, então, esse "conhecimento por simulação" de forma mais detalhada? Para Lévy, não se trata apenas de uma técnica de representação ou de uma ferramenta de cálculo mais eficiente. É uma nova episteme, uma nova forma de produzir, validar e interagir com o saber. Sua importância reside em várias dimensões:

- **Dinamismo e Interatividade Intrínsecos:** Diferentemente de um modelo estático (como uma equação no papel ou um diagrama fixo), a simulação é um modelo em ato. Ela "calcula em tempo real as consequências das interações entre os parâmetros que definem um fenômeno e as intervenções de um usuário" (LÉVY, 1999, p. 66). Isso significa que o conhecimento não é apresentado como um produto acabado, mas como um processo em constante, moldado pela interação. O aprendiz não é um espectador, mas um ator que interfere no modelo, modifica suas variáveis e observa as consequências, construindo uma compreensão a partir da ação e da reflexão sobre essa ação.
- **Virtualização do Experimental:** A simulação virtualiza o laboratório e o próprio ato de experimentar. Como Lévy (1996, p. 17) argumenta, a virtualização é uma "elevação à potência", um desprendimento do "aqui e agora" para abrir um campo de possíveis. No contexto da Física, isso significa que fenômenos que seriam impossíveis, perigosos, caros, demorados demais para serem reproduzidos em um laboratório físico, ou que a escola não possui os equipamentos necessários podem ser explorados em ambientes virtuais. Pode-se "desacelerar" o tempo para observar colisões de partículas, "viajar" para dentro de um buraco negro (baseado em modelos teóricos), ou testar os limites de materiais sob condições extremas. Essa "desterritorialização"

(LÉVY, 1996, p. 21) do experimento amplia radicalmente o escopo da investigação científica e da aprendizagem.

- **Construção e Refinamento de Modelos Mentais:** A interação com simulações permite que os estudantes construam e testem seus próprios modelos mentais sobre os fenômenos físicos. Conforme a teoria de Johnson-Laird, um modelo mental é uma representação interna e simplificada de como algo funciona no mundo real, que permite ao indivíduo raciocinar e fazer previsões. Ao manipular um modelo digital e comparar os resultados com suas previsões, o aluno pode identificar lacunas em sua compreensão, refinar suas hipóteses e, gradualmente, construir um entendimento mais robusto e coerente, alinhado ao modelo científico. A simulação funciona, assim, como um "espelho cognitivo", refletindo e desafiando as concepções do aprendiz. Corroborando essa visão, Lévy (1999, p. 165) aponta que as simulações "não substituem os raciocínios humanos, mas prolongam e transformam a capacidade de imaginação e de pensamento".

- **Mediação entre o Abstrato e o Concreto:** A Física lida com conceitos altamente abstratos. As simulações, ao oferecerem representações visuais e interativas desses conceitos, atuam como uma ponte entre o formalismo matemático e a intuição fenomênica. Elas tornam o invisível visível, o complexo manipulável. Por exemplo, a visualização de linhas de campo elétrico ou magnético, ou a animação do comportamento quântico de elétrons, pode fornecer insights que a mera manipulação de equações dificilmente ofereceria.

- **Fomento à Inteligência Coletiva:** As simulações podem ser projetadas como ambientes multiusuário, onde estudantes e pesquisadores colaboram na construção de modelos, na exploração de cenários e na interpretação de resultados. Isso se alinha diretamente com a noção de inteligência coletiva de Lévy, onde o conhecimento emerge da sinergia e da partilha de competências distribuídas. O "conhecimento por simulação" não é, portanto, um empreendimento solitário, mas pode se tornar um processo social de cocriação de sentido.

A importância desse modo de conhecimento é imensa porque ele reflete e potencializa a própria natureza da cibercultura: uma cultura da interatividade, da conectividade e da

virtualização. Ele questiona a autoridade do conhecimento transmitido de forma unilateral e valoriza a exploração, a descoberta e a construção colaborativa. Para a Física, uma ciência que busca modelar a realidade, o "conhecimento por simulação" oferece ferramentas sem precedentes para investigar, compreender e comunicar a complexidade do universo. Ela não apenas auxilia na aprendizagem de conceitos estabelecidos, mas também pode se tornar um motor para novas descobertas, à medida que permite a exploração de "territórios problemáticos" que antes eram inacessíveis. A simulação, portanto, não é apenas uma técnica, mas uma profunda reconfiguração da nossa relação com o saber, especialmente em domínios como a Física, onde a modelagem e a experimentação são centrais.

No Ensino de Física, softwares de simulação capacitam os estudantes a visualizarem a propagação de ondas eletromagnéticas, o comportamento de partículas subatômicas ou a dinâmica de sistemas planetários, modificando variáveis em tempo real para observar as consequências imediatas. Essa interatividade não apenas facilita a compreensão de conceitos abstratos, mas também promove uma postura investigativa e experimental. A virtualização, aqui, não é uma desrealização, mas, como define Lévy (1996, p. 15), uma "mutação de identidade, um deslocamento do centro de gravidade ontológico do objeto considerado", onde o fenômeno físico, antes restrito a uma "solução" experimental única, abre-se a um "campo problemático" explorável virtualmente. O "real" do laboratório, com suas contingências e limitações, é virtualizado em um modelo digital que, embora não substitua a experiência empírica direta, expande enormemente suas possibilidades de exploração e compreensão, permitindo, por exemplo, "viajar" para dentro de um átomo ou observar a evolução de uma galáxia ao longo de bilhões de anos, experiências impossíveis no mundo atual. Essa "elevação à potência" (LÉVY, 1996, p. 17) do fenômeno físico, ao transformá-lo em um objeto virtual manipulável, abre novas dimensões para a intuição e a criatividade na aprendizagem da Física.

Lévy (1999, p. 63-65) explora também o potencial da "multimídia interativa" e da "hipermídia" como catalisadores de uma aprendizagem ativa e personalizada. Esses termos, embora por vezes usados de forma intercambiável, apontam para a convergência de múltiplas linguagens (texto, imagem, som, vídeo) em um ambiente digital interconectado. Para Lévy, a "multimídia" no contexto digital não é simplesmente a justaposição de diferentes mídias, mas a sua integração em uma "unimídia" (LÉVY, 1999, p. 65) digital, onde todas as formas de

informação são traduzidas para o código binário e, portanto, tornam-se fluidas, manipuláveis e interconectáveis.

No Ensino de Física, essas ferramentas podem se materializar em tutoriais em vídeo que demonstram experimentos complexos, animações que ilustram o movimento de partículas invisíveis, laboratórios virtuais que permitem a manipulação segura de variáveis, ou mesmo jogos educativos que contextualizam princípios físicos em narrativas engajadoras. A "multimodalidade" (LÉVY, 1999, p. 63) inerente a esses recursos permite atender a diferentes estilos de aprendizagem e engajar múltiplos sentidos, tornando a experiência educativa mais rica e memorável. A interatividade, por sua vez, transforma o aluno de mero receptor em participante ativo, capaz de controlar o ritmo e a direção de sua aprendizagem. Essa diversidade de abordagens reflete a visão de Lévy (1993, p. 5) de que "não há informática em geral, nem essência congelada do computador, mas sim um campo de novas tecnologias intelectuais, aberto, conflituoso e parcialmente indeterminado".

A indeterminação é crucial, pois abre espaço para a inovação pedagógica e para a criação de ambientes de aprendizagem que se adaptem às necessidades individuais dos alunos, ao mesmo tempo que fomentam a inteligência coletiva. A hipermídia, ao integrar a estrutura não-linear do hipertexto com a riqueza sensorial da multimídia, potencializa a criação de "mundos virtuais de conhecimento" (LÉVY, 1999, p. 72) onde os conceitos físicos podem ser explorados de forma imersiva e contextualizada. O estudante pode, por exemplo, ler sobre as leis de Newton, assistir a um vídeo de um experimento sobre inércia, interagir com uma simulação que lhe permite aplicar diferentes forças a objetos virtuais e, em seguida, participar de um fórum online para discutir suas observações com colegas e com o professor. Essa orquestração de diferentes mídias e modalidades de interação cria um ecossistema de aprendizagem muito mais rico e estimulante do que o modelo tradicional centrado no livro didático e na aula expositiva. A "plasticidade" (LÉVY, 1999, p. 54) da informação digital permite que ela seja constantemente reconfigurada e adaptada, rompendo com a rigidez dos suportes tradicionais. O conhecimento deixa de ser um "objeto" fixo para se tornar um "processo" navegável e participativo.

A inteligência coletiva, conceito central em Lévy (1998), é definida como "uma inteligência distribuída por toda parte, incessantemente valorizada, coordenada em tempo real,

que resulta em uma mobilização efetiva das competências" (LÉVY, 1998, p. 28). Em outras palavras, trata-se de um conhecimento que não pertence a um único indivíduo, mas que emerge da colaboração e da sinergia de um grupo conectado em rede. No contexto do Ensino de Física, isso implica ir além do aprendizado individual e fomentar ambientes onde o conhecimento é construído colaborativamente. As plataformas de aprendizagem colaborativa, os fóruns de discussão online, os projetos de Física desenvolvidos em equipe com o auxílio de ferramentas digitais e os ambientes de simulação multiusuário são exemplos de como o ciberespaço pode se tornar um lócus para essa construção coletiva.

Nesses ambientes, cada estudante contribui com suas perspectivas, dúvidas e descobertas, enriquecendo a compreensão do grupo. A possibilidade de compartilhar simulações, debater interpretações de experimentos virtuais ou construir modelos físicos colaborativamente online transforma a aprendizagem de um ato solitário em um processo social e sinérgico, alinhado com a visão de Lévy de uma "ecologia cognitiva" (LÉVY, 1993, p. 102) dinâmica e interconectada. O conhecimento físico, muitas vezes percebido como árido e individualista, pode se tornar um campo de exploração conjunta, onde a diversidade de talentos e pontos de vista enriquece a jornada de todos.

O professor, nesse contexto, deixa de ser o detentor exclusivo do saber para se tornar um "animador da inteligência coletiva" (LÉVY, 1999, p. 171), um facilitador que orienta, provoca e articula as contribuições dos estudantes, ajudando-os a navegar e a construir sentido no "espaço do saber". Seu papel se desloca da transmissão de informações para o design de experiências de aprendizagem, a curadoria de recursos e a mediação de processos colaborativos. Ele se torna um "arquiteto de percursos" (LÉVY, 1999, p. 158) em um conhecimento que é cada vez mais um "saber-fluxo" (LÉVY, 1999, p. 173), dinâmico e em constante transformação. A avaliação também se transforma, valorizando não apenas o produto final, mas o processo de exploração, colaboração, a capacidade de formular boas perguntas, de encontrar e validar informações, e de "aprender a aprender" nesse novo ambiente.

Em suma, as tecnologias intelectuais, na perspectiva de Pierre Lévy, oferecem um vasto repertório de possibilidades para revolucionar o Ensino de Física. Ao permitir que o aprendizado se torne mais dinâmico, interativo, visual e colaborativo, ferramentas como o hipertexto, as simulações e a multimídia interativa não apenas facilitam a compreensão de

conceitos complexos, mas também promovem o desenvolvimento de uma cultura de investigação e de inteligência coletiva. O desafio premente para educadores e instituições reside na integração criteriosa e criativa dessas tecnologias, assegurando que elas atuem como verdadeiros catalisadores de uma experiência de aprendizagem enriquecedora e emancipadora, capaz de preparar os estudantes para os desafios de uma sociedade cada vez mais imersa na cibercultura.

A transição não é meramente instrumental, mas epistemológica, exigindo uma reavaliação dos papéis de professor e aluno, e uma abertura para novas formas de construir e validar o conhecimento físico no emergente "espaço do saber", um espaço que é, por natureza, "universal sem totalidade" (LÉVY, 1999, p. 111), permanentemente em construção e aberto à multiplicidade de perspectivas. A Física, nesse contexto, deixa de ser um corpo de verdades estabelecidas para se tornar um campo vibrante de questionamento, exploração e co-criação, refletindo a própria essência da aventura científica e do projeto de hominização contínua proposto por Lévy. A disciplina, ao abraçar as potencialidades da cibercultura, pode se reconectar com sua vocação de desvendar os mistérios do universo de forma cada vez mais participativa e dinâmica, engajando os estudantes não como meros receptores de fatos, mas como co-construtores ativos do conhecimento científico.

No cenário da cibercultura, amplamente explorado pelo filósofo Pierre Lévy, as tecnologias digitais não são meros instrumentos, mas sim agentes de uma profunda transformação na ecologia do conhecimento. Lévy (1999) argumenta que a informática reconfigura as "tecnologias da inteligência", alterando nossa relação com o saber. Dentro desta nova paisagem cognitiva, o "conhecimento por simulação" emerge como um dos novos gêneros de saber, favorecendo uma atitude exploratória e lúdica diante do que se deseja assimilar. É nesse contexto de uma cultura digital em constante evolução que o uso de simulações computacionais no ensino de Física ganha especial relevância, alinhando-se a uma pedagogia mais ativa e interativa.

Com base na literatura acadêmica, as simulações computacionais emergem como uma ferramenta pedagógica de grande potencial, oferecendo alternativas dinâmicas para a superação de desafios tradicionais no processo de ensino-aprendizagem. A utilização de simuladores no ensino de Ciências permite que o saber científico seja potencializado, pois através dessa mídia

educacional, docentes desta disciplina podem trabalhar de forma mais lúdica, os fenômenos físicos, que na maioria das vezes são demasiadamente abstratos, para serem compreendidos, apenas através de textos e palavras por alunos do ensino fundamental (BARBOSA et al., 2017, p. 5). Essa abordagem é particularmente relevante em um cenário onde muitos estudantes percebem a Física como uma disciplina de difícil compreensão, repleta de códigos e fórmulas a serem memorizadas, e distante de suas realidades cotidianas (GOMES; FRANCO; ROCHA, 2020).

As simulações oferecem a oportunidade de "descobrir as propriedades de um modelo por meio da aquisição e análise de dados fornecidos por programas" (JAIME; LEONEL, 2024, p. 2), promovendo um ambiente de aprendizado mais eficiente e agradável (JAIME; LEONEL, 2024). A capacidade de interagir com modelos dinâmicos e simplificados do mundo real permite a exploração de diversas situações, incluindo aquelas que seriam perigosas, de alto custo ou muito demoradas para serem realizadas em um laboratório convencional (SANTOS; SILVA, 2022). De acordo com Gomes, Franco e Rocha (2020, p. 52), "os simuladores virtuais são os recursos tecnológicos mais utilizados no Ensino de Física, pela óbvia vantagem que tem como ponte entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional (quadro e giz) e os experimentos de laboratório".

A interatividade proporcionada pelos simuladores transforma o estudante em um sujeito ativo em sua própria aprendizagem (SANTOS; SILVA, 2022). Essa abordagem se alinha à necessidade de superar o modelo tradicional de ensino, muitas vezes centrado excessivamente no professor e em aulas expositivas que dificultam a participação efetiva dos alunos (SILVA; SOUZA; LOPES, 2023). Ao manipular variáveis e observar os resultados em tempo real, o aluno pode desenvolver uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos, tornando conceitos abstratos mais concretos (JAIME; LEONEL, 2024).

Com efeito, a transição para uma pedagogia que incorpora simulações computacionais exige uma reconceptualização do ambiente de aprendizagem. Ferramentas como o PhET (Physics Education Technology) e o GeoGebra exemplificam como os recursos digitais podem ser estruturados para fins educacionais. O PhET, um projeto desenvolvido pela Universidade do Colorado, é frequentemente citado por sua acessibilidade e base em pesquisas científicas que visam assegurar sua eficácia educacional, propondo "a aprendizagem através da interação

aluno-simulação" (SANTOS; SILVA, 2022, p. 8). Da mesma forma, o software GeoGebra permite não apenas o uso de simulações prontas, mas também a criação de "Objetos de Aprendizagem" (OA) pelos próprios professores, recursos que podem ser elaborados para abordar fenômenos específicos como o movimento parabólico ou o pêndulo simples (GUTIÉRREZ ARAUJO; CASTILLO BRACHO, 2020).

A eficácia desses recursos está intrinsecamente ligada à sua capacidade de promover uma aprendizagem significativa, conceito largamente explorado por teóricos como David Ausubel. Para ele, a aprendizagem se torna significativa quando "o conteúdo a ser aprendido se relaciona com o seu conhecimento prévio" (BARBOSA et al., 2017, p. 2). As simulações podem atuar como "organizadores prévios", servindo como pontes cognitivas que "identificam o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicam a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material" (GOMES; FRANCO; ROCHA, 2020, p. 21). Ao permitir que o aluno manipule variáveis e observe consequências imediatas, a simulação oferece uma experiência concreta que pode servir de âncora para a assimilação de conceitos teóricos mais abstratos.

Adicionalmente, o uso de simuladores dialoga com a pedagogia crítica de Paulo Freire, que advoga por uma educação que capacite o aluno a "ler o mundo" (GOMES; FRANCO; ROCHA, 2020). Em vez de uma "educação bancária", na qual o conhecimento é depositado no aluno, as simulações incentivam uma postura investigativa. O aluno não apenas recebe informações, mas as constrói ativamente ao testar hipóteses e explorar as relações de causa e efeito dentro do modelo. Essa abordagem valoriza a autonomia e o protagonismo do estudante, alinhando-se à ideia de que "ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção" (FREIRE, 1996, apud BARBOSA et al., 2017, p. 2).

Contudo, é imperativo reconhecer que a tecnologia, por si só, não garante a aprendizagem. A sua implementação bem-sucedida depende de uma mediação pedagógica cuidadosa e de um planejamento que integre o recurso digital a objetivos de aprendizagem claros. O professor deve orientar os alunos a questionar os resultados e, crucialmente, a compreender as limitações do modelo computacional. É um erro comum, e perigoso, que os estudantes "concebam em suas mentes que os fenômenos da natureza ocorrem exatamente

como verificados na simulação" (BARBOSA et al., 2017, p. 6). Portanto, a discussão sobre as simplificações e idealizações inerentes a qualquer modelo é uma parte indispensável do processo educativo, evitando que a ferramenta que visa a esclarecer acabe por gerar concepções equivocadas.

Dando um passo adiante, a disseminação de tecnologias móveis, como os smartphones, introduz uma nova dimensão à discussão sobre o uso de simuladores. Se por um lado "muitos docentes enfrentam o problema do uso impróprio de celulares smartphones pelos alunos durante as aulas" (BARBOSA et al., 2017, p. 1), por outro, esses dispositivos representam uma oportunidade sem precedentes para a democratização do acesso a recursos educacionais. A proposta de orientar o uso desses aparelhos de forma pedagógica transforma um potencial fonte de distração em um "laboratório virtual portátil" (BARBOSA et al., 2017, p. 1), contornando, em parte, o desafio da infraestrutura, visto que muitas escolas não possuem laboratórios de informática ou de ciências adequados (SILVA; SOUZA; LOPES, 2023).

A aplicação de simuladores via smartphone permite uma abordagem contextualizada e interdisciplinar. Um exemplo prático disso é o estudo dos "Defeitos da Visão", um tema que "relaciona tecnologia, conceitos de Física voltados para a óptica e conteúdos de Biologia" (BARBOSA et al., 2017, p. 2). Através de aplicativos específicos, os alunos podem visualizar a anatomia do olho humano, entender como se formam as imagens na retina e interativamente explorar defeitos como miopia e hipermetropia. Eles podem "arrastar uma das lentes, posicionando-a na frente do olho e conferir o resultado" (BARBOSA et al., 2017, p. 10), observando como lentes convergentes ou divergentes corrigem o foco. Essa exploração prática e imediata de um problema real e muitas vezes pessoal (para os alunos que usam óculos) confere um significado profundo a conceitos físicos que poderiam permanecer abstratos, como a convergência e divergência da luz.

Em última análise, a integração de simulações computacionais no ensino de Física representa uma mudança paradigmática que vai além da simples adoção de uma nova ferramenta. Trata-se de uma reorientação para metodologias de aprendizagem mais ativas, investigativas e centradas no aluno. Embora a eficácia dessa abordagem dependa criticamente da superação de desafios estruturais e da capacitação docente, o potencial para revitalizar o ensino da Física é inegável. Ao transformar o abstrato em concreto, o estático em dinâmico e o

passivo em interativo, as simulações oferecem um caminho para que os estudantes não apenas memorizem fórmulas, mas construam uma compreensão conceitual robusta e duradoura dos fenômenos que governam o universo.

REFERENCIAL METODOLÓGICO

3.1 PEDAGOGIA FREIREANA

De acordo com a obra "Pedagogia da Autonomia", o pensamento de Paulo Freire sobre a tecnologia é caracterizado por uma postura crítica e equilibrada, que evita extremos. Freire rejeita tanto uma adesão ingênua quanto uma negação completa, afirmando: "Nunca fui ingênuo apreciador da tecnologia: não a divinizo, de um lado, nem a diabolizo, de outro" (FREIRE, 1996, p. 45). Para o autor, "divinizar ou diabolizar a tecnologia ou a ciência é uma forma altamente negativa e perigosa de pensar errado" (FREIRE, 1996, p. 18). Ele reconhece o valor da tecnologia como ferramenta para a educação e estímulo à curiosidade. Em sua gestão pública, aplicou essa visão na prática, como relata no livro:

Não tenho dúvida nenhuma do enorme potencial de estímulos e desafios à curiosidade que a tecnologia põe a serviço das crianças e dos adolescentes das classes sociais chamadas favorecidas. Não foi por outra razão que, enquanto secretário de educação da cidade de São Paulo, fiz chegar à rede das escolas municipais o computador (FREIRE, 1996, p. 45).

No entanto, a principal preocupação de Freire reside na dimensão ética e política do uso da tecnologia. Ele critica veementemente quando o avanço tecnológico se sobrepõe aos interesses humanos e serve a uma lógica de mercado que gera exclusão. Para ele, "o progresso científico e tecnológico que não responde fundamentalmente aos interesses humanos, às necessidades de nossa existência, perdem, para mim, sua significação" (FREIRE, 1996, p. 67). Freire argumenta que o uso da tecnologia deve ser guiado por uma "ética universal do ser humano" e não pela "ética pequena, a do mercado, a do lucro" (FREIRE, 1996, p. 67). Ele denuncia as consequências desumanizantes de um progresso desvinculado de uma responsabilidade ética:

A aplicação de avanços tecnológicos com o sacrifício de milhares de pessoas é um exemplo a mais de quanto podemos ser transgressores da ética universal do ser humano e o fazemos em favor de uma ética pequena, a do mercado, a do lucro (FREIRE, 1996, p. 67).

Em sua análise, a questão fundamental não reside na tecnologia em si, mas nas decisões políticas e éticas que direcionam sua aplicação. Freire conclui que "esta é uma questão ética e política e não tecnológica" (FREIRE, 1996, p. 67). Paulo Freire, ao longo de suas obras, apresenta um método de ensino que se opõe à concepção tradicional de educação. Seu modelo pedagógico é fundamentado em princípios como dialogicidade, problematização e conscientização. Freire desafia a ideia de uma educação verticalizada, onde o educador é o detentor do conhecimento e o aluno um receptor passivo. Em vez disso, propõe um processo educativo que considere o educando como sujeito ativo na construção do saber e que parta de suas experiências de vida e contexto social. Esse método busca promover uma prática educativa que liberte e empodere os indivíduos a partir do reconhecimento de seu papel como transformadores sociais (FREIRE, 1996; FREIRE, 1970).

Freire critica a educação tradicional, a qual ele denomina como "educação bancária". Nessa concepção, o ato de ensinar é reduzido ao simples depósito de informações. "Na concepção 'bancária' da educação, o conhecimento é um dom doado por aqueles que se julgam sábios aos que julgam nada saber" (FREIRE, 1970, p. 36). Os alunos são transformados em recipientes, que apenas absorvem passivamente os conteúdos, sem interação e sem reflexão crítica sobre o que está sendo ensinado. A dialogicidade é um conceito central no método de ensino de Paulo Freire. Para o autor, "não há verdadeira palavra que não seja práxis. Logo, dizer a palavra verdadeira é transformar o mundo" (FREIRE, 1970, p. 78). O diálogo é um ato de criação e, ao mesmo tempo, um ato de reflexão e ação, sendo a prática que permite a humanização tanto do educador quanto do educando. No método freireano, a prática educativa deve ser um encontro de sujeitos que se reconhecem como incompletos e inacabados, mas capazes de aprender e ensinar uns com os outros.

Freire (1996) afirma que "ensinar exige respeito aos saberes dos educandos" e que o educador deve partir das experiências e conhecimentos prévios dos alunos, respeitando suas formas de compreender o mundo e suas realidades (FREIRE, 1996, p. 15). Dessa forma, o educador não se coloca acima do aluno, mas como alguém que, ao lado dele, busca construir o saber de maneira dialógica e colaborativa. O diálogo, então, torna-se um processo de reflexão conjunta, onde o educador e o educando criam sentidos e compreensões. O método de ensino de Paulo Freire se opõe a qualquer forma de ensino autoritário e alienante. Ele propõe uma educação dialógica e problematizadora, baseada no respeito mútuo e na construção coletiva do

saber. Ao rejeitar a concepção bancária de educação e valorizar a conscientização como processo de humanização, Freire transforma o ato de educar em um ato político e ético, que visa à emancipação e à liberdade dos sujeitos. Conforme aponta o autor, “a prática educativa libertadora deve ser permeada por uma rigorosidade ética, por um profundo respeito ao ser do educando” (FREIRE, 1996, p. 27).

O método de Paulo Freire para a educação libertadora é um processo sistematizado em etapas que têm como objetivo promover a conscientização e a transformação social. Essas etapas orientam a prática pedagógica para que educadores e educandos possam construir o conhecimento de maneira crítica, contextualizada e dialógica. Ressalta-se que a discussão sobre o método de Paulo Freire, neste trabalho, tem a finalidade específica de servir como referencial para a perspectiva problematizada desse trabalho. Não se pretende realizar um aprofundamento na obra do autor, mas sim utilizar seus conceitos sobre a dialogicidade e a adoção de uma perspectiva problematizadora como pilares para a prática pedagógica.

3.2 TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

A integração eficaz das TDIC no ensino de Ciências pede por métodos de ensino que vão além da simples transmissão de conteúdo. É preciso incentivar a participação ativa dos alunos e conectar o conhecimento com o dia a dia deles. Como aponta Muenchen (2010), a dinâmica dos 3MP foi pensada pela primeira vez por Demétrio Delizoicov em 1982, durante suas experiências de ensino na Guiné-Bissau. Essa criação está diretamente relacionada à "transposição da concepção de educação de Paulo Freire para o espaço da educação formal" (MUENCHEN, 2010, p. 15). A autora destaca que a ideia dos 3MP nasceu da "adaptação da concepção de Paulo Freire para a educação escolar, baseada em três projetos: um na África e dois no Brasil" (MUENCHEN, 2010, p. 8). Esses projetos foram pioneiros ao tentar ligar o currículo da escola com a realidade e os temas importantes para as comunidades, e isso foi fundamental para definir a estrutura e a filosofia dos 3MP. Delizoicov (2008, p. 40-41, apud MUENCHEN, 2010, p. 106) conta que um "roteiro pedagógico", que foi o início dos 3MP, já era usado no Centro de Educação Popular Integrada (CEPI) na Guiné-Bissau. Esse roteiro era dividido em Estudo da Realidade, Estudo Científico e Trabalho Prático. A conversa e a troca de ideias com os professores da Guiné-Bissau ajudaram a construir e adaptar esse roteiro, mostrando que os 3MP nasceram de um processo de diálogo e atenção ao contexto local.

Mais tarde, com a ajuda de José André Angotti e Marta Maria Pernambuco, essa abordagem se fortaleceu e se espalhou, principalmente através dos livros "Metodologia do Ensino de Ciências" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990b) e "Física" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a). Esses livros, parte da Coleção Magistério, foram muito importantes para que as ideias dos 3MP circulassem (FLECK, 1986, apud MUENCHEN, 2010) e se tornassem conhecidas por formadores de professores e por professores em geral. Assim, a metodologia dos 3MP se diferencia do ensino tradicional, focado apenas na transmissão de informações, pois valoriza o diálogo, a autonomia do aluno e a ligação forte entre o que se estuda e a vida real, com o professor atuando como um importante mediador. Delizoicov e Angotti (1990a, p. 28) explicam que as orientações para o professor desenvolver os conteúdos são "pautadas por três momentos pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento". Vamos ver em detalhes cada um desses momentos, explorando suas características, o que eles podem oferecer e como podem ser melhorados com o uso de ferramentas digitais como o software *Algodoo*.

3.2.1 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL: DESPERTANDO A CURIOSIDADE E LIGANDO O SABER À VIDA

A primeira etapa, a Problematização Inicial, é a base de todo o processo de aprendizagem. Ela é fundamental para envolver os alunos de um jeito verdadeiro e interessante. Nesse momento, os estudantes são colocados diante de "questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990b, p. 54). Pode ser um problema concreto do seu dia a dia, uma contradição social que observam ou um fenômeno natural que os deixe curiosos. O principal objetivo é despertar essa curiosidade, o interesse e, mais importante, a vontade de entender e ir além do que já sabem pelo senso comum. É o momento de transformar a "curiosidade ingênua" em uma "curiosidade epistemológica" (FREIRE, 1996), ou seja, uma curiosidade que busca entender as causas e as razões das coisas. Delizoicov e Angotti (1990a, p. 29) descrevem bem este momento:

São apresentadas questões e/ou situações para discussão com os alunos. Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa a ligação deste conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes.

A ideia aqui vai além de simplesmente motivar. O que se busca é criar uma "necessidade genuína de aprendizado" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29). Os alunos precisam perceber que o conhecimento que já têm não é suficiente para explicar tudo, devem questionar suas próprias ideias e se sentir animados a buscar novas explicações. Nesta fase, "o aluno já poderá ter noções sobre as questões colocadas, fruto de sua aprendizagem anterior na escola ou fora dela" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29). Essas noções são o que chamamos de "concepções alternativas" ou "conceitos espontâneos". O professor, então, age como um provocador de ideias, alguém que "deve se voltar mais para questionar e lançar dúvidas sobre o assunto que para responder e fornecer explicações" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29). O diálogo aberto, a escuta atenta e o respeito às diferentes opiniões dos alunos são essenciais. O professor precisa conhecer o que os alunos pensam e como entendem o mundo. Como lembra Muenchen (2010, p. 157), citando sua pesquisa, este momento pode ser um desafio, pois "a simples realização de perguntas com os alunos pode não garantir tal processo", se não houver um esforço real para despertar a curiosidade deles.

Essa forma de ensinar está totalmente de acordo com as ideias de Paulo Freire. Ele defendia que é fundamental "partir da situação presente, existencial, concreta, refletindo o conjunto de aspirações do povo" (FREIRE, 1987, p. 100, apud MUENCHEN, 2010, p. 49) para organizar o que vai ser ensinado. A problematização valoriza o "saber de experiência feito" (FREIRE, 1996, p. 30), ou seja, o conhecimento que o aluno já traz de suas vivências. Esse saber não é visto como algo a ser descartado, mas como o ponto de partida para construir, de forma crítica, novos conhecimentos, levando a uma "leitura de mundo" (FREIRE, 1987) mais completa e consciente. O objetivo, como dizem Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002, p. 201), é "propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão e fazer com que ele reconheça a necessidade de se obterem novos conhecimentos". Perceber que o conhecimento atual não é suficiente, ou identificar uma "situação-limite" (FREIRE, 1987), é o que move o aluno a buscar um novo jeito de entender e superar uma visão simplista da realidade.

O uso de TICs, como o software *Algodo*, pode tornar essa etapa ainda mais rica. Ao estudar Fenômenos Ondulatórios, por exemplo, o professor pode mostrar simulações interativas de situações do dia a dia: como o eco se forma em lugares diferentes (uma caverna, uma sala vazia), como as ondas na água se comportam ao encontrar obstáculos (um quebra-mar, barcos

de formatos diferentes), como o som se espalha em meios com densidades diferentes (ar, água, sólidos), ou até mesmo simulações simples de tecnologias que usam ondas, como o sonar ou um sismógrafo. Essas simulações, que os alunos podem ver e com as quais podem interagir, tornam a problematização mais real e interessante. Os alunos podem mexer em algumas variáveis (como a força da fonte sonora no caso do eco, ou o formato do obstáculo para as ondas na água) e ver na hora o que acontece. Isso os estimula a fazer perguntas mais profundas ("Por que o eco é mais forte em alguns lugares e mais fraco em outros?", "A forma de um barco muda as ondas que ele faz?") e a criar hipóteses mais elaboradas ("Será que o formato do obstáculo muda o jeito como a onda se espalha ou bate e volta?", "Se eu mudar a frequência da onda, o que acontece com o tamanho dela?"). Essa interação incentiva uma atitude de investigação e questionamento desde o começo, ajudando as ideias que os alunos já tinham a aparecerem de forma mais natural e participativa.

3.2.2 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO: CONSTRUINDO JUNTOS OS SIGNIFICADOS DA CIÊNCIA

Depois da primeira etapa, cheia de perguntas, hipóteses e conhecimentos prévios, vem a Organização do Conhecimento. Este é o momento de estudar de forma organizada, pesquisar com orientação, experimentar (de verdade ou usando simulações), analisar criticamente e construir os conceitos científicos. Aqui, os alunos, com a ajuda ativa e planejada do professor, vão buscar, selecionar, analisar, relacionar e organizar as informações e os conhecimentos da ciência que são necessários para entender melhor o problema inicial, de um jeito mais completo e científico. Como explicam Delizoicov e Angotti (1990a, p. 30):

Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados neste momento, sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis apresentadas no texto introdutório serão agora aprofundadas.

Nesta fase, o professor tem um papel fundamental como facilitador e guia da aprendizagem. Ele não é apenas alguém que passa informações prontas, mas aquele que, "preparado e desenvolvido, durante o número de aulas necessárias, em função dos objetivos definidos e do livro didático ou outro recurso pelo qual o professor tenha optado para o seu curso" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 30), ajuda os alunos a construir os conceitos da ciência, a entender as teorias e os modelos que explicam os fenômenos, e a perceber as

ligações lógicas e de causa e efeito entre os diferentes saberes. É uma fase de estudo mais profundo, que pode incluir pesquisa em livros e na internet, leitura e interpretação de textos científicos (adaptados para a linguagem dos alunos), discussões em grupo, debates, realização de experimentos (reais ou simulados) e, o mais importante, a elaboração e reelaboração dos conceitos.

O conhecimento científico é mostrado e construído não como uma verdade absoluta e indiscutível, mas como uma ferramenta poderosa, dinâmica e que foi construída ao longo da história para interpretar, explicar e, quem sabe, transformar o mundo. Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002, p. 201) destacam que, neste momento, estudam-se os conhecimentos científicos importantes "para a melhor compreensão dos temas e das situações significativas". O objetivo é promover uma "ruptura entre o conhecimento do estudante e o conhecimento sistematizado", ou seja, ajudar o aluno a superar o senso comum e a alcançar uma compreensão científica dos fenômenos. Essa "ruptura", como explica Delizoicov (1991, apud GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012, p. 9), não quer dizer abandonar o que se sabia antes, mas dar um novo significado a esse saber, entendendo seu contexto e percebendo que é possível transitar entre diferentes formas de conhecimento. É o momento de "desvelar" o conhecimento científico, como diria Freire, tornando-o acessível e cheio de sentido para os alunos.

Ferramentas como o software *Algodo* podem ser muito úteis e transformar esta etapa, pois permitem que os alunos coloquem a "mão na massa" de forma virtual. Ao estudar ondas, por exemplo, eles podem ir além de apenas assistir a simulações prontas. Podem ser incentivados a criar suas próprias simulações para testar as hipóteses que surgiram na problematização inicial, comparando suas ideias com o que acontece nos fenômenos simulados. De forma investigativa, podem mudar variáveis como frequência, amplitude, comprimento de onda, tensão em uma corda, densidade do meio, e analisar na hora os efeitos dessas mudanças nas características (velocidade, forma, energia) e no comportamento das ondas.

A visualização clara da diferença entre ondas transversais e longitudinais, com a chance de observar o movimento de cada "partícula" do meio simulado, ajuda muito a entender esses conceitos. A simulação da propagação de ondas em diferentes meios (criando no *Algodo* objetos com diferentes propriedades de massa, atrito e elasticidade para representar meios diferentes) permite investigar mais a fundo como as características do meio afetam a velocidade

da onda. A investigação detalhada de fenômenos como a reflexão (mudando o ângulo de chegada da onda e o tipo de superfície que reflete), refração (simulando a passagem da luz ou de ondas na água por materiais diferentes, com "índices de refração" simulados pela mudança na velocidade da onda no novo meio) e a superposição de ondas (para ver a interferência construtiva e destrutiva, e como se formam as ondas estacionárias com seus nós e ventres) se tornam atividades práticas e de muita investigação.

O professor pode, inclusive, propor desafios de modelagem: os alunos tentam recriar no *Algodoo* os fenômenos que viram em textos, vídeos ou experimentos reais, comparando suas simulações com os modelos teóricos estudados e melhorando seus próprios jeitos de entender as coisas. A possibilidade de ver grandezas como vetores (velocidade, força) e gerar gráficos (posição x tempo, velocidade x tempo) em tempo real no *Algodoo* também ajuda a entender as relações matemáticas por trás dos fenômenos físicos, incentivando uma aprendizagem mais crítica, interativa, com significado e ligada ao contexto, como defendem Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002).

3.2.3 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO: USANDO O SABER DE FORMA CRIATIVA EM NOVAS SITUAÇÕES E AGINDO PARA TRANSFORMAR

A terceira e última etapa, a Aplicação do Conhecimento, é o ponto alto e a consolidação da aprendizagem. É aqui que o saber construído e organizado é colocado à prova, expandido e, o mais importante, levado para novas situações e contextos. Nesse momento, os alunos são incentivados a usarem ativamente os conhecimentos, conceitos, teorias e habilidades que desenvolveram na etapa anterior. O desafio é analisar e interpretar não só o problema inicial que deu origem ao estudo, mas também uma variedade de novas situações, parecidas, mais complexas, que envolvam outras disciplinas ou que pertençam a contextos diferentes, desde que possam ser entendidas e explicadas com base no mesmo conjunto de ideias científicas. Como afirmam Delizoicov e Angotti (1990a, p. 31):

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento.

O principal objetivo é que o aluno não apenas entenda o conhecimento de forma teórica, mas também perceba o quanto ele é importante, útil e como pode ser aplicado no dia a dia. Ele deve conseguir ir além da sala de aula, fazendo ligações com outras áreas do saber, com sua vida cotidiana e com questões sociais, ambientais, éticas e tecnológicas mais amplas. Busca-se, assim, "que, dinamicamente e evolutivamente, o aluno perceba que o conhecimento, além de ser uma construção historicamente determinada, está acessível a qualquer cidadão, que dele pode fazer uso" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 31).

Este momento é fundamental para desenvolver a independência intelectual, o pensamento crítico e abrangente, a criatividade para resolver problemas e a capacidade de usar o conhecimento em diferentes situações. Essas são habilidades essenciais para agir de forma consciente, crítica e, se possível, transformadora no mundo. A aplicação não se limita, portanto, a fazer exercícios repetitivos para fixar o conteúdo ou a simplesmente reproduzir soluções prontas. Ela envolve resolver problemas reais e complexos, criar projetos de investigação, buscar explicações para novos fenômenos, analisar informações de forma crítica e tomar decisões baseadas em conhecimento. É o momento da práxis defendida por Freire, onde a reflexão crítica sobre a realidade, apoiada pelo conhecimento científico, leva a uma ação que pode transformar, ou pelo menos a um entendimento mais profundo e engajado do mundo.

Para os alunos que já nasceram na era digital, os "nativos digitais", usar ferramentas como o *Algodo* nesta etapa pode ser especialmente motivador, produtivo e dar a eles mais autonomia. Eles podem ser desafiados a ir além de apenas copiar simulações, usando o software para criar seus próprios modelos e experimentos interativos. Com isso, podem não só explicar Fenômenos Ondulatórios complexos, mas também propor soluções para problemas práticos, explorar situações imaginárias ou comunicar o que aprenderam de forma criativa. Por exemplo, eles poderiam:

Projetar e simular um sistema de isolamento acústico para um lugar específico (como um estúdio caseiro, uma biblioteca da escola ou uma sala de aula barulhenta), usando os conceitos de absorção, reflexão e transmissão do som. Os alunos poderiam testar a eficiência de diferentes materiais (simulados por suas propriedades de amortecimento e elasticidade no *Algodo*) e formatos de barreiras para diminuir a passagem do som.

Investigar e mostrar através de simulações como diferentes tipos de lentes (convergentes e divergentes) e espelhos (planos, côncavos e convexos) formam imagens, aplicando os

princípios da refração e reflexão da luz. Eles poderiam explorar como esses elementos são usados em instrumentos ópticos como lupas, telescópios, microscópios ou câmeras fotográficas, e talvez até tentar simular o funcionamento básico de um desses instrumentos. Criar um modelo interativo que explique como funciona um instrumento musical de cordas (violão, piano) ou de sopro (flauta, clarinete), ligando as características físicas do instrumento (tamanho e tensão da corda, densidade da corda, tamanho do tubo, buracos) com as frequências dos sons produzidos e os diferentes harmônicos, explorando a física da música.

Simular a propagação de ondas de rádio e explicar de forma visual como a modulação (AM/FM) permite levar informações para longe, ou como antenas de formatos e tamanhos diferentes (dipolo, parabólica) interagem com essas ondas, afetando a qualidade do sinal recebido. Desenvolver um projeto de simulação para analisar o efeito de diferentes estruturas (como quebra-mares, diques ou recifes artificiais) na propagação das ondas do mar, investigando como essas estruturas podem proteger a costa da erosão ou mudar o padrão das ondas para a prática do surfe.

Explorar o efeito Doppler com simulações interativas, onde uma fonte de som ou luz se move em relação a um observador (ou o contrário), permitindo ver a mudança na frequência percebida e sua relação com a velocidade entre a fonte e o observador. Poderiam usar esse conceito para entender como funcionam os radares de velocidade ou o desvio para o vermelho na luz de galáxias distantes. Projetar um "concerto de ondas" no *Algodo*, usando diferentes fontes de ondas (cordas vibrantes, pêndulos, etc.) para criar padrões de interferência visualmente bonitos e sonoramente (se o software permitir ou se combinado com outras ferramentas) harmônicos ou dissonantes, explorando a física e a arte.

Essas atividades práticas, criativas e investigativas, feitas com a ajuda da tecnologia, permitem que os alunos liguem de forma profunda a teoria com a prática. Eles aplicam o conhecimento de um jeito e autônomo, mostrando o que entenderam de forma concreta e inovadora. A chance de mostrar suas criações no *Algodo* para os colegas e para o professor, explicando seus projetos e os princípios físicos envolvidos, também incentiva a colaboração, a comunicação científica e a discussão crítica, tornando o processo de aprendizagem ainda mais rico, de acordo com os objetivos da aplicação do conhecimento definidos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002).

Para resumir, a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos, que tem suas raízes na filosofia educacional de Paulo Freire e que ganha novas dimensões com o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação, como o software *Algodoo*, abre um caminho promissor para uma grande transformação no ensino de Ciências. Essa metodologia vai além da simples ideia de passar conteúdo. Ela promove uma aprendizagem onde o aluno é ativo, investiga, colabora com os colegas, pensa criticamente e, o mais importante, consegue ligar o que aprende com sua realidade e seus interesses. Ao passar pelos momentos de problematizar, organizar e aplicar o conhecimento de forma dialogada e interativa, os estudantes desenvolvem não só o entendimento dos fenômenos científicos, mas também um conjunto de habilidades e competências que são essenciais para seus estudos, para sua futura profissão e para serem cidadãos ativos e conscientes na sociedade complexa em que vivemos.

A capacidade de fazer perguntas, de levantar hipóteses, de buscar e organizar informações, de experimentar (mesmo que virtualmente), de usar o conhecimento em novas situações e de comunicar suas descobertas são habilidades que essa abordagem ajuda a desenvolver. A inclusão das TICs, quando bem planejada, não é só um jeito de modernizar a aula com tecnologia. Ela se torna uma ferramenta poderosa que aumenta as chances de explorar, visualizar, simular e criar, tornando a aprendizagem mais dinâmica, interessante e de acordo com o jeito de ser dos "nativos digitais".

O uso dos Três Momentos Pedagógicos no Ensino de Física, como bem observaram Silva, Januário e Brito (2021), mostra que é possível "desenvolver uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos ao relacioná-los com sua realidade e experiências cotidianas". Isso acontece porque se incentiva a "participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem", levando a uma "aprendizagem contextualizada e crítica". Essa visão de ensino quebra com o modelo tradicional, que muitas vezes se baseia na memorização de fórmulas sem sentido, e abre as portas para uma prática pedagógica que valoriza o pensamento crítico e o diálogo. Como as mesmas autoras destacam (SILVA; JANUÁRIO; BRITO, 2021), ao usar essa abordagem, "os professores conseguem engajar os alunos por meio de situações-problema e discussões que os levam a compreender a relevância dos conceitos físicos em diferentes contextos".

Portanto, unir os Três Momentos Pedagógicos com as TICs não é apenas uma forma de atualizar as práticas de ensino. É uma mudança fundamental na direção de uma educação que liberte e dê sentido ao aprendizado. Ao incentivar a autonomia, o pensamento crítico e a capacidade dos alunos de intervir na sua realidade, essa metodologia ajuda a formar pessoas não só mais competentes em ciência, mas também mais conscientes, capazes de refletir e preparadas para os desafios e as rápidas mudanças da era digital e da sociedade do conhecimento. As ideias de Paulo Freire, quando olhadas de novo e fortalecidas pelas ferramentas de hoje, continuam a nos inspirar a buscar uma prática educativa que, sem parar, procure a humanização e a libertação por meio do conhecimento.

METODOLOGIA

Este capítulo dedica-se a apresentar os percursos metodológicos que nortearam a realização desta pesquisa. A definição clara dos procedimentos adotados é fundamental para garantir o rigor científico do trabalho, permitindo que o leitor compreenda as escolhas realizadas e a forma como os dados foram coletados e analisados. A abordagem deste estudo é de natureza eminentemente qualitativa, buscando compreender em profundidade o processo de ensino e aprendizagem em um contexto específico, valorizando as percepções e os significados construídos pelos participantes.

Para classificar uma pesquisa, é necessário considerar seus objetivos e os procedimentos técnicos empregados. Quanto aos objetivos, este trabalho se define como uma pesquisa exploratória. Conforme define Gil (2007), a pesquisa exploratória é aquela que "tem a finalidade de aumentar a familiaridade do pesquisador com um tema, a fim de torná-lo mais explícito ou de fundamentar a construção de hipóteses". O objetivo, portanto, foi proporcionar uma maior familiaridade com o problema de aliar a abordagem da Sequência de Ensino ao uso do software *Algodo* para o ensino de Fenômenos Ondulatórios, aprimorando ideias e descobrindo intuições sobre a eficácia dessa integração.

No que tange aos procedimentos técnicos, a investigação se delinea como um estudo de caso. Esta modalidade "consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento". O estudo de caso foi a escolha mais adequada, pois permitiu investigar o fenômeno contemporâneo, a aplicação da Sequência de Ensino, dentro de seu contexto real, onde os limites entre a intervenção e a dinâmica da sala

de aula não são claramente percebidos. O "caso" em questão é a turma da eletiva de Fenômenos Ondulatórios, submetida a uma intervenção pedagógica específica.

A pesquisa de campo foi realizada no 2º Colégio da Polícia Militar Coronel Hervano Macêdo Júnior, localizado na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará. Os colaboradores da pesquisa foram os alunos do 2º ano do Ensino Médio matriculados na eletiva de Fenômenos Ondulatórios. As Eletivas são um componente do Novo Ensino Médio criadas para dar mais flexibilidade e autonomia ao estudante, permitindo que cada um personalize parte do seu aprendizado. A intervenção pedagógica ocorreu ao longo de seis semanas, com um encontro semanal, a turma era constituída por 30 alunos.

A coleta de dados foi realizada por meio de uma triangulação de instrumentos, visando obter uma compreensão rica e multifacetada do processo de aprendizagem. Foram utilizados:

Questionários: Foi aplicado um questionário (ver Apêndice C) em dois momentos distintos: um prévio, no início da intervenção, e outro ao final do processo (pós-projeto). O objetivo do questionário prévio foi realizar um diagnóstico das concepções dos alunos, mapeando o "saber de experiência feito" (FREIRE, 1996) que traziam sobre os Fenômenos Ondulatórios. A reaplicação ao final permitiu uma análise comparativa para verificar a evolução conceitual dos estudantes.

Observação em Sala de Aula: Durante todos os encontros, foram realizadas observações diretas das atividades. Este procedimento permitiu registrar a interação dos alunos com o software Algodoo, as discussões em grupo, as dificuldades enfrentadas e o nível de engajamento nas atividades propostas.

Conversas em Grupo: As discussões e rodas de conversa foram ferramentas essenciais, especialmente durante a etapa de Organização do Conhecimento. Nesses momentos, foi possível captar as hipóteses, os argumentos e a maneira como os alunos construíam coletivamente um vocabulário científico para descrever os fenômenos que simulavam.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, com foco na interpretação dos significados e na compreensão da transformação do pensamento dos alunos. O processo principal consistiu na análise comparativa entre as respostas dos questionários prévio e pós-intervenção. Esta análise não se limitou a quantificar acertos e erros, mas buscou identificar a

transição de um raciocínio baseado no senso comum para uma argumentação fundamentada em conceitos científicos. Os dados obtidos por meio das observações e das conversas em grupo foram utilizados para contextualizar e aprofundar a interpretação das respostas dos questionários, fornecendo evidências sobre como o processo de aprendizagem ocorreu.

FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

4.1 FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

O estudo das ondas é um dos pilares da Física, abrangendo uma vasta gama de fenômenos naturais e aplicações tecnológicas. Ondas são perturbações que se propagam no espaço e em meios materiais, transportando energia e momento (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Em uma onda, o meio oscila em torno de suas posições de equilíbrio sem deslocamento líquido de massa (SEARS et al., 2013). Este comportamento foi inicialmente compreendido através das contribuições de Huygens, Young e Fresnel. As ondas mecânicas, como o som, e as ondas eletromagnéticas, como a luz, são exemplos estudados pela ondulatória, um ramo significativo da Física. Esse estudo é crucial em diversas áreas, desde explicações clássicas sobre a propagação de som e luz, até aplicações modernas em espectroscopia, medicina diagnóstica e telecomunicações (BAUER; WESTFALL, 2015).

Ondas mecânicas envolvem partículas que vibram em torno de suas posições de equilíbrio, transmitindo energia através de interações locais. Ondas longitudinais (ver Figura 1), como o som no ar, têm vibração paralela à propagação, enquanto Ondas transversais (ver Figura 2), como as em cordas, possuem direção de vibração perpendicular à de propagação. A equação de onda, uma equação diferencial de segunda ordem, descreve a propagação dessas ondas. Como segue:



Figura 1 A oscilação ocorre na mesma direção da propagação

Fonte: Autor



Figura 2 A oscilação ocorre perpendicular à direção de propagação.

Fonte: Autor

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (1)$$

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016), ondas se propagam em um meio ou no vácuo, transportando energia sem deslocamento permanente de matéria. São caracterizadas pelo comprimento de onda (λ), frequência (f), velocidade de propagação (v) e amplitude (A). As ondas mecânicas precisam de um meio material para se propagarem, enquanto as eletromagnéticas não necessitam de um meio, podendo se propagar no vácuo. Além disso, podem ser classificadas pela direção de propagação: transversais e longitudinais.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2016), o comprimento de onda (λ) é definido como a distância entre dois pontos consecutivos em fase de uma onda, como duas cristas ou dois vales em ondas transversais, ou duas compressões em ondas longitudinais. A velocidade de qualquer objeto é dada pela razão entre a distância percorrida e o tempo necessário para percorrê-la:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{\text{Distância percorrida}}{\text{Tempo}}. \quad (2)$$

Para ondas periódicas, como uma onda senoidal, a distância percorrida por uma onda em um ciclo completo é o comprimento de onda (λ), e o tempo que a onda leva para completar um ciclo completo é o período (T). O período está relacionado à frequência f pela relação:

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{1}{T}. \quad (3)$$

Substituindo na equação (1), a velocidade da onda é dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow v = \lambda \cdot \frac{1}{T}, \quad (4)$$

ou

$$v = \lambda \cdot f. \quad (5)$$

Esta é a equação fundamental para a velocidade das ondas (v). Ela mostra que a velocidade é o produto do comprimento de onda (λ) e da frequência da onda (f). Se

aumentarmos a frequência, a onda se propaga mais rapidamente (para um dado comprimento de onda), ou, se aumentarmos o comprimento de onda, a velocidade também aumentará (para uma frequência constante). A equação (4), é válida tanto para ondas mecânicas quanto para eletromagnéticas. Em ondas sonoras, por exemplo, a velocidade depende das propriedades do meio: no ar a 20°C, é de aproximadamente 343 m/s, mas pode atingir 1500 m/s na água e mais de 5000 m/s em sólidos

No Sistema Internacional (SI), o comprimento de onda é expresso em metros (m). A frequência (f), por sua vez, é o número de ciclos completos de uma onda que passam por um ponto fixo em um segundo. É medida em hertz (Hz), onde

$$1\text{Hz} = \frac{1}{\text{segundo}^{-1}} = 1 \frac{\text{ciclo}}{\text{segundo}}. \quad (6)$$

Halliday, Resnick e Walker (2016), destacam que a frequência está diretamente relacionada à percepção das características da onda, como o tom no caso das ondas sonoras ou a cor no caso das ondas eletromagnéticas. Esses conceitos são fundamentais para entender a propagação das ondas e sua interação com os meios. Por exemplo, ondas com frequência elevada possuem comprimentos de onda menores, uma característica essencial para diferenciar fenômenos físicos, como luz visível e ondas de rádio. Para descrever uma onda perfeitamente precisamos de uma função senoidal, uma relação $y = h(x, t)$, onde y é o deslocamento transversal de um elemento da corda, toda onda do tipo senoidal pode ser descrita através da função:

$$y(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t). \quad (7)$$

Essa função depende de posição (x) e tempo (t), sendo aplicável para determinar qualquer deslocamento dos elementos da corda ao longo do tempo. O comprimento de onda (λ) refere-se à distância entre repetições da forma da onda ao longo do espaço.

$$y(x, 0) = y_m \text{sen}(kx - \omega \cdot 0), \quad (8)$$

$$y(x, 0) = y_m \text{sen}(kx). \quad (9)$$

Por definição, o deslocamento da onda é o mesmo em dois pontos específicos, ou seja, em $x = x_1$ e $x = x_1 + \lambda$, obtendo-se que:

$$x = x_1 + \lambda, \quad (10)$$

$$y_m \text{sen } k(x_1) = y_m \text{sen } k(x_1 + \lambda), \quad (11)$$

$$y_m \text{sen } k(x_1) = y_m \text{sen } (kx_1 + k\lambda). \quad (12)$$

A função seno apresenta periodicidade quando seu argumento aumenta em 2π . Portanto, a cada incremento de 2π no argumento, obtém-se uma repetição da função, então devemos obter $k\lambda = 2\pi$.

$$k\lambda = 2\pi \rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (13)$$

Obtemos então o parâmetro de número de onda (k), com unidade e medida em radianos por metro ou m^{-1} . Sabemos que a frequência (f) é o número de ciclos completos que a onda realiza por segundo, ou seja, a quantidade de oscilação por unidade de tempo. Matematicamente, a frequência é o inverso do período: Agora, a frequência angular (ω) descreve o número de radianos que a onda percorre por segundo. O movimento de uma onda pode ser visualizado como uma oscilação circular. O ciclo completo de uma onda corresponde a 2π radianos. Então, para saber quantos radianos são percorridos em um segundo, multiplicamos a frequência (f) pelo número de radianos por ciclo:

$$\omega = 2\pi f, \quad (14)$$

ou seja, a frequência angular (ω) é o produto da frequência (f) e a constante 2π , que representa o número de radianos em um ciclo completo. Substituindo a equação (2) na equação (13):

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{1}{T} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (15)$$

Quando uma onda progressiva senoidal é descrita pela função de onda, nas proximidades de $x = 0$ e $t = 0$, o deslocamento é $y = 0$ e a inclinação atinge seu valor positivo máximo.

$$y(0,0) = y_m \text{sen}(k \cdot 0 - \omega \cdot 0), \quad (16)$$

$$y(0,0) = y_m \text{sen}(0), \quad (17)$$

$$y(0,0) = 0. \quad (18)$$

Podemos generalizar a introduzindo uma constante de fase (φ) na função de onda:

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t + \varphi). \quad (19)$$

4.1.2 COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ

O campo da Óptica Geométrica, também conhecido como óptica de raios, estuda a propagação da luz sob a suposição de que ela se desloca em linha reta ao atravessar meios uniformes. Esse comportamento da luz é alterado quando ela encontra a superfície de separação entre meios com propriedades ópticas diferentes ou quando as propriedades do meio apresentam variações no espaço ou ao longo do tempo. No estudo da óptica geométrica, utiliza-se comumente a aproximação de raios, que descreve o movimento da luz como uma linha reta, onde a propagação de ondas pode ser entendida em termos de trajetórias lineares dos raios de luz (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 2013).

A luz é uma forma de radiação eletromagnética composta por ondas que se propagam no espaço sem a necessidade de um meio material. Essa radiação pode ser descrita tanto em termos de sua natureza ondulatória quanto particulada, sendo que, em diferentes contextos, ela pode ser tratada como partículas chamadas fótons ou como ondas. Essa dualidade foi demonstrada por diversos experimentos, como os de Thomas Young e Albert Einstein, e continua a ser um pilar da física moderna (HALLIDAY et al., 2016). Em sua natureza ondulatória, a luz é descrita por ondas eletromagnéticas, nas quais os campos elétrico e magnético oscilam perpendicularmente entre si e à direção de propagação da onda.

A equação da onda para a luz pode ser expressa como:

$$E(x, t) = E_0 \cdot \text{sen}(kx - \omega t), \quad (20)$$

onde E_0 é a amplitude do campo elétrico. A luz, assim como outras ondas eletromagnéticas, viaja a uma velocidade definida no vácuo, $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Os Fenômenos Ondulatórios são comportamentos característicos das ondas quando interagem com diferentes meios ou outras ondas. Esses fenômenos incluem reflexão, refração, interferência, difração e polarização, que explicam como as ondas de luz, som ou outras

radiações se propagam, se alteram ou se combinam. A natureza ondulatória da luz, por exemplo, é fundamental para entender como ela interage com o ambiente e é aplicada em tecnologias como lentes, espelhos e sistemas de comunicação. Esses fenômenos são essenciais para a física e para o desenvolvimento de diversas tecnologias modernas.

4.1.3 REFLEXÃO

A reflexão das ondas é um dos Fenômenos Ondulatórios mais importantes e facilmente observáveis na natureza. Esse fenômeno ocorre quando uma onda atinge a superfície de separação entre dois meios e retorna para o meio de origem. A análise desse comportamento é fundamental para a compreensão da propagação de ondas sonoras, luminosas, eletromagnéticas e mecânicas em diferentes contextos (HALLIDAY et al., 2016). A Lei da Reflexão estabelece que o ângulo de incidência (θ_1) é igual ao ângulo de reflexão (θ_2), medidos em relação à normal à superfície (ver Figura 3). Essa lei é válida tanto para ondas bidimensionais como para ondas tridimensionais e pode ser demonstrada experimentalmente em espelhos, em cordas ou em tanques de ondas (TOLEDO et al., 2012). A equação fundamental associada à reflexão pode ser expressa de forma geométrica:

$$\theta_1 = \theta_2 . \quad (21)$$

Essa igualdade implica que o comportamento direcional da onda refletida é simétrico em relação à normal traçada na superfície de separação. Esse princípio é a base para a formação de imagens em espelhos planos e côncavos, e para o projeto de sistemas de comunicação por reflexão, como o radar (SEARS et al., 2013).

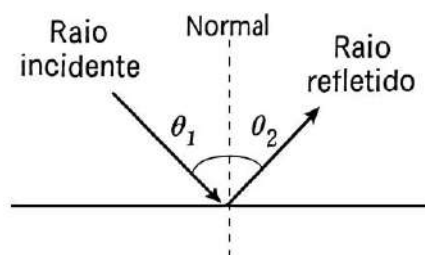


Figura 3: Reflexão, tem sua direção de propagação alterada

Fonte: Auto

Quando uma onda é refletida em uma extremidade fixa, como no caso de uma corda presa, ela sofre inversão de fase. Isso significa que a crista da onda refletida se torna um vale e vice-versa. Em contrapartida, se a extremidade for livre para se mover, a onda refletida não sofre inversão de fase. Esse comportamento pode ser explicado pela aplicação da condição de contorno imposta na interface ⁵(NUSSENZVEIG, 2002).

A reflexão de ondas sonoras dá origem ao fenômeno do eco, percebido quando o som refletido atinge o ouvinte com um intervalo de tempo suficiente em relação ao som direto. Para que um eco seja percebido distintamente, a superfície refletora deve estar a pelo menos 17 metros de distância do ouvinte, considerando a velocidade do som no ar em torno de 340 m/s. Em óptica, a reflexão é utilizada em espelhos para formação de imagens e em dispositivos como periscópios e telescópios. A reflexão total interna é um caso especial que ocorre quando a onda tenta passar de um meio mais refringente para outro menos refringente com ângulo de incidência maior que o ângulo limite, resultando em reflexão completa da onda. Este princípio é a base das fibras ópticas, largamente empregadas em telecomunicações (BAUER; WESTFALL, 2015).

Assim, o fenômeno da reflexão é essencial para diversas aplicações tecnológicas e para o entendimento do comportamento das ondas em meios variados. Sua compreensão permite projetar sistemas de imagem, detecção, navegação e comunicação com precisão e eficiência, integrando fundamentos físicos clássicos com soluções de engenharia modernas.

⁵ Refere-se à análise das regras físicas que devem ser obedecidas no ponto exato onde uma onda encontra uma fronteira ou um obstáculo.

4.1.4 REFRAÇÃO

A refração das ondas é um fenômeno ondulatório que ocorre quando uma onda passa de um meio para outro com propriedades diferentes, como densidade, o que provoca uma mudança em sua velocidade e direção de propagação (ver Figura 4). Esse comportamento é observado em diversos tipos de ondas, como sonoras, eletromagnéticas e ondas em superfícies líquidas (HALLIDAY et al., 2016).

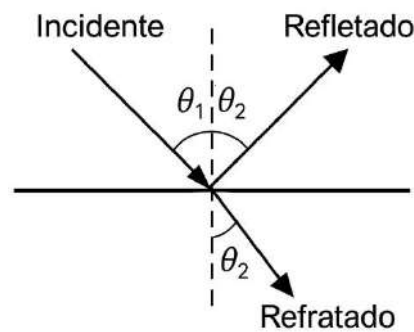


Figura 4: Refração, uma onda passa de meio de propagação para outro

Fonte: Autor

Fisicamente, a refração é causada pela diferença de velocidade que a onda possui nos dois meios. Quando a frente de onda atinge a interface de separação, parte dela muda de direção, obedecendo à conservação da frequência. Como consequência, o comprimento de onda também se altera para manter constante o produto $v = \lambda \cdot f$ (SEARS et al., 2013).

O comportamento da refração é descrito pela Lei da refração de Snell, expressa por:

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2), \quad (22)$$

onde n_1 e n_2 são os índices de refração dos meios, θ_1 é o ângulo de incidência e θ_2 é o ângulo de refração. O índice de refração absoluto de um meio é definido como:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow n \equiv \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade da luz em um meio}}, \quad (23)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo, v é a velocidade da luz no meio considerado, dessa forma, meios com maior índice de refração fazem a luz se propagar mais lentamente. Quando um raio de luz atravessa dois meios diferentes obtemos dois índices de refração: n_1 e n_2 que

podem ser expressos como $n_1 = c/v_1$ ou $n_2 = c/v_2$, substituindo na Lei da refração de Snell, obtemos que:

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2) \rightarrow \frac{c}{v_1} \cdot \text{sen}(\theta_1) = \frac{c}{v_2} \cdot \text{sen}(\theta_2), \quad (24)$$

$$\frac{v_2}{v_1} \cdot \text{sen}(\theta_1) = \text{sen}(\theta_2), \quad (25)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{\text{sen}(\theta_1)}. \quad (26)$$

A velocidade da luz em qualquer material é inferior à sua velocidade no vácuo, onde atinge seu máximo c . A mudança na velocidade da luz num meio de refração ocorre devido às propriedades ópticas do meio. Quando uma onda passa de um meio menos refringente (menor n) para um mais refringente (maior n), ela se aproxima da normal. O contrário ocorre quando a onda vai de um meio mais refringente para um menos refringente. Um exemplo prático é a aparência distorcida de um lápis parcialmente mergulhado em água (BAUER; WESTFALL, 2015). A refração total interna é um caso especial do fenômeno, e ocorre quando uma onda tenta passar de um meio mais refringente para um menos refringente com um ângulo de incidência maior que o ângulo crítico (θ_c), ele pode ser calculado por:

$$\text{sen}(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1}, \quad (27)$$

$$n_1 > n_2. \quad (28)$$

Quando $\theta_1 > \theta_c$, toda a onda é refletida internamente. Esse princípio é fundamental no funcionamento das fibras ópticas, utilizadas em sistemas de telecomunicações e em equipamentos médicos como endoscópios (NUSSENZVEIG, 2002).

A refração também está presente em fenômenos atmosféricos como a formação do arco-íris, que ocorre devido à dispersão da luz solar nas gotas de chuva. A separação das cores acontece porque o índice de refração da água não é o mesmo para todas as cores, mas depende do comprimento de onda da luz (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Isso significa que cada cor do espectro, ao passar do ar para a água, é desviada em um ângulo ligeiramente diferente. A luz violeta, por ter um comprimento de onda menor, sofre um desvio maior do que a luz vermelha, que possui um comprimento de onda mais longo (SEARS et al., 2013). O

resultado dessa separação angular das cores é o espectro visual que reconhecemos como o arco-íris. Portanto, o estudo da refração e da dispersão é essencial para compreender e aplicar conceitos fundamentais da propagação de ondas, sendo um alicerce tanto para a física teórica quanto para diversas aplicações tecnológicas.

4.1.5 INTERFERÊNCIA

A interferência de ondas é um fenômeno ondulatório que ocorre quando duas ou mais ondas se encontram em um mesmo ponto do espaço (ver Figura 5). A superposição dessas ondas resulta em uma nova perturbação cuja amplitude depende das amplitudes individuais e da diferença de fase entre as ondas envolvidas. Esse efeito é característico de ondas coerentes e é evidência da natureza ondulatória da luz, do som e de outras formas de radiação (HALLIDAY et al., 2016).

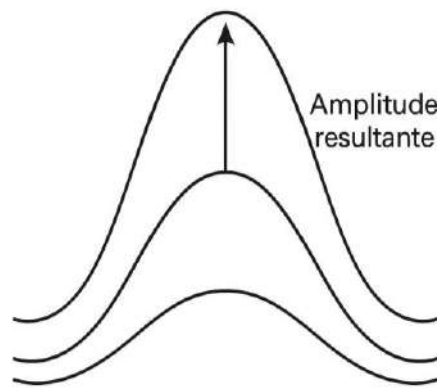


Figura 5: Interferência construtiva, quando duas ou mais ondas se encontram e se combinam para formar uma onda resultante com uma amplitude maior do que as ondas individuais

Fonte: Autor

A interferência pode ser classificada em dois tipos principais: construtiva e destrutiva. A interferência construtiva ocorre quando as cristas e vales das ondas coincidem, aumentando a amplitude resultante. Já a interferência destrutiva ocorre quando uma crista encontra um vale, podendo reduzir ou até anular completamente a amplitude total (TOLEDO et al., 2012). Considere r_1 como a distância entre um ponto arbitrário P e a fonte S_1 , e r_2 como a distância entre o mesmo ponto P e a fonte S_2 . Para que ocorra interferência construtiva no ponto P , a diferença de caminho $r_2 - r_1$ entre as duas fontes deve ser um múltiplo inteiro do comprimento de onda λ .

$$\Delta r = r_2 - r_1 = m \cdot \lambda, \text{ onde } m \in \mathbb{Z}. \quad (29)$$

Essa condição garante que as ondas provenientes de S_1 e S_2 cheguem ao ponto P em fase, resultando na amplificação da amplitude da onda resultante. A interferência destrutiva é um fenômeno ondulatório que ocorre quando duas ondas com mesma frequência e amplitudes iguais, mas com fases opostas (ou seja, uma crista coincide com um vale), se sobrepõem (ver Figura 6). O resultado dessa superposição é a redução ou anulação da amplitude da onda resultante.

$$\Delta r = r_2 - r_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda, \text{ onde } m \in \mathbb{Z}. \quad (30)$$

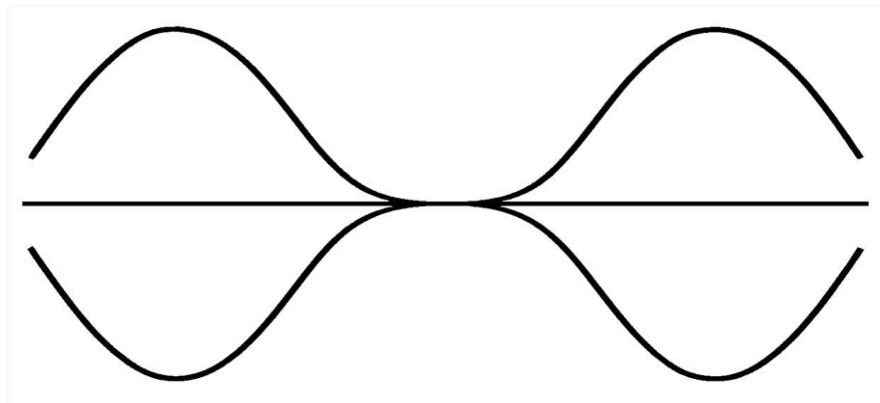


Figura 6: Interferência destrutiva, ocorre quando duas ondas se encontram e se combinam de forma que suas amplitudes se anulam, resultando em uma onda resultante com amplitude menor ou nula

Um dos experimentos mais importantes da história da física que demonstra a interferência foi realizado por Thomas Young em 1800 (ver Figura 7). No experimento de fenda dupla, uma fonte coerente de luz incide sobre duas fendas estreitas, produzindo padrões de franjas claras e escuras em um anteparo, devido à interferência das frentes de onda provenientes das duas fendas. A posição das franjas brilhantes no anteparo pode ser calculada por:

$$y = m \cdot \lambda \cdot \frac{L}{d}, \text{ onde } m \in \mathbb{Z}. \quad (31)$$

Nessa equação, y representa a posição da franja brilhante de ordem m no padrão de interferência observado. A variável L corresponde à distância entre o anteparo e as fendas pelas quais a luz passa. A separação entre as fendas é indicada por d , enquanto λ representa o comprimento de onda da luz utilizada no experimento. Por fim, m é o número da franja, um número inteiro pertencente ao conjunto dos inteiros ($m \in Z$), que identifica a ordem da franja em relação ao centro do padrão.



Figura 7: Interferência construtiva na experiência de Young, ocorre quando duas ondas se sobrepõem de forma que seus picos e vales se alinhem, resultando em uma onda com amplitude maior

Fonte: Autor

Esse padrão de interferência também ocorre com ondas de água, som e até com partículas subatômicas, como elétrons, demonstrando a dualidade onda-partícula na mecânica quântica. Experimentos com elétrons individuais mostram que, mesmo lançados um a um, eles formam um padrão de interferência ao longo do tempo, reforçando a interpretação ondulatória (NUSSENZVEIG, 2002). Na engenharia, a interferência é explorada em aplicações como interferômetros ópticos, usados em metrologia de alta precisão, em sistemas de comunicação para cancelamento de ruído, e em sensores que detectam variações mínimas de posição e deformação. A compreensão do fenômeno de interferência é essencial para o design de antenas e para a construção de redes ópticas coerentes (SEARS et al., 2013). Portanto, a interferência de ondas é um fenômeno fundamental na física e nas engenharias, com implicações tanto teóricas quanto práticas. De fato, a análise desses fenômenos fornece a base para o desenvolvimento de tecnologias que vão desde fibras ópticas para telecomunicações e instrumentos de precisão como interferômetros ópticos, até sistemas de cancelamento de ruído e filtros polarizadores usados em câmeras e óculos.

4.1.6 DIFRAÇÃO

A difração das ondas é um fenômeno ondulatório que ocorre quando uma onda encontra um obstáculo ou passa por uma abertura, provocando um desvio ou espalhamento da sua trajetória (ver Figura 8). Esse fenômeno é especialmente evidente quando o tamanho da abertura ou obstáculo é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação incidente. A difração é uma das provas experimentais da natureza ondulatória da luz e é observável em ondas sonoras, ondas em superfícies líquidas e ondas de matéria (HALLIDAY et al., 2016). O fenômeno da difração pode ser interpretado com base no princípio de Huygens-Fresnel, segundo o qual cada ponto de uma frente de onda atua como uma fonte de ondas secundárias.

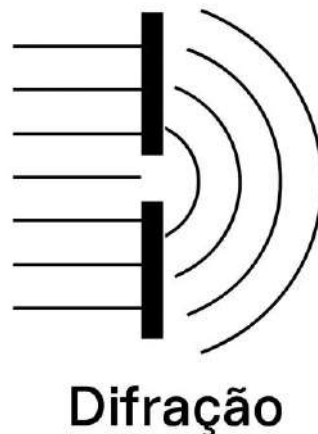


Figura 8: Difração, ao encontrarem um obstáculo ou passarem por uma abertura, se espalham ou contornam esse obstáculo, alterando sua direção de propagação.

Fonte: Autor

Quando uma onda encontra uma fenda estreita, cada ponto ao longo da fenda atua como origem de ondas circulares que se sobrepõem e se espalham após a passagem, formando padrões de interferência (NUSSENZVEIG, 2002). No caso de difração por fenda simples, o padrão observado em um anteparo consiste em uma franja central brilhante e franjas laterais de intensidade decrescente. A posição dos mínimos de intensidade é determinada pela relação:

$$\text{sen}(\theta) = \frac{m \cdot \lambda}{a}, \text{ onde } m \in \mathbb{Z}. \quad (32)$$

Nesse caso, a representa a largura da fenda por onde a onda passa. O ângulo θ refere-se à direção em que se observa a difração, medido em relação à direção original de propagação da onda. O comprimento de onda da radiação incidente é representado por λ . Já m é um número inteiro diferente de zero ($\pm 1, \pm 2, \dots$) que indica a ordem dos mínimos de intensidade no padrão de difração. A difração também ocorre em redes de difração, que são superfícies com múltiplas fendas igualmente espaçadas. Essas estruturas produzem padrões de interferência muito mais definidos e são amplamente utilizadas em espectroscopia óptica para separar luz em seus comprimentos de onda componentes. Na acústica, a difração permite que ondas sonoras contornem obstáculos e cheguem a regiões não diretamente acessíveis por linha reta. Isso explica por que conseguimos ouvir uma conversa mesmo sem ver a fonte sonora. Em rádio e telecomunicações, a difração de ondas de baixa frequência permite que sinais contornem montanhas e edifícios, facilitando a cobertura em áreas urbanas e rurais (TOLEDO et al., 2012).

Do ponto de vista teórico e prático, a difração é um fenômeno essencial para compreender a propagação realista das ondas, especialmente em ambientes não ideais. Sua análise é fundamental no projeto de equipamentos ópticos, sistemas de comunicação, sensores e instrumentos científicos como microscópios e telescópios. A capacidade de manipular os padrões de difração é uma ferramenta poderosa em tecnologias que dependem da interação controlada de ondas com barreiras e estruturas (SEARS et al., 2013). A polarização é um fenômeno ondulatório exclusivo de ondas transversais, como as ondas eletromagnéticas. Ela descreve a orientação da direção de oscilação do campo elétrico em relação à direção de propagação da onda. Em uma luz não polarizada⁶, o campo elétrico vibra em múltiplas direções perpendiculares ao sentido da propagação. Após a polarização, a vibração se restringe a um único plano (SEARS et al., 2013).

4.1.7 POLARIZAÇÃO

A polarização pode ocorrer por reflexão, refração, dispersão ou através do uso de dispositivos como polarizadores (ver Figura 9). Quando uma onda luminosa passa por um polarizador linear, apenas a componente do campo elétrico alinhada com o eixo de polarização é transmitida. A intensidade da luz transmitida é descrita pela Lei de Malus:

⁶ Luz em que as ondas eletromagnéticas vibram em múltiplas direções perpendiculares à sua direção de propagação.

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\theta). \quad (33)$$

Nessa equação, I representa a intensidade da luz transmitida após passar por um polarizador. A variável I_0 corresponde à intensidade da luz incidente antes da polarização. O ângulo θ é definido como o ângulo entre a direção da luz polarizada e o eixo de transmissão do polarizador. Esses elementos estão relacionados pela Lei de Malus, que descreve como a intensidade da luz varia em função da orientação do polarizador.

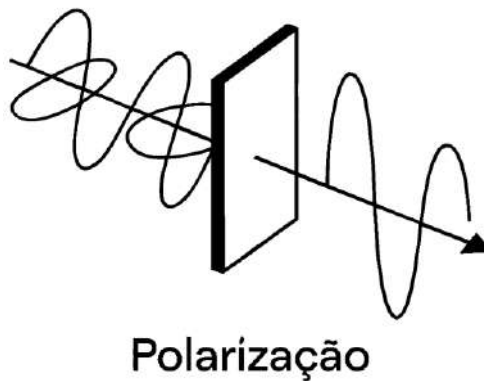


Figura 9: Polarização, ocorre com ondas transversais, como ondas eletromagnéticas, onde a direção de vibração da onda é restringida a um único plano ou orientação

Fonte: Autor

A polarização por reflexão é observada quando a luz incide sobre uma superfície dielétrica com um ângulo específico conhecido como ângulo de Brewster⁷. Nesse ponto, a luz refletida torna-se totalmente polarizada na direção perpendicular ao plano de incidência. O ângulo de Brewster é determinado por:

$$\tan(\theta_B) = \frac{n_2}{n_1}. \quad (34)$$

Nesse caso, θ_B representa o ângulo de Brewster, as variáveis n_1 e n_2 correspondem aos índices de refração dos dois meios envolvidos na interface, sendo n_1 o índice do meio de onde a luz incide e n_2 o índice do meio em que a luz é transmitida. Esse princípio é aplicado em filtros de câmera e óculos polarizados (BAUER; WESTFALL, 2015). A polarização também tem

⁷ O ângulo de Brewster, também conhecido como ângulo de polarização, é um ângulo de incidência específico no qual a luz com uma determinada polarização é perfeitamente transmitida através de uma superfície dielétrica transparente, sem qualquer reflexão.

implicações práticas na engenharia e ciência. Em telecomunicações, técnicas de polarização são utilizadas para transmitir múltiplos sinais em uma mesma frequência, distinguindo-os pelo estado de polarização. Em microscopia, a polarização revela detalhes estruturais em materiais biológicos. Na astronomia, mede-se a polarização da luz vinda de estrelas e galáxias para obter informações sobre campos magnéticos e poeira interestelar (HALLIDAY et al., 2016). Do ponto de vista teórico, a polarização confirma a natureza transversal da radiação eletromagnética, já que a orientação do campo elétrico pode ser manipulada sem afetar sua direção de propagação. Compreender e aplicar esse conceito é essencial para o avanço da óptica, física moderna e tecnologias baseadas em luz.

A discussão apresentada neste capítulo detalhou os conceitos, leis e fenômenos que constituem a base científica da ondulatória, dialogando com autores de referência na área. Este aprofundamento teórico foi essencial para delimitar com o conhecimento científico que serve como objeto da nossa proposta de ensino. Contudo, a formalidade e o alto grau de abstração de muitos desses conceitos, como interferência e polarização, frequentemente os tornam distantes da realidade dos estudantes do Ensino Médio, reforçando a percepção da Física como uma disciplina de difícil acesso e gerando desengajamento. É precisamente para transpor essa barreira entre o formalismo científico e a aprendizagem que a presente pesquisa se estrutura. Tendo estabelecido o "o quê" ensinar, o foco agora se desloca para o "como" ensinar de maneira que o conhecimento seja construído ativamente pelo aluno. O próximo capítulo, portanto, mergulha na prática pedagógica, descrevendo a aplicação da Sequência de Ensino fundamentada nos Três Momentos Pedagógicos. Será demonstrado como essa estratégia, que valoriza o diálogo e a problematização, foi mediada pelo software *Algodo*, uma ferramenta que transforma conceitos abstratos em modelos visuais e interativos. O objetivo é evidenciar como essa abordagem integrada pode promover uma aprendizagem mais crítica, engajadora e alinhada à cultura digital dos estudantes.

INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este trabalho faz parte de um mestrado profissionalizante e apresenta uma proposta para o Ensino de Física. A ideia é usar as TDIC, usando o referencial Pierre Lévy, junto com uma Sequência de Ensino baseada nos 3MP de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) que são embasados no método Paulo Freire. O objetivo era criar uma sequência de aulas sobre Fenômenos Ondulatórios. Nessa sequência, o *Algodoo* será usado para criar situações-problema e ajudar os alunos a aprenderem por meio de simulações. Com isso, incentivar a construção do conhecimento em grupo, seguindo as ideias de Pierre Lévy sobre inteligência coletiva.

6.1 SEQUÊNCIAS DE ENSINO BASEADA NOS 3MP PARA FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Primeiro Momento - Problematização Inicial

Duração: 2 h/a (1h20min).

Este primeiro momento serve para criar uma "ligação deste conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29). Começaremos levantando o que os alunos já sabem sobre ondas, utilizando um questionário prévio. Depois, usando o *Algodoo*, apresentaremos uma situação-problema inicial. Por exemplo, podemos simular como as ondas se comportam em diferentes meios e mostrar o comportamento ondulatório da luz. O objetivo desta etapa é despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, fazendo com que eles "exponham suas hipóteses e compreensões iniciais sobre o tema" (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 201, adaptado). A ideia é criar uma "necessidade genuína de aprendizado" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29), fazendo com que eles reflitam sobre suas próprias ideias. Usar simulações com o *Algodoo*, neste momento, pode ser visto como uma forma de virtualização da experiência. No sentido que Lévy (1996) dá à palavra, virtualização não é tornar algo irreal, mas sim causar uma "mutação de identidade, um deslocamento do centro de gravidade ontológico do objeto considerado" (LÉVY, 1996, p. 16). Isso permite que os problemas sejam explorados de forma dinâmica.

Segundo Momento: Organização do Conhecimento

Duração: 2 h/a (1h20min).

Nesta fase, "os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados [...] sob orientação do professor" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 30). Os alunos usarão o *Algodo* para fazer simulações ligadas diretamente ao problema inicial, Fenômenos Ondulatórios da luz, eles poderão mudar variáveis como frequência, amplitude e velocidade das ondas, e observar na hora os efeitos dessas mudanças.

O professor agirá como um mediador, ajudando os alunos a relacionarem e organizar as informações e os dados que conseguiram durante as simulações. Assim, ele os guiará na construção dos conceitos científicos importantes. Esta fase será essencial para que os alunos construam o conhecimento juntos e de forma reflexiva, promovendo a "ruptura entre o conhecimento do estudante e o conhecimento sistematizado" (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 196).

O *Algodo*, como uma tecnologia da inteligência (LÉVY, 1993), permitirá ver conceitos abstratos, como exemplo a formação de ondas estacionárias ou a interferência, facilitando o entendimento dos modelos científicos. A colaboração entre os alunos, incentivada pela discussão das simulações e pela chance de compartilhar modelos e resultados no ambiente digital, também combina com os princípios da inteligência coletiva. Segundo Lévy (1998, p. 27), essa inteligência envolve "o aprendizado recíproco como mediação das relações entre os homens". O ciberespaço, aqui representado pelo ambiente de simulação e interação, se torna um "espaço do saber" (LÉVY, 1998), onde as habilidades de cada um são usadas para um entendimento comum.

Terceiro Momento: Aplicação do Conhecimento

Duração: 2 h/a (1h20min).

Nesta etapa final, os alunos voltarão ao problema inicial, mas agora com o conhecimento científico que organizaram. Eles serão desafiados a resolver novas situações-problema e a usar os conceitos que aprenderam em contextos diferentes. Como dizem Delizoicov e Angotti (1990a, p. 31), este momento "Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e

interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento." Esta etapa envolve criar simulações mais complexas no *Algodo*, ligando a teoria e a prática de forma sólida. Isso promove o uso dos conhecimentos em situações próximas à realidade deles e incentiva uma atitude crítica e reflexiva, de acordo com a proposta de Freire (1987) de uma educação que transforma. Este processo de aplicar e criar no *Algodo* pode ser visto como uma forma de atualização do conhecimento que foi virtualizado. Para Lévy (1996, p. 16), "a atualização aparece então como a solução de um problema, uma solução que não estava contida previamente no enunciado. A atualização é criação, invenção de uma forma a partir de uma configuração dinâmica de forças e de finalidades".

Essas atividades, focadas na construção de modelos virtuais de Fenômenos Ondulatórios no *Algodo*, têm o objetivo de aplicar conceitos de Física de um jeito prático e investigativo. A proposta de ensino busca transformar a sala de aula em um lugar dinâmico de investigação científica, um ambiente de cibercultura. Lévy (1999, p. 17) "de práticas, de atitudes, de modos de pensamento e de valores que se desenvolvem juntamente com o crescimento do ciberespaço". Nesse ambiente, os alunos se tornam os principais agentes de sua própria aprendizagem, desenvolvendo habilidades importantes para resolver problemas e trabalhar em grupo, praticando a inteligência coletiva.

Tabela 1 - Proposta de Sequência de Ensino conforme os 3 Momentos Pedagógicos.

ENCONTROS	CONTEÚDO	MOMENTO	ATIVIDADES	RECURSOS
1º (2 h/a)	<ul style="list-style-type: none"> • Característica de uma onda. • Comportamento Ondulatório da Luz. • Reflexão. • Refração 	Primeiro Momento: <i>Problematização Inicial</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão inicial com perguntas norteadoras. • Apresentação da situação problema. • Introdução ao <i>Algodo</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário Prévio. • Computadores com <i>Algodo</i>. • Projetor.

2° (2 h/a)		Segundo Momento: <i>Organização do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Exploração do Algodoo • Discussão em Grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadores com Algodoo
3° (2 h/a)		Terceiro Momento: <i>Aplicação do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação e Feedback. • Avaliação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário de avaliação. • Computadores com Algodoo
4° (2 h/a)	<ul style="list-style-type: none"> • Interferência. • Difração. • Polarização. 	Primeiro Momento: <i>Problematização Inicial</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão inicial com perguntas norteadoras. • Apresentação da situação problema. • Introdução ao Algodoo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário Prévio. • Computadores com Algodoo. • Projetor. •
5° (2 h/a)		Segundo Momento: <i>Organização do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Exploração do Algodoo. • Discussão em Grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadores com Algodoo
6° (2 h/a)		Terceiro Momento: <i>Aplicação do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação e Feedback. • Avaliação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário de avaliação. <p>Computadores com Algodoo</p>

6.2 ALGODOO

O *Algodoo* é um software de simulação 2D interativo, desenvolvido pela Algoryx Simulation AB, que permite a criação de cenas dinâmicas de forma intuitiva e divertida. Com ferramentas de desenho simples, como caixas, círculos e engrenagens, o usuário pode construir simulações interativas e explorar conceitos físicos como gravidade, atrito, luz e movimento. O software é amplamente utilizado na educação para estimular a criatividade e o aprendizado de física de maneira prática. Além disso, conta com a *AlgoBox*, uma biblioteca com mais de 50.000 cenas compartilhadas por usuários. O *Algodoo* está disponível para Windows e macOS, sendo otimizado para dispositivos interativos como SMART Board e Intel Classmate PC.

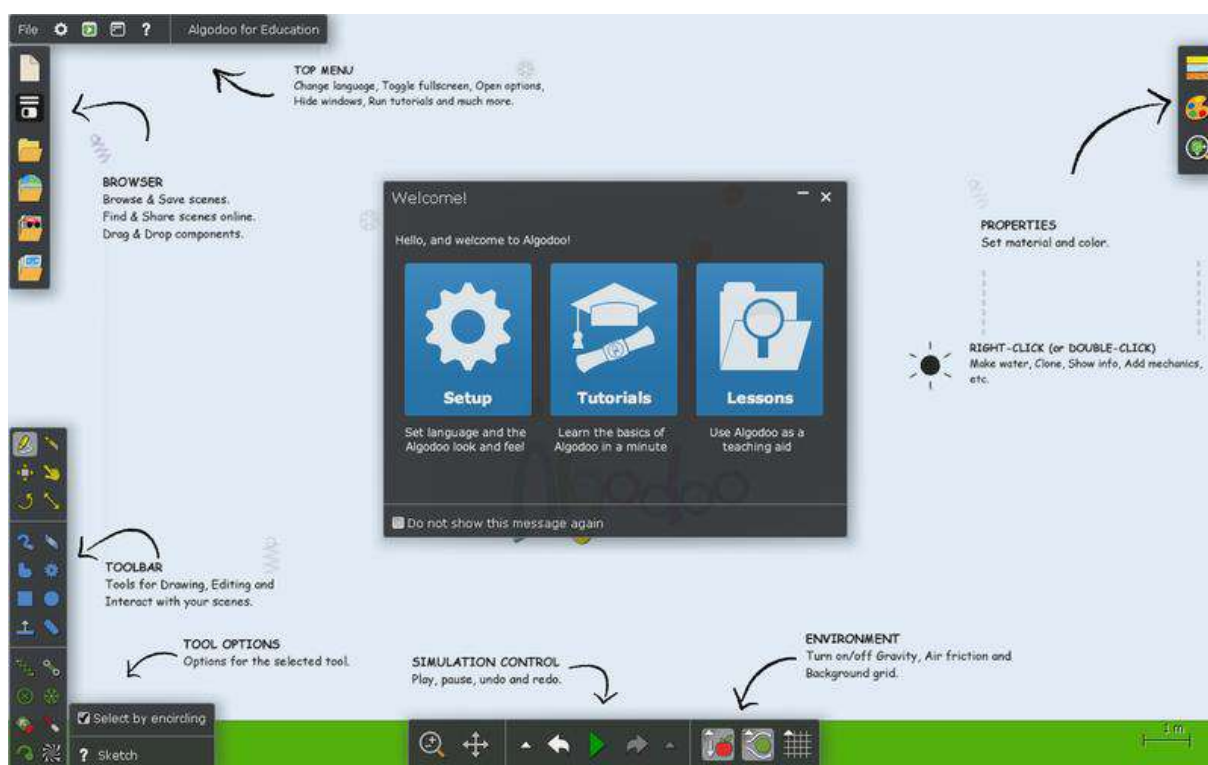


Figura 10: Tela inicial do Algodoo

Fonte: https://www.algodoo.com/mainpage/wp-content/uploads/2013/03/800px-New_algodoo.png

O *Algodoo* oferece uma plataforma onde a modelagem computacional em duas dimensões possibilita a criação de simulações. A página do *Algodoo* disponibiliza o *AlgoBox*, um espaço acessível tanto online quanto diretamente pelo software, onde os usuários podem compartilhar suas criações (ver Figura 10). Nesse ambiente, é possível encontrar diversas simulações que exploram conceitos físicos, permitindo que o usuário as aprimore e adapte conforme suas necessidades. Através da barra de ferramentas, situada na parte inferior esquerda

da interface, o usuário pode desenhar diversas formas geométricas, como círculos, retângulos, triângulos e engrenagens. Uma vez criada a simulação desejada, o menu de controle, localizado na parte inferior da área de trabalho, permite iniciar a simulação e observar os resultados (ver Figura 19). Esses resultados podem ser analisados por meio de gráficos gerados pelo software. Além disso, o menu de controle possibilita a alteração de fatores ambientais, como gravidade, resistência do ar e atrito. *Algoryx Simulation AB* distribui o *Algodoo* gratuitamente, tornando-o acessível a todos. O software, voltado para a educação científica, especialmente a física, possibilita a simulação de fenômenos naturais, quantificando-os de acordo com as leis da física.

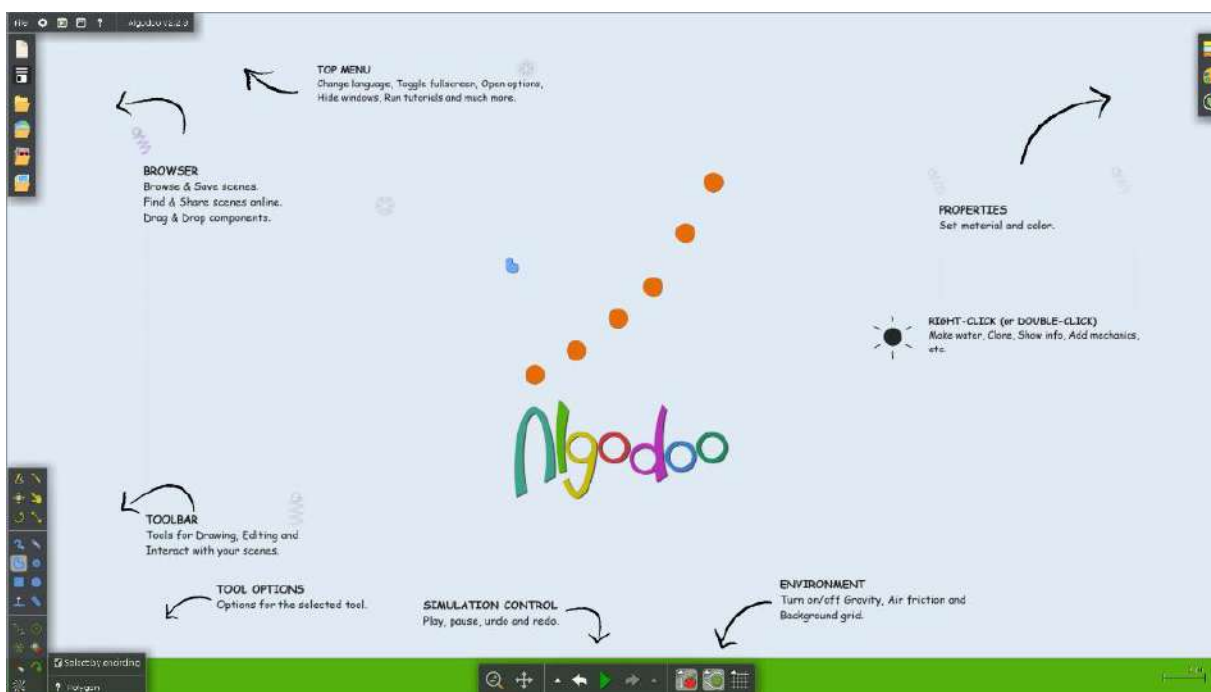


Figura 11 : Interface do Algodoo

Fonte: <https://www.algodoo.com/download>

O *Algodoo* pode ser obtido gratuitamente em seu site, sem necessidade de registro. A página do software também oferece um fórum com informações adicionais e tutoriais (ver Figura 11). A interface do *Algodoo* é colorida e intuitiva, com ferramentas de fácil uso e compatibilidade com telas sensíveis ao toque. Os menus estão organizados de forma clara, facilitando a criação de simulações e a modificação de variáveis que influenciam os resultados.

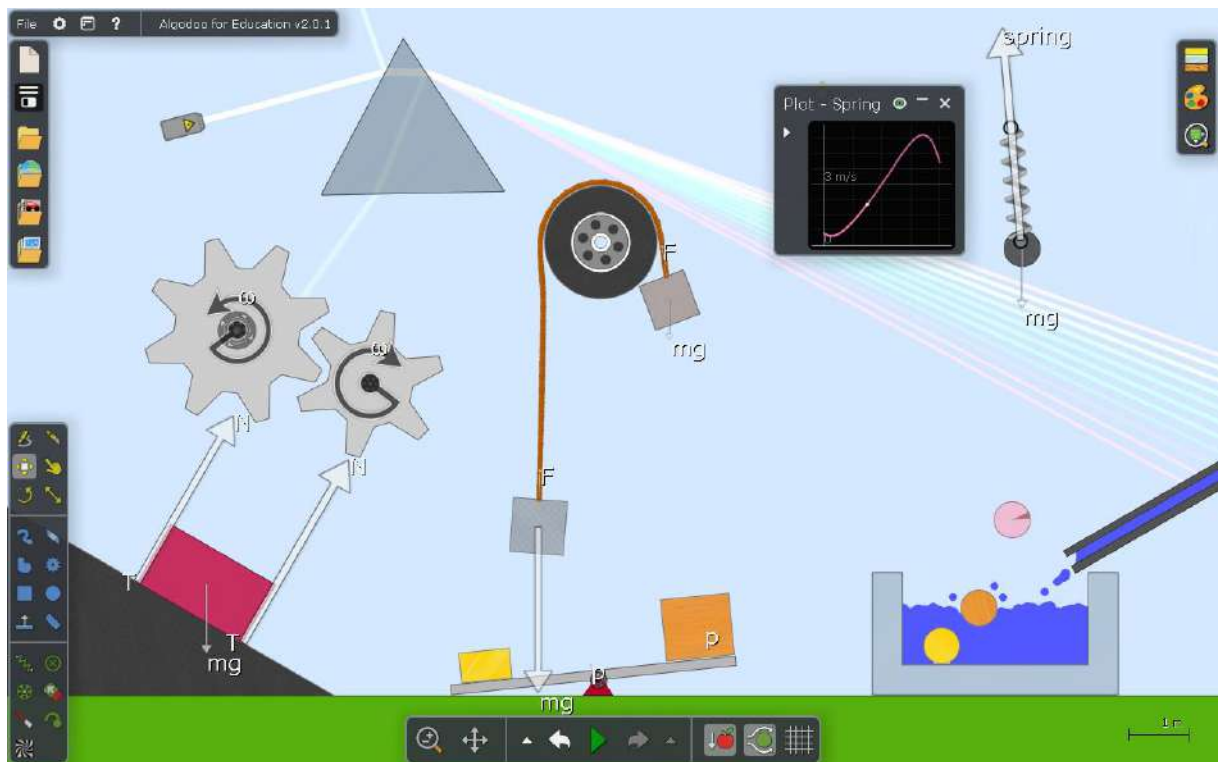


Figura 12 Funcionalidades do Algodoo

Fonte: https://www.algodoo.com/mainpage/wp-content/uploads/2013/03/algodoo_for_education_start.png

Download: Acesse o site oficial do *Algodoo* <<https://www.Algodoo.com/>> e baixe a versão compatível com seu sistema operacional. Instale o software seguindo as instruções na tela.

6.3 INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

A Sequência de Ensino elaborada foi aplicada em uma intervenção pedagógica na escola 2º Colégio da Polícia Militar Cel. Hervano Macedo Junior, localizada em Juazeiro do Norte, Ceará. A intervenção ocorreu durante as aulas da eletiva⁸ de Fenômenos Ondulatórios, e estendeu-se por um período de seis semanas, com um encontro semanal em sala de aula e um período designado para estudo e reflexão dos alunos na escola. A abordagem pedagógica adotada buscou inovar os métodos tradicionais de ensino, priorizando a experimentação e a simulação como ferramentas centrais para a construção do conhecimento. A utilização do software *Algodo* permitiu aos alunos explorarem conceitos abstratos de forma interativa e visual, facilitando a compreensão de fenômenos complexos.

A intervenção foi estruturada em dois ciclos, com a metodologia dos 3MP distribuída ao longo das seis semanas, proporcionando uma imersão progressiva e aprofundada no conteúdo. O primeiro ciclo, que ocupou as três primeiras semanas, focou-se nos fundamentos da ondulatória, abordando as características de uma onda, o comportamento ondulatório da luz, a reflexão e a refração. O segundo ciclo, decorrido entre as semanas quatro e seis, aprofundou o estudo em fenômenos mais complexos, como a interferência, a difração e a polarização.

1º Encontro: - Problematização Inicial

O primeiro encontro foi dedicado a imergir os alunos no tema e a diagnosticar suas concepções prévias sobre as características de uma onda e o comportamento ondulatório da luz. A aula iniciou-se com a aplicação de um questionário prévio. Em seguida, a discussão sobre questões como "Por que se ouve um eco?" revelou um forte apelo ao senso comum. Os alunos, de forma colaborativa, recorreram a analogias cotidianas, comparando o eco com a diferença acústica entre falar em uma sala vazia, onde o som "bate e volta", e em uma sala com móveis, que "absorvem o som". Para explicar as ondas do mar, a criatividade levou a hipóteses que as relacionavam a abalos sísmicos. Esse debate inicial, rico em "saberes de experiência feita" (FREIRE, 1996), foi fundamental para o professor mapear o ponto de partida da turma e validar suas vozes no processo de aprendizagem.

⁸ As Eletivas são um dos componentes mais importantes e inovadores do Novo Ensino Médio no Brasil. Elas foram criadas para dar mais flexibilidade, autonomia e protagonismo ao estudante, permitindo que cada um personalize parte do seu aprendizado de acordo com seus interesses e objetivos.



Figura 13: Aplicação do questionário prévio antes do primeiro contato com o conteúdo.

A análise do questionário prévio (ver Apêndice C) revela um panorama diagnóstico do "saber de experiência feito" (FREIRE, 1996) dos alunos, onde o conhecimento sobre Fenômenos Ondulatórios se mostra fragmentado e fortemente ancorado no senso comum. Na Figura 13, mostramos o momento da aplicação do questionário. Para questões sobre a natureza da luz, as respostas oscilam entre a incerteza, como em *"um tipo de onda (?)"*, e definições funcionais, como *"uma claridade que ilumina locais escuros"*, embora alguns já apresentem termos científicos como *"onda eletromagnética"* ou *"energia produzida por Fótons"*, geralmente de forma desarticulada. Fenômenos diretamente observáveis, como a reflexão, são descritos de maneira funcional *"quando a luz bate em algo e volta"*, mas sem aprofundamento dos seus princípios. Já para conceitos mais abstratos como difração e interferência, o desconhecimento é predominante, com respostas como *"Não sei"* sendo recorrentes.

Quando tentam explicar fenômenos complexos como o arco-íris, os alunos recorrem a relações de causa e efeito simplistas, como *"porque a luz passa pelas gotas da água"*, sem articular os múltiplos processos envolvidos. Este cenário inicial valida a pertinência da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, que parte exatamente desta "leitura de mundo" inicial para problematizá-la e, a partir dela, construir um conhecimento científico mais crítico e estruturado.

2º Encontro: Organização do Conhecimento

Este encontro foi o momento de confrontar o senso comum com a experimentação científica virtual. O professor iniciou a aula apresentando o software *Algodo* aos alunos utilizando situação problema, em duplas, os alunos foram guiados a explorar o *Algodo* (ver Figura 14), não apenas como espectadores, mas como agentes. Eles criaram simulações de ondas em cordas, manipulando ativamente variáveis como frequência e amplitude. O professor circulou pela sala, provocando reflexões: *"O que acontece com a forma da onda quando vocês aumentam a frequência? E com a energia que ela parece carregar?"*. A partir dessa exploração prática e visual, os conceitos de comprimento de onda, frequência, amplitude e velocidade de propagação foram sendo construídos e sistematizados coletivamente no quadro, não como termos abstratos, mas como descrições diretas do que eles próprios haviam observado e manipulado.



Figura 14: Alunos tendo o primeiro contato com o Algodo.

3º Encontro: Aplicação do Conhecimento

Para consolidar o aprendizado do primeiro ciclo, o foco foi a aplicação criativa dos conceitos de reflexão e refração. O desafio proposto foi o de recriar, no *Algodo*, experimentos ópticos clássicos. Os grupos se engajaram na tarefa e surgiram projetos notáveis (ver Figuras 15 e 16), como a simulação detalhada de lentes côncavas e convexas, onde os alunos se esforçaram para demonstrar a formação de focos e a diferença entre imagens reais e virtuais.

Outros grupos construíram prismas para visualizar a dispersão da luz branca em um espectro de cores, e alguns recriaram com precisão o famoso efeito do desvio da luz ao passar por diferentes meios, simulando o lápis "quebrado" na água. Cada grupo tornou-se "dono" de seu experimento, apresentando-o aos colegas e explicando os princípios físicos envolvidos.

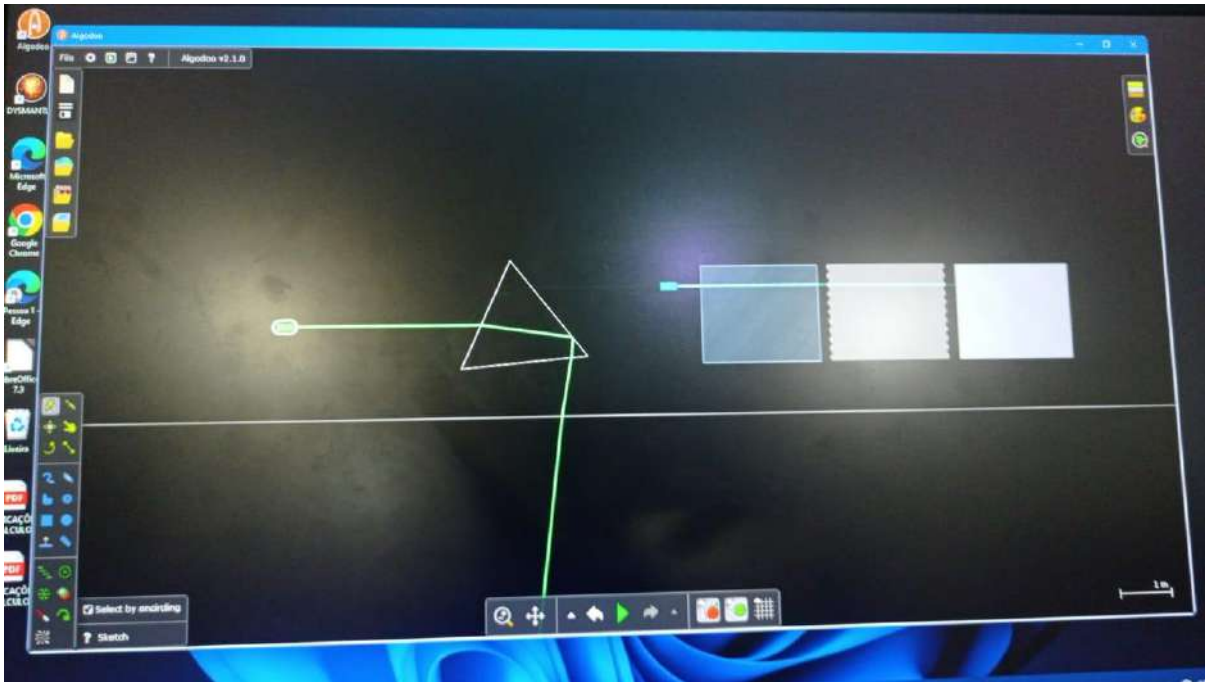


Figura 15: Simulação produzida pelos alunos de uma equipe A: luz atravessando um prisma.

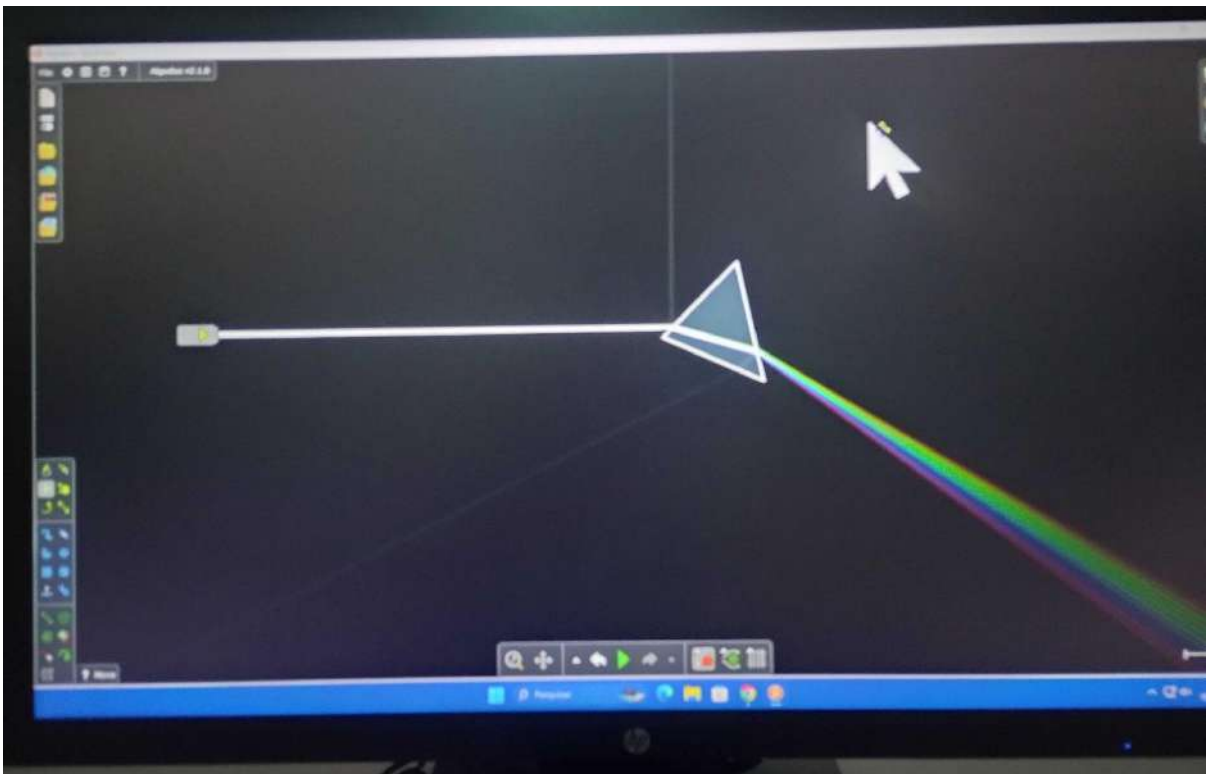


Figura 16: Simulação produzida pelos alunos de uma equipe B: luz atravessando um prisma.

4º Encontro: Problematização Inicial

O segundo ciclo começou com a introdução de fenômenos mais complexos: interferência, difração e polarização. Novas situações-problema foram apresentadas, como *"Por que vemos padrões coloridos e iridescentes⁹ em bolhas de sabão?"* ou *"Como os óculos 3D de cinema conseguem criar a sensação de profundidade?"*. A discussão dessas questões visou criar nos alunos uma necessidade de buscar novas explicações científicas para além do que já haviam estudado, reiniciando o ciclo de investigação, novas simulações mais elaboradas foram produzidas (ver Figuras 17).

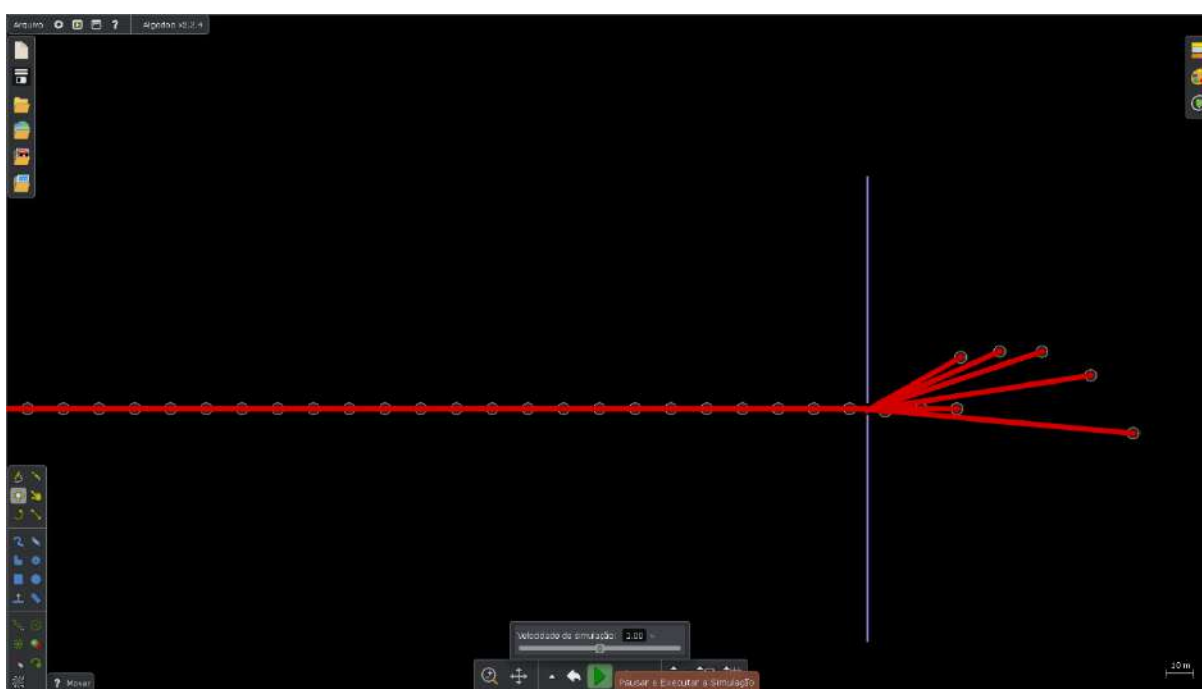


Figura 17: Simulação produzida pelos alunos: experimento de young

5º Encontro: Organização do Conhecimento

O foco deste encontro foi a exploração guiada dos novos fenômenos. Utilizando o Algodoó, os alunos, em duplas, simularam a difração da luz ao passar por fendas e os padrões de interferência (ver Figura 18). A maior barreira encontrada pelos alunos não foi visual, mas sim linguística. Nas duplas, era nítida a dinâmica de colaboração: um aluno apontava para a tela, tentando descrever o que via, enquanto o colega buscava uma analogia, dizendo coisas como *"parece que a onda se abre"* ou *"aqui a luz some quando uma onda encontra a outra"*. Surgiam

⁹ Iridescente é um adjetivo que descreve algo que exibe cores do arco-íris, que mudam de tonalidade conforme o ângulo de visão ou a incidência da luz.

debates e questionamentos entre eles sobre porque isso acontecia, mas a dificuldade em nomear os fenômenos era uma constante. Esse momento de exploração e novas descobertas foi aprofundado na roda de conversa que se seguiu. Quando um grupo compartilhava o que havia observado, outros complementavam com suas próprias visualizações, socializando um desafio que se revelou coletivo. A partir dessas interações e com a mediação do professor, que organizou as ideias e conectou as descrições dos alunos aos termos formais, a turma construiu coletivamente o vocabulário científico necessário.

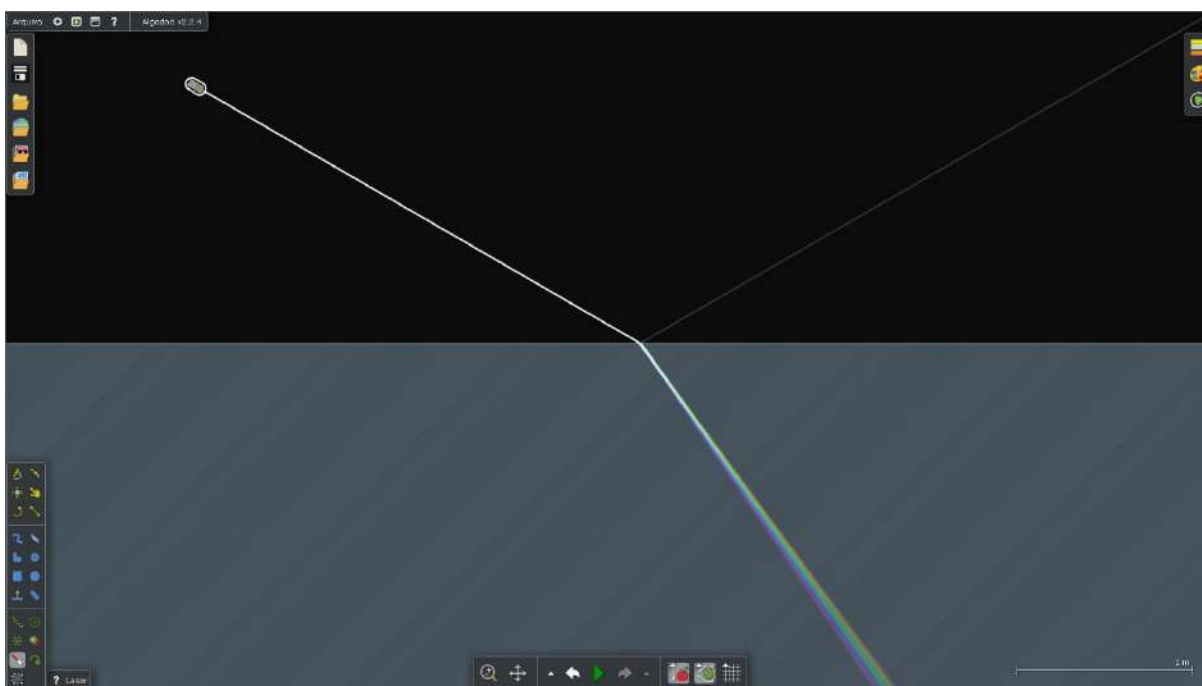


Figura 18: Simulação produzida pelos alunos: refração da luz

Expressões como "interferência construtiva" e "interferência destrutiva" ganharam sentido prático, pois nomeavam exatamente os padrões de luz e sombra que eles haviam acabado de criar e manipular na simulação, foi possível notar também a melhora na qualidade das simulações, ou seja a apropriação que tiveram no simulador Algodoo.

6º Encontro: Aplicação do Conhecimento e Avaliação Final

No último encontro, os alunos foram desafiados a atuar como verdadeiros comunicadores da ciência. Em grupos, desenvolveram um projeto final no Algodoo, criando uma simulação mais elaborada para explicar um dos fenômenos complexos estudados (ver Figuras 19). O ápice da Sequência de Ensino foi a elaboração e apresentação dos projetos finais, momento que ocorreu durante a culminância de eletivas da escola, um evento aberto a toda a

comunidade escolar. Para esta etapa, os grupos foram desafiados a escolher um dos fenômenos ondulatórios complexos estudados, como difração, interferência ou dispersão, e a criar no *Algodo* uma simulação original e explicativa. Os projetos foram notáveis e apropriação dos conceitos: um grupo recriou com precisão o experimento da fenda dupla de Young, demonstrando visualmente os padrões de interferência construtiva e destrutiva; outro grupo projetou um modelo detalhado de um prisma, explicando a dispersão da luz branca e a formação do espectro de cores; um terceiro grupo simulou o funcionamento de lentes convergentes e divergentes para mostrar a formação de imagens.

No dia da apresentação, utilizando notebooks conectados a projetores, cada equipe se posicionou em frente ao seu trabalho, assumindo o papel de comunicadores da ciência. Eles não apenas exibiam as simulações, mas as manipulavam em tempo real, explicando oralmente para os colegas, professores e outros membros da comunidade escolar os princípios físicos envolvidos. Esse momento de socialização foi de grande protagonismo, onde os estudantes demonstraram uma notável apropriação dos conceitos ao responderem perguntas e articularem com segurança o conhecimento que construíram ao longo da intervenção. Essa etapa final não só consolidou o aprendizado, mas também desenvolveu competências essenciais de comunicação, argumentação e trabalho em equipe. Ao final do processo, o mesmo questionário inicial foi reaplicado como pós-projeto.

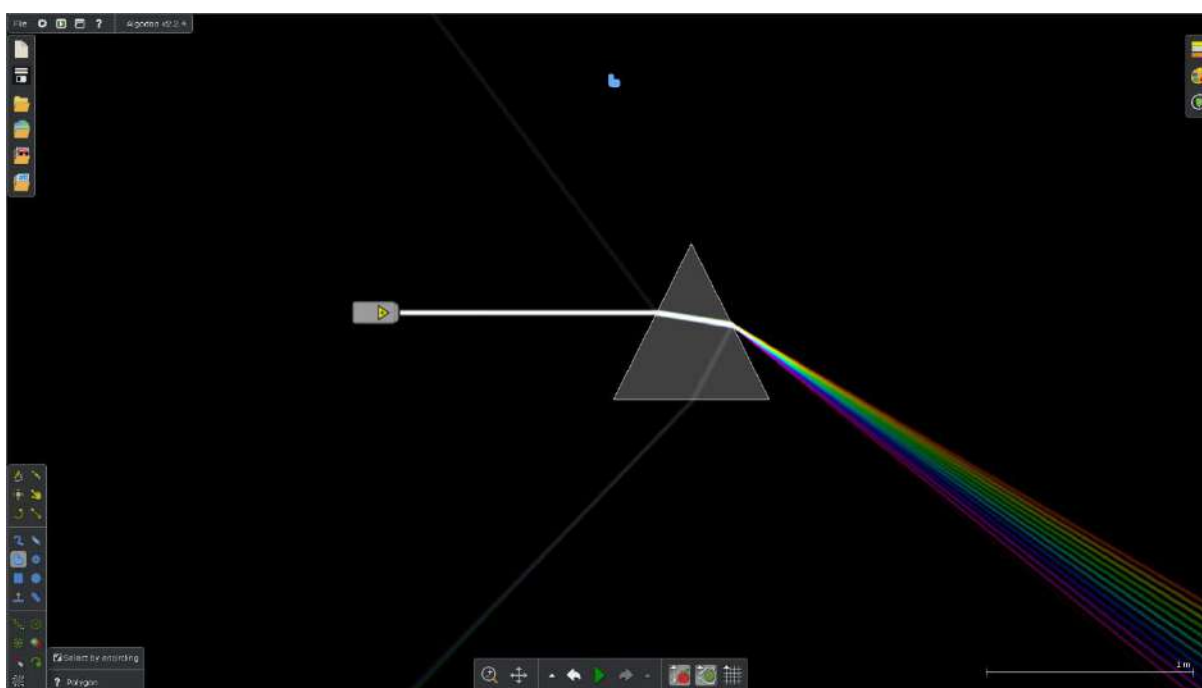


Figura 19: Simulação produzida pelos alunos: luz atravessando um prisma.

6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados, fundamentada na comparação entre os questionários prévio e pós-intervenção, revela uma profunda transformação no entendimento dos alunos. Essa evolução pode ser interpretada à luz dos referenciais teóricos de Paulo Freire, que nos ajuda a compreender a dimensão humanista e libertadora do processo, e de Pierre Lévy, que nos fornece as ferramentas para analisar o impacto cognitivo e social da tecnologia introduzida. A mudança observada não foi apenas uma aquisição de novos termos, mas uma alteração na forma de "ler o mundo" (FREIRE, 1987), saindo de uma visão fragmentada para uma compreensão mais crítica e articulada dos fenômenos. O questionário prévio confirmou a existência de um "saber de experiência feito" (FREIRE, 1996), onde os conceitos eram definidos de forma funcional e desarticulada. Para a pergunta "*O que é a luz?*", respostas como "*uma claridade que ilumina*", "*a luz que conseguimos ver*" ou a incerteza de "*um tipo de onda (?)*" eram comuns.

Esta ecologia cognitiva inicial era baseada na transmissão de informações e na memorização, um cenário típico do que Freire (1970) critica como "educação bancária". A metodologia dos 3MP, ao iniciar pela Problematização, rompeu com essa lógica. Conforme defende Delizoicov, o objetivo deste primeiro momento não é corrigir o aluno, mas sim expor as contradições entre suas explicações e os fenômenos observados, criando uma "necessidade genuína de aprendizado" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29).

A análise inicial também mostrou a dificuldade dos alunos em diferenciar fenômenos. A refração, por exemplo, era frequentemente confundida com a reflexão ou descrita de forma imprecisa, como "*o contato da luz em um objeto opaco*". A metodologia proposta, portanto, não visava apenas corrigir definições, mas ajudar os alunos a se apropriar de uma linguagem científica, a organizar o seu pensamento e a diferenciar os fenômenos com base em seus princípios fundamentais. Este momento foi crucial para que os alunos percebessem as limitações de seu conhecimento prévio, uma etapa indispensável para a abertura a novas aprendizagens. A problematização, ao colocar em jogo as certezas do senso comum, preparou o terreno para a construção de um novo saber.

A introdução do *Algodo* alterou fundamentalmente a ecologia cognitiva da sala de aula. O software funcionou como uma "tecnologia da inteligência" (LÉVY, 1993) que permitiu a emergência de um "conhecimento por simulação" (LÉVY, 1999). Fenômenos como difração e

interferência, antes abstratos e inacessíveis gerando respostas como "*Não sei*", tornaram-se objetos de manipulação e investigação. A simulação, na perspectiva de Lévy, não é apenas uma forma de visualizar, mas uma nova forma de conhecer, baseada na ação e na experimentação. Ao permitir que os alunos alterassem variáveis, como a largura de uma fenda ou a distância entre duas fontes de onda, e observassem as consequências imediatas nos padrões formados, o *Algodo* transformou a aprendizagem de um modo receptivo para um modo ativo e experimental.

A mudança é nítida ao comparar as respostas. Um aluno que no questionário prévio definiu a refração como "*o contato da luz em um objeto opaco*", uma noção incorreta, no pós-projeto descreveu-a como "*o que ocorre quando uma onda muda de direção ao passar de um meio para outro, devido a uma mudança de velocidade*". Essa evolução só foi possível porque o aluno pôde virtualizar o fenômeno (LÉVY, 1996), ou seja, criar um modelo dinâmico no *Algodo*, testar diferentes meios e observar em tempo real a consequência de suas ações. Ele não aprendeu uma definição; ele construiu o conceito através da interação com um modelo. Este processo de Organização do Conhecimento, segundo Delizoicov, é onde os conceitos científicos são introduzidos e construídos para dar sentido à problematização inicial. A tecnologia, aqui, não substituiu o professor, mas potencializou a sua ação, fornecendo um laboratório virtual onde a teoria podia ser testada e validada pelos próprios alunos.

O trabalho em duplas e em grupos, mediado pela tecnologia, foi o catalisador da inteligência coletiva (LÉVY, 1998). O conhecimento não foi uma conquista individual, mas um processo social de negociação de significados. A dificuldade que os alunos tiveram em verbalizar o que viam nas simulações de interferência, e a subsequente construção de um vocabulário comum na roda de conversa, é um exemplo prático da inteligência coletiva em ação. O grupo, como um todo, aprendeu a "pronunciar o mundo" dos Fenômenos Ondulatórios. Nesse cenário, o professor deixou o papel de transmissor para se tornar um "animador da inteligência coletiva" (LÉVY, 1999), orientando, provocando e conectando os saberes que emergiam do grupo. Este momento de diálogo foi essencial para transformar a experiência visual e interativa proporcionada pelo *Algodo* em conhecimento formal e comunicável, alinhando a prática tecnológica com a pedagogia dialógica de Freire.

A evolução na compreensão da dualidade da luz também reflete esse processo. Se no início as respostas eram diretas e sem significados, "Onda" ou memorizadas, no pós-projeto um aluno explicou que a luz *"pode se comportar tanto como onda como partícula"*, demonstrando uma compreensão mais sofisticada. Outro aluno, que antes havia escrito *"energia produzida por Fótons"*, evoluiu para *"uma onda carregada de partículas chamadas fóton"*. Essa capacidade de integrar dois conceitos aparentemente contraditórios é um forte indicativo de uma real aprendizagem, que foi construída e reforçada através das discussões em grupo e da visualização dos diferentes comportamentos da luz nas simulações. A inteligência coletiva permitiu que os alunos, juntos, superassem as barreiras individuais de compreensão, compartilhando informações e construindo uma visão mais completa e complexa do tema.

A etapa de Aplicação do Conhecimento, o terceiro momento de Delizoicov, representou o ápice do processo. Os projetos finais, como a simulação de lentes e prismas, podem ser vistos como uma navegação não-linear por um "espaço do saber" (LÉVY, 1998), similar a um hipertexto. Os alunos não seguiram um caminho único e predefinido; eles combinaram conceitos, exploraram possibilidades e criaram seus próprios "documentos" interativos para explicar os fenômenos. A explicação para as cores nas bolhas de sabão ilustra perfeitamente essa transição. No questionário prévio, as respostas eram vagas *"é a mesma coisa de um Prisma"* ou não responderam. No pós-projeto, surgiram explicações articuladas, como a de um aluno que afirmou que as cores *"são causadas pela interferência de filmes finos. Quando a luz reflete nas superfícies externa e interna da camada de água e sabão"*.

Essa resposta demonstra uma profunda apropriação do conceito de interferência, aplicando-o a um fenômeno complexo. O aluno não está mais no campo da opinião, mas alcançou o conhecimento fundamentado, realizando a práxis freiriana. Ao criar seus próprios projetos no *Algodo*, os estudantes realizaram um ato de "pronunciar o mundo", utilizando a linguagem da ciência para representar e explicar a realidade. A apresentação final na culminância de eletivas da escola. A VIII Semana de Arte, Ciência e Cultura (SACC) foi um evento do 2º Colégio da Polícia Militar Coronel Hérvano Macêdo Júnior, que ocorreu de 04 a 11 de novembro de 2024. O tema geral daquela edição foi "Da Inteligência Humana à Artificial: impactos nas relações socioambientais". O objetivo principal foi incentivar a reflexão crítica e a produção de conteúdo na comunidade escolar, visando o enriquecimento da aprendizagem. O

evento também buscou destacar valores sociais, artísticos e científicos, promover a integração e desenvolver o espírito de grupo.



Figura 20: Culminância da eletiva de Fenômenos Ondulatório na mostra de ciências da escola VIII SACC

A estrutura do evento envolveu a divisão dos alunos do Ensino Fundamental e Médio em equipes, cada uma focada em uma das quatro áreas do conhecimento: Linguagens e Códigos, Ciências da Natureza e Matemática, Ciências Humanas e Línguas Estrangeiras. Cada equipe teve um professor orientador e apresentou seus trabalhos nas salas de aula e outros ambientes da escola. As apresentações tiveram duração mínima de 10 minutos e máxima de 15 minutos (ver Figura 20). Esse foi o momento de materialização do processo, em que os alunos não apenas demonstraram o que aprenderam, mas também assumiram o papel de produtores e comunicadores do conhecimento, compartilhando suas descobertas com a comunidade escolar. Este ato de ensinar o que se aprendeu é uma das formas mais elevadas de consolidação do saber.

A seguir, uma análise mais detalhada da evolução do pensamento dos alunos, comparando as respostas de alguns questionários prévio e do pós-projeto para cada uma das 15 perguntas do questionário:

1. O que é a luz?

Questionário prévio: *"um tipo de onda (?)", "energia produzida por Fótons", "uma claridade que ilumina".*

Pós-projeto: *"uma onda eletromagnética", "uma onda carregada de partículas chamadas fóton", "uma forma de energia que se propaga como uma onda eletromagnética".*

2. A luz é uma onda ou uma partícula?

Questionário prévio: *"Onda" ou "partícula"*

Pós-projeto: *"pode se comportar tanto como onda como partícula", "ela tem os dois comportamentos"*

3. O que é o comprimento de onda da luz?

Questionário prévio: *"o tamanho dos feixes de luz", "a distância que a luz pode alcançar".*

Pós-projeto: *"a distância entre duas cristas de uma onda de luz", "a distância entre dois pontos consecutivos de uma onda".*

4. Como a luz muda de direção quando passa de um meio para outro?

Questionário prévio: *"Refração", "Através dos espelhos".*

Pós-projeto: *"devido à refração, que ocorre por causa da mudança de velocidade da luz", "ela sofre refração, mudando de velocidade e, conseqüentemente, de direção".*

5. O que é a refração da luz?

Questionário prévio: *"E a luz mudando de direção (?)", "o contato da luz em um objeto opaco".*

Pós-projeto: *"a mudança na direção de propagação da luz quando ela atravessa a interface entre dois meios com diferentes índices de refração", "o desvio da luz ao passar de um meio para outro com densidades diferentes".*

6. Por que vemos um arco-íris após a chuva?

Questionário prévio: *"porque a luz passa pelas gotas da água", "a luz do sol é refletida pelas gotículas de água".*

Pós-projeto: *"devido à refração, reflexão e dispersão da luz nas gotas de água", "a luz branca do sol se decompõe nas cores do espectro ao passar pelas gotas de chuva".*

7. O que é a reflexão da luz?

Questionário prévio: *"quando a luz bate em algo e volta", "o retorno da luz ao atingir uma superfície".*

Pós-projeto: *"o fenômeno em que a luz incide sobre uma superfície e retorna ao meio de origem", "a mudança de direção da luz ao encontrar um obstáculo, continuando no mesmo meio".*

8. Como conseguimos ver nossa imagem em um espelho?

Questionário prévio: *"a luz é refletida pelo espelho", "Devido a reflexão".*

Pós-projeto: *"a luz reflete em nosso corpo, atinge o espelho e é refletida de forma regular até nossos olhos, formando uma imagem virtual", "por causa da reflexão especular, que organiza os raios de luz".*

9. O que acontece com a luz quando ela passa por uma pequena abertura?

Questionário prévio: *"Fica reta", "Ela diminui de tamanho".*

Pós-projeto: *"Difração", "ela se espalha ao invés de seguir em linha reta".*

10. O que é a difração da luz?

Questionário prévio: *"Não sei", "Capacidade da luz se moldar".*

Pós-projeto: *"o espalhamento da luz ao passar por fendas ou contornar obstáculos", "a curvatura das ondas de luz ao encontrar uma barreira".*

11. O que é a interferência da luz?

Questionário prévio: *"Não sei", "quando tem uma perturbação na luz".*

Pós-projeto: *"a superposição de duas ou mais ondas de luz, que podem se somar ou se cancelar", "o fenômeno que cria padrões de reforço (construtiva) e cancelamento (destrutiva)".*

12. Como a luz cria padrões coloridos em bolhas de sabão?

Questionário prévio: *"Não sei", "É a mesma coisa de um Prisma".*

Pós-projeto: *"pela interferência da luz refletida nas superfícies interna e externa da fina película de sabão", "a interferência de filmes finos causa o cancelamento de algumas cores e o reforço de outras".*

13. O que é a polarização da luz?

Questionário prévio: *"Não sei", "ligação da luz com outro meio".*

Pós-projeto: *"o processo de restringir a vibração da luz a um único plano", "a seleção de uma direção específica de oscilação da onda de luz".*

14. Como a luz se comporta no vácuo?

Questionário prévio: *"Ela se propaga (?)", "Ela viaja, mas não ilumina".*

Pós-projeto *"ela se propaga em linha reta na sua velocidade máxima, aproximadamente 300.000 km/s", "viaja sem precisar de um meio material".*

15. O que é o espectro da luz visível?

Questionário prévio: *"seria a luz do sol das lâmpadas (?)", "As cores que vemos".*

Pós-projeto: *"a faixa de comprimentos de onda da luz que o olho humano pode detectar, indo do violeta ao vermelho", "a parte do espectro eletromagnético que inclui todas as cores que formam a luz branca".*

Em resumo, a análise dos resultados, sob a ótica de uma pesquisa exploratória, evidencia que a articulação entre uma Sequência de Ensino, fundamentada na abordagem dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), e as potencialidades interativas do *Algodo* se mostrou um

caminho promissor. A intervenção pedagógica, cujo objetivo foi proporcionar maior familiaridade com o problema e aprimorar ideias, ofereceu fortes indicativos de que a abordagem promoveu não apenas a aprendizagem de conteúdos de Física, mas também o desenvolvimento da autonomia, do pensamento crítico e da capacidade de construção coletiva do conhecimento.

Estes achados alinham-se aos princípios de uma educação libertadora, conforme Freire, e conectada com a cultura digital contemporânea, como propõe Lévy. A pesquisa, portanto, não busca apresentar conclusões generalizáveis, mas sim explorar e tornar mais explícita a maneira como a tecnologia, quando inserida em uma proposta pedagógica que valoriza o diálogo, a problematização e a autonomia (pilares que inspiraram a Sequência de Ensino), transcende seu papel de mero recurso para se tornar um agente transformador da própria natureza do aprender.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho, que buscou explorar a aplicação da abordagem dos 3MP aliada ao uso do software de simulação *Algodo* no ensino de Fenômenos Ondulatórios, chegamos a um conjunto de reflexões e conclusões que apontam para o potencial desta articulação. Este trabalho partiu da inquietação diante dos desafios do Ensino de Física, disciplina frequentemente percebida como abstrata e distante da realidade dos alunos. A proposta desta dissertação buscou construir um caminho pedagógico que não apenas transmitisse conceitos, mas que promovesse uma aprendizagem crítica, dialógica e transformadora. Os resultados apresentados no capítulo anterior, obtidos a partir da análise qualitativa dos questionários e da observação da prática pedagógica, permitem afirmar que os objetivos propostos para esta pesquisa foram alcançados. A sequência didática, estruturada em dois ciclos, mostrou-se eficaz em promover uma real evolução conceitual nos estudantes. Observou-se uma evidente transição de um saber fragmentado e baseado no senso comum, o "saber de experiência feito" que Paulo Freire (1996) propõe a respeitar e a tomar como ponto de partida, para uma compreensão mais articulada e científica dos Fenômenos Ondulatórios.

A questão central que norteou este trabalho não era apenas se os alunos aprenderiam os conceitos, mas como aprenderiam. Em uma perspectiva freiriana, a resposta é animadora. A metodologia dos 3MP, ao iniciar pela Problematização, validou a realidade e os saberes prévios dos alunos, estabelecendo um diálogo autêntico e rompendo com a lógica da "educação bancária" (FREIRE, 1970), na qual o conhecimento é simplesmente depositado em mentes consideradas vazias. Os alunos não foram meros espectadores; foram convidados a "ler o mundo" (FREIRE, 1987) dos Fenômenos Ondulatórios a partir de suas próprias vivências e questionamentos. O software *Algodo*, nesse contexto, tornou-se um espaço de experimentação e práxis, um "mundo pronunciado" onde os alunos puderam testar hipóteses, visualizar o invisível e dialogar com os conceitos físicos de forma concreta. A etapa de Aplicação do Conhecimento, ao desafiar os alunos a criarem seus próprios projetos, representou o ápice do processo de conscientização. Ao modelarem fenômenos complexos, os estudantes não apenas aplicaram fórmulas, mas demonstraram uma apropriação crítica do saber, utilizando-o para explicar e representar novas situações. Este movimento de reflexão-ação-reflexão é a essência da práxis libertadora.

Sob a visão de Pierre Lévy, a intervenção demonstrou como as tecnologias digitais podem reconfigurar a ecologia cognitiva da sala de aula. O *Algodo* não foi apenas um recurso, mas uma "tecnologia da inteligência" (LÉVY, 1993) que permitiu a "virtualização" (LÉVY, 1996) de fenômenos abstratos, tornando-os manipuláveis. Mais do que isso, o trabalho colaborativo em duplas e grupos, mediado pela ferramenta, fomentou uma inteligência coletiva (LÉVY, 1998), onde o conhecimento emergiu da sinergia e da partilha de competências no ciberespaço da simulação. O professor deixou de ser o único detentor do saber para se tornar um "animador da inteligência coletiva" (LÉVY, 1999), e os alunos se tornaram construtores ativos em um "espaço do saber" dinâmico e interconectado.

Conclui-se, assim, que as perguntas que motivaram esta pesquisa foram respondidas de forma afirmativa. A articulação de uma pedagogia crítica, como os 3MP, com tecnologias interativas, como o *Algodo*, oferece um caminho fértil para um Ensino de Física que faz sentido para o aluno do século XXI. Esta pesquisa contribui ao apresentar uma proposta didática testada e fundamentada, que pode inspirar outros educadores a explorarem novas práticas. Como sugestão para trabalhos futuros, vislumbra-se a aplicação desta metodologia em outros eixos temáticos da Física, bem como a sua adaptação para diferentes contextos escolares. Seria igualmente enriquecedor realizar estudos comparativos que analisem, de forma quantitativa e qualitativa, o impacto desta abordagem em relação a métodos mais tradicionais, aprofundando a compreensão sobre suas potencialidades para o desenvolvimento da autonomia e do pensamento crítico nos estudantes.

REFERÊNCIAS

ALGOODOO. **Algodo** (versão 2.1). Software de simulação. Estocolmo: Algoryx Simulation AB, 2021. Disponível em: <http://www.Algodo.com/>. Acesso em: 10 dez. 2023.

BARBOSA, Andre Machado. **Aulas presenciais em tempos de pandemia: relatos de experiências de professores do nível superior sobre as aulas remotas**. Revista Augustus, [S. l.], v. 25, n. 51, p. 255-280, jun. 2020. Disponível em: <https://apl.unisuam.edu.br/index.php/revistaaugustus/article/view/565>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BARBOSA, C. D. et al. **Uso de simuladores via smartphone no ensino de ciência como ferramenta pedagógica na abordagem de conteúdos contextualizados de Física**. Scientia Plena, v. 13, n. 1, p. 012713, 2017.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D. **Física para universitários: Óptica e Física moderna**. v. 4. Tradução de Maria José Ladeira. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. **Novas diretrizes reforçam uso da tecnologia nos processos de aprendizagem**. Brasília, DF: MEC, 2020. Disponível em: <http://educacaoconectada.mec.gov.br/todas-noticias/219-novas-diretrizes-reforcaram-uso-da-tecnologia-nos-processos-de-aprendizagem>. Acesso em: 7 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Portaria nº 343, de 17 de março de 2020. Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, n. 53, p. 49, 18 mar. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/em/web/dou/-/portaria-n-343-de-17-de-marco-de-2020-248564376>. Acesso em: 7 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação no Contexto Escolar: Possibilidades**. Brasília, DF: MEC, 2024. (Caderno de Práticas da Base Nacional Comum Curricular). Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/193-tecnologias-digitais-da-informacao-e-comunicacao-no-contexto-escolar-possibilidades>. Acesso em: 10 dez. 2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

FLECK, L. **La génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Madrid: Alianza, 1986.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. **Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências**. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2012.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, É. C.; FRANCO, X. L. S. O.; ROCHA, A. S. **Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino de Física**. Araguaína, TO: EDUFT, 2020.

GUTIÉRREZ ARAUJO, R. E.; CASTILLO BRACHO, L. A. **Simuladores com o software GeoGebra como objetos de aprendizagem para o ensino da física**. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, n. 47, p. 201-216, 2020.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. v. 4. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JAIME, D. M.; LEONEL, A. A. **Uso de simulações: um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de física**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20230309, 2024.

LÉVY, Pierre. **A inteligência coletiva: por uma antropologia do ciberespaço**. 2. ed. São Paulo: Loyola, 1998.

LÉVY, Pierre. **As Tecnologias da Inteligência: o Futuro do Pensamento na Era da Informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual?**. 1. ed. São Paulo: Editora 34, 1996.

MORAN, José Manuel. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas, SP: Papirus Editora, 2000.

MOREIRA, José António Marques; HENRIQUES, Susana; BARROS, Daniela. **Transitando de um ensino remoto emergencial para uma educação digital em rede, em tempos de pandemia**. *Dialogia*, São Paulo, n. 34, p. 351-364, 2020. Disponível em: <https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/9756>. Acesso em: 11 jul. 2024.

MUENCHEN, C. **A disseminação dos três momentos pedagógicos: um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/RS**. 2010. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Óptica**. v. 4. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

PALFREY, John; GASSER, Urs. **Nascidos na era digital: entendendo a primeira geração de nativos digitais**. Porto Alegre: Penso, 2011.

PRENSKY, Marc. **Nativos digitais, imigrantes digitais**. *On the horizon*, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2001.

SANTOS, G. F.; SILVA, O. **O uso de simuladores no ensino de física: explorando a dualidade onda-partícula**. Pesqueira: IFPE, 2022.

SEARS, F. W. et al. **Física IV: Óptica e Física Moderna**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

SILVA, A. G.; SOUZA, G. F.; LOPES, J. S. B. **Ensino de Física com uso de simuladores virtuais: potencial de utilização em sala de aula**. *HÓLOS*, ano 39, v. 1, e14365, 2023.

SILVA, Isadora Santos da; JANUÁRIO, Maria Derlandia de Araújo; BRITO, Alan Alves. **Condições favoráveis à vida: uma proposta de sequência didática sobre exoplanetas utilizando os três momentos pedagógicos**. In: ESCOLA DE INVERNO DE EDUCAÇÃO

MATEMÁTICA, 7.; ESCOLA DE INVERNO DE ENSINO DE FÍSICA, 1., 2021, Evento online. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2021. p. 49-59. ISSN 2316-7785.

STANWAY, David. **Primeiro caso de covid-19 pode ter surgido na China em outubro de 2019.** Agência Brasil, 25 jun. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2021-06/primeiro-caso-de-covid-19-pode-ter-surgido-na-china-em-outubro-de-2019>. Acesso em: 9 jul. 2023.

TOLEDO, Alberto Gaspar; HELENO, Maria Inês; GREF. **Tópicos de Física: Termologia, Ondulatória e Óptica.** v. 2. 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

UNESCO. **TIC na educação do Brasil. Brasília,** DF: UNESCO, 2009. Disponível em: <https://pt.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/ict-education-brazil>. Acesso em: 11 jul. 2024.

APÊNDICE A

MATERIAL INSTRUCIONAL

UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI-URCA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM

ENSINO DE FÍSICA POLO 31

CICERO IVANILTON SILVA SANTOS

**UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA NOS 3 MP USANDO SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL (O ALGODOO) PARA APOIAR O ESTUDO DOS
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS EM UMA PERSPECTIVA
PROBLEMATIZADORA**

JUAZEIRO DO NORTE

2025

APRESENTAÇÃO

Estimado (a) professor (a)

Este produto educacional é parte da dissertação: **UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA NOS 3 MP USANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (O ALGODOO) PARA APOIAR O ESTUDO DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS EM UMA PERSPECTIVA PROBLEMATIZADORA**, desenvolvido no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Polo-31 – URCA/ Juazeiro do Norte – CE, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sabemos que o Ensino de Física, especialmente de tópicos como Fenômenos Ondulatórios, pode ser um grande desafio. Conceitos como interferência e difração são abstratos e, muitas vezes, distantes da realidade dos alunos, o que pode gerar desinteresse e dificuldade de compreensão. Pensando nisso, este produto educacional foi elaborado. O nosso objetivo é ir além da simples transmissão de conteúdo, buscando introduzir e aprofundar o entendimento dos conceitos de ondas (mecânicas, sonoras, eletromagnéticas) e seus fenômenos (reflexão, refração, interferência, difração) de uma forma que faça sentido para os estudantes da época atual que vivem mergulhados na tecnologia.

Para isso, propomos utilização de uma Sequência de Ensino baseada nos Três Momentos Pedagógicos, que valoriza o diálogo e o pensamento crítico, com a ferramenta de simulação interativa *Algodoos*. Acreditamos que, ao aliar uma abordagem pedagógica sólida com a experimentação virtual, é possível promover uma aprendizagem verdadeiramente significativa. Esta não é apenas uma sequência de aulas, mas uma proposta completa para transformar a sala de aula num laboratório de investigação e descoberta, mudando a maneira como os alunos se relacionam com a Física e despertando a sua curiosidade científica. Este guia foi pensado para ser flexível, permitindo que você o adapte à sua realidade e ao ritmo da sua turma, sempre com o objetivo de formar estudantes mais críticos, autônomos e engajados.

Público-Alvo: Alunos do 2º ano do Ensino Médio.

METODOLOGIA

A nossa abordagem se baseia em três pilares que se conectam para criar uma experiência de aprendizado interativa, em resumo, este produto educacional propõe uma metodologia que une o diálogo e o respeito ao saber do aluno (Freire), uma estrutura de aula organizada e progressiva (3MP) e o poder da tecnologia para a experimentação e colaboração (Lévy).

O Humanismo de Paulo Freire: Partimos do princípio de que o aluno não é uma "folha em branco". Ele já traz consigo um "saber de experiência feito" que precisa ser valorizado. A nossa proposta busca romper com a "educação bancária" (onde o professor só "deposita" o conhecimento) e promover um ensino dialógico, em que o aluno é um sujeito ativo na construção do seu próprio saber.

Os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov: Para colocar as ideias de Freire em prática, usamos a metodologia de Delizoicov e Angotti, que organiza o ensino em três etapas claras:

- I. **Problematização Inicial:** Começamos com perguntas e situações do dia a dia para despertar a curiosidade e fazer com que os alunos percebam que precisam de novos conhecimentos para explicar o mundo.
- II. **Organização do Conhecimento:** Aqui, com a sua mediação, os alunos investigam e constroem os conceitos científicos. É o momento de usar o Algodoo para experimentar e visualizar os fenômenos.
- III. **Aplicação do Conhecimento:** Por fim, os alunos usam o que aprenderam para resolver novos problemas e criar seus próprios projetos, mostrando que o conhecimento tem uma aplicação real.

A Tecnologia como Ferramenta Cognitiva de Pierre Lévy: O Algodoo não é apenas um programa para "mostrar" a Física. Ele é uma "tecnologia da inteligência" que permite aos alunos criarem, testar e manipular os fenômenos. Eles aprendem fazendo, através da simulação. Além disso, o trabalho em grupo com a ferramenta estimula a "inteligência coletiva", onde os alunos aprendem juntos, colaborando e trocando ideias.

PRODUTO EDUCACIONAL: SEQUÊNCIA DE ENSINO

Primeiro Momento - Problematização Inicial

Duração: 2 h/a (1h20min).

Este primeiro momento serve para criar uma "ligação deste conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29). Começaremos levantando o que os alunos já sabem sobre ondas, utilizando um questionário prévio. Depois, usando o *Algodo*, apresentaremos uma situação-problema inicial. Por exemplo, podemos simular como as ondas se comportam em diferentes meios e mostrar o comportamento ondulatório da luz. O objetivo desta etapa é despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, fazendo com que eles "exponham suas hipóteses e compreensões iniciais sobre o tema" (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 201, adaptado). A ideia é criar uma "necessidade genuína de aprendizado" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 29), fazendo com que eles reflitam sobre suas próprias ideias. Usar simulações com o *Algodo*, neste momento, pode ser visto como uma forma de virtualização da experiência. No sentido que Lévy (1996) dá à palavra, virtualização não é tornar algo irreal, mas sim causar uma "mudança de identidade, um deslocamento do centro de gravidade ontológico do objeto considerado" (LÉVY, 1996, p. 16). Isso permite que os problemas sejam explorados de forma dinâmica.

Segundo Momento: Organização do Conhecimento

Duração: 2 h/a (1h20min).

Nesta fase, "os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados [...] sob orientação do professor" (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990a, p. 30). Os alunos usarão o *Algodo* para fazer simulações ligadas diretamente ao problema inicial, Fenômenos Ondulatórios da luz, eles poderão mudar variáveis como frequência, amplitude e velocidade das ondas, e observar na hora os efeitos dessas mudanças.

O professor agirá como um mediador, ajudando os alunos a relacionarem e organizar as informações e os dados que conseguiram durante as simulações. Assim, ele os guiará na construção dos conceitos científicos importantes. Esta fase será essencial para que os alunos construam o conhecimento juntos e de forma reflexiva, promovendo a "ruptura entre o conhecimento do estudante e o conhecimento sistematizado" (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 196).

O *Algodoo*, como uma tecnologia da inteligência (LÉVY, 1993), permitirá ver conceitos abstratos, como exemplo a formação de ondas estacionárias ou a interferência, facilitando o entendimento dos modelos científicos. A colaboração entre os alunos, incentivada pela discussão das simulações e pela chance de compartilhar modelos e resultados no ambiente digital, também combina com os princípios da inteligência coletiva. Segundo Lévy (1998, p. 27), essa inteligência envolve "o aprendizado recíproco como mediação das relações entre os homens". O ciberespaço, aqui representado pelo ambiente de simulação e interação, se torna um "espaço do saber" (LÉVY, 1998), onde as habilidades de cada um são usadas para um entendimento comum.

Terceiro Momento: Aplicação do Conhecimento

Duração: 2 h/a (1h20min).

Nesta etapa final, os alunos voltarão ao problema inicial, mas agora com o conhecimento científico que organizaram. Eles serão desafiados a resolver novas situações-problema e a usar os conceitos que aprenderam em contextos diferentes. Como dizem Delizoicov e Angotti (1990a, p. 31), este momento "Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento." Esta etapa envolve criar simulações mais complexas no *Algodoo*, ligando a teoria e a prática de forma sólida. Isso promove o uso dos conhecimentos em situações próximas à realidade deles e incentiva uma atitude crítica e reflexiva, de acordo com a proposta de Freire (1987) de uma educação que transforma. Este processo de aplicar e criar no *Algodoo* pode ser visto como uma forma de atualização do conhecimento que foi virtualizado. Para Lévy (1996, p. 16), "a atualização aparece então como a solução de um problema, uma solução que não

estava contida previamente no enunciado. A atualização é criação, invenção de uma forma a partir de uma configuração dinâmica de forças e de finalidades".

Essas atividades, focadas na construção de modelos virtuais de Fenômenos Ondulatórios no Algodoo, têm o objetivo de aplicar conceitos de Física de um jeito prático e investigativo. A proposta de ensino busca transformar a sala de aula em um lugar dinâmico de investigação científica, um ambiente de cibercultura. Lévy (1999, p. 17) "de práticas, de atitudes, de modos de pensamento e de valores que se desenvolvem juntamente com o crescimento do ciberespaço". Nesse ambiente, os alunos se tornam os principais agentes de sua própria aprendizagem, desenvolvendo habilidades importantes para resolver problemas e trabalhar em grupo, praticando a inteligência coletiva.

Tabela 2 – Sequência de Ensino.

ENCONTROS	CONTEÚDO	MOMENTO	ATIVIDADES	RECURSOS
1º (2 h/a)	<ul style="list-style-type: none"> • Característica de uma onda. • Comportamento Ondulatório da Luz. • Reflexão. • Refração 	Primeiro Momento: <i>Problematização Inicial</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão inicial com perguntas norteadoras. • Apresentação da situação problema. • Introdução ao Algodoo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário Prévio. • Computadores com Algodoo. • Projetor.
2º (2 h/a)		Segundo Momento: <i>Organização do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Exploração do Algodoo • Discussão em Grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadores com Algodoo
3º (2 h/a)		Terceiro Momento:	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação e Feedback. • Avaliação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário de avaliação.

		<i>Aplicação do Conhecimento</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Computadores com Algodoo
4° (2 h/a)	<ul style="list-style-type: none"> • Interferência. • Difração. • Polarização. 	Primeiro Momento: <i>Problematização Inicial</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão inicial com perguntas norteadoras. • Apresentação da situação problema. • Introdução ao Algodoo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário Prévio. • Computadores com Algodoo. • Projetor. •
5° (2 h/a)		Segundo Momento: <i>Organização do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Exploração do Algodoo. • Discussão em Grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadores com Algodoo
6° (2 h/a)		Terceiro Momento: <i>Aplicação do Conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação e Feedback. • Avaliação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário de avaliação. Computadores com Algodoo

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO: FENÔMENOS ONDULATÓRIOS DA LUZ

Nome:

1. O que é a luz?
2. A luz é uma onda ou uma partícula?
3. O que é o comprimento de onda da luz?
4. Como a luz muda de direção quando passa de um meio para outro?
5. O que é a refração da luz?
6. Por que vemos um arco-íris após a chuva?
7. O que é a reflexão da luz?
8. Como conseguimos ver nossa imagem em um espelho?
9. O que acontece com a luz quando ela passa por uma pequena abertura?
10. O que é a difração da luz?
11. O que é a interferência da luz?
12. Como a luz cria padrões coloridos em bolhas de sabão?
13. O que é a polarização da luz?
14. Como a luz se comporta no vácuo?
15. O que é o espectro da luz visível?