



Espaço, Tempo e Serra:

15 ANOS ENSINANDO E APRENDENDO FÍSICA NA IBIAPABA

ANNA KAROLINA ALVES DO NASCIMENTO
FELIPE MOREIRA BARBOZA
(ORGANIZADORES)


**INSTITUTO
FEDERAL**
Ceará
Campus
Tianguá


Quipá
Editora



Espaço, Tempo e Serra:

15 ANOS ENSINANDO E APRENDENDO FÍSICA NA IBIAPABA



ANNA KAROLINA ALVES DO NASCIMENTO
FELIPE MOREIRA BARBOZA
(ORGANIZADORES)

**ESPAÇO, TEMPO E SERRA:
15 ANOS ENSINANDO E APRENDENDO FÍSICA NA IBIAPABA**

1^a Edição

Quipá Editora
2025

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta obra é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Revisão Ortográfica: Ricardo Castelo Branco Andrade e Silva

Capa: Francisco Florêncio Batista Junior

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E77 Espaço, tempo e serra : 15 anos ensinando e aprendendo Física na Ibiapaba /
Organizado por Anna Karolina Alves do Nascimento e Felipe Moreira Barboza. —
Iguatu, CE : Quipá Editora, 2025.

228 p. : il.

ISBN 978-65-5376-508-5
DOI 10.36599/qped-978-65-5376-508-5

1. Física – pesquisas. 2. Física – ensino. I. Nascimento, Anna Karolina Alves
do. II. Barboza, Felipe Moreira. III. Título.

CDD 530.07

Elaborada por Rosana de Vasconcelos Sousa — CRB-3/1409

Quipá Editora
www.quipaeditora.com.br
@quipaeditora

PREFÁCIO

Com grande entusiasmo convidamos à leitura desta obra didática que congratula os 15 anos do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal do Ceará – *campus* Tianguá. Trata-se de uma oportunidade singular para conhecer os trabalhos realizados por professores e estudantes do curso, que projetaram novos horizontes na formação docente e no ensino de Física na região da Ibiapaba.

Com a sua implantação – em 2010 – o curso de Licenciatura em Física, o primeiro curso superior do IFCE Tianguá, firmou-se como uma oportunidade de formação acadêmica e humana, contribuindo para a interiorização da ciência e para o fortalecimento da educação por meio da formação de novos professores, em consonância com a Lei nº 11.892, que criou os Institutos Federais.

A história que entrelaça a Física com a realidade social da Serra da Ibiapaba foi construída por muitos discentes, docentes, técnicos administrativos e colaboradores e marcada pela criatividade e pelo compromisso com a transformação social por meio da educação.

Este livro nasce como uma celebração e, ao mesmo tempo, como um registro histórico. Reúne trabalhos científicos, experiências e reflexões que testemunham o impacto do curso na formação profissional dos nossos estudantes. Mais do que recordar cada trabalho, esta obra se propõe a inspirar novas gerações de estudantes e professores, reafirmando o papel do ensino como um propulsor do conhecimento, da ciência e da cidadania.

Agradecemos a todos aqueles que, de diversas formas, contribuíram na implantação e consolidação do curso. O compromisso, esforço e iniciativa individual somados ao longo dessa caminhada têm tornado possível a formação e mudança de muitas vidas ou destinos.

Finalizamos, assim, desejando que este livro inspire reflexões, desperte vocações e seja um aliado no despertar do interesse por ensinar e aprender. Que atraia olhares cheios de curiosidade e fascine por meio dos fenômenos, leis e teorias do vasto universo desta ciência que chamamos de Física.

Prof. Dr. Jackson Nunes e Vasconcelos

APRESENTAÇÃO

É com grande honra e satisfação que apresentamos esta coletânea de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) do curso de Licenciatura em Física do IFCE *campus* Tianguá. Este livro é o reflexo do empenho acadêmico e da dedicação de nossos licenciandos, que, ao longo de sua jornada, desenvolveram temas relevantes para o Ensino e Aprendizagem de Física.

O curso de Licenciatura em Física do IFCE *campus* Tianguá tem consolidado sua atuação como um pilar fundamental na formação de educadores e pesquisadores da região da Serra da Ibiapaba. Desde sua implantação em 2010, ao longo dos seus 15 anos, o curso já formou cerca de 165 estudantes, cujas qualificações têm possibilitado uma sólida inserção profissional e acadêmica.

Durante a formação, os licenciandos têm a oportunidade de inserção no cotidiano das escolas públicas de educação básica por meio dos estágios supervisionados, bem como pelo Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e pelo Programa de Residência Pedagógica (PRP), essenciais para a imersão na prática pedagógica. Além disso, os licenciandos são incentivados a desenvolver a pesquisa, a extensão e a produção acadêmica, por meio de eventos científicos como o Encontro da Física (ENFIS) e o Dia de Apoio à Mulher na Astronomia, Astrofísica e Astronáutica (DAMA), bem como pela participação em Programas de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) e projetos de extensão.

Nesse contexto, esta coletânea organiza-se em dois eixos temáticos, que evidenciam a versatilidade e a profundidade dos estudos desenvolvidos. Na seção de Ensino de Física, os artigos abordam desafios e inovações pedagógicas, refletindo a constante busca por uma educação que transcendia o meramente instrumental. Alinhando-se à visão do professor Dr. Marco Antônio Moreira, que nos lembra da importância de um ensino que vá além da aprendizagem mecânica:

[...] os alunos devem participar ativamente, os materiais instrucionais devem ser diversificados, o questionamento deve ser estimulado, o conhecimento científico deve ser tratado como uma construção humana sempre em desenvolvimento, com consciência semântica (o significado está nas pessoas, não em objetos ou eventos). Uma aprendizagem para a vida, para a cidadania, não aquela tradicional que só serve para usar nas provas.

Nossos trabalhos destacam a gamificação como mobilizadora da interação aluno-professor, a representatividade feminina no curso de Física, a utilização das tecnologias

digitais da informação e comunicação para o ensino de Física. Destaca-se também a importância da história da ciência, análises sobre o impacto do PIBID no *campus* Tianguá, estudos que investigam as dificuldades dos estudantes no ensino médio no aprendizado da Física e trabalhos sobre a importância das práticas experimentais no processo de ensino-aprendizagem.

Na seção dedicada à Física Geral, os trabalhos transitam por análises complexas, como a comparação de soluções analíticas e numéricas na relatividade restrita, o cálculo de modos quasinormais de buracos negros utilizando programação Python, estudos sobre o problema de condução do calor, a aplicação do método das diferenças finitas para a equação do calor e o crescimento de filmes finos, assuntos que promovem o diagnóstico, a formulação e a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou computacionais apropriados.

Convidamos o leitor a explorar as páginas deste livro, que representam não apenas a culminância de uma etapa acadêmica, mas também a contribuição valiosa de nossos licenciados para o avanço do Ensino da Física, reforçando o compromisso do IFCE *campus* Tianguá com a excelência e a inovação na formação docente.

Prof. Dr. Felipe Moreira Barboza

SUMÁRIO

PREFÁCIO APRESENTAÇÃO

CAPÍTULO 1 11

A GAMIFICAÇÃO COMO MOBILIZADORA DAS INTERAÇÕES ENTRE ALUNOS E PROFESSORES NO ENSINO DE FÍSICA

*Eduarda Maria Araújo dos Santos
Anna Karolina Alves do Nascimento
Josy Lúcia Gonçalves*

CAPÍTULO 2 26

A PRESENÇA DA MULHER NO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA NO CONTEXTO BRASILEIRO

*Clarice Lima do Carmo
Anna Karolina Alves do Nascimento*

CAPÍTULO 3 41

IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE FÍSICA

*Maria de Fátima da Silva dos Santos
Josy Lúcia Gonçalves*

CAPÍTULO 4 58

CAMPOS MAGNÉTICOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES VIRTUAIS: UMA FERRAMENTA PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO

*Felipe Ravi Santos Gonçalves
Hamilton Victor da Silva Junior*

CAPÍTULO 5 69

UMA ANÁLISE DO PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA (PIBID) NO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA DO IFCE CAMPUS TIANGUÁ

*Francisco Maurílio da Silva Rodrigues
Hamilton Victor da Silva Junior*

CAPÍTULO 6

84

A RAZÃO CARGA-MASSA DO ELÉTRON: UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE PRÁTICA PARA O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO

Maria Tatiele dos Santos
Hamilton Victor da Silva Junior

CAPÍTULO 7

99

APLICATIVO NEARPOD: UMA PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA PARA OS DOCENTES DE CIÊNCIAS NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Francisco Braiam da Silva Gomes
Alex de Oliveira Silva
Carlos Walkyson Assunção Silva

CAPÍTULO 8

112

UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DAS PRINCIPAIS DIFICULDADES DOS CONTEÚDOS DE FÍSICA ATRAVÉS DO OLHAR DISCENTE NO ENSINO MÉDIO

Antonia Vanuza Silva do Nascimento
Diana Elizabette Lima do Amaral

CAPÍTULO 9

125

UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A IMPORTÂNCIA DO LABORATÓRIO DE FÍSICA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Dyennat Lima Ferreira
Diana Elizabette Lima do Amaral

CAPÍTULO 10

138

COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES ANALÍTICA E NUMÉRICA DE UMA PARTÍCULA SUBMETIDA A UMA FORÇA CONSTANTE NO CONTEXTO DA RELATIVIDADE RESTRITA

Ana Carolina Portela Silva
Felipe Moreira Barboza

CAPÍTULO 11	153
CÁLCULO DOS MODOS QUASINORMAIS DE BURACOS NEGROS DE SCHWARZSCHILD UTILIZANDO LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON	
<i>Carlos Alex da Silva</i>	
<i>Lucas Freitas Campos</i>	
CAPÍTULO 12	163
PROBLEMA DE CONDUÇÃO DO CALOR	
<i>Antonio Francisco Angelo da Silva</i>	
<i>José Lucas Ferreira Machado</i>	
CAPÍTULO 13	178
A EQUAÇÃO DO CALOR: UMA ABORDAGEM PELOS MÉTODOS DAS DIFERENÇAS FINITAS	
<i>Antonio Rocha Araújo</i>	
<i>Lucas Freitas Campos</i>	
CAPÍTULO 14	191
ANALISANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS RAIOS DE EXOPLANETAS EM TRÂNSITO DO SATÉLITE KEPLER	
<i>Francisco Jardel Oliveira Cunha</i>	
<i>Francisco Jânio Cavalcante</i>	
CAPÍTULO 15	206
CRESCIMENTO DE FILMES FINOS DE CDS POR CBD	
<i>Milliane Passos da Silva Palácio</i>	
<i>Alexandre Gonçalves Pinheiro</i>	
<i>Wellington de Queiroz Neves Silva</i>	
SOBRE OS AUTORES	217
SOBRE OS ORGANIZADORES	228

ENSINO DE FÍSICA

CAPÍTULO 1

A GAMIFICAÇÃO COMO MOBILIZADORA DAS INTERAÇÕES ENTRE ALUNOS E PROFESSORES NO ENSINO DE FÍSICA

Eduarda Maria Araújo dos Santos
Egressa do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: eduarda.em419@gmail.com

Anna Karolina Alves do Nascimento
Professora do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: karolina.nascimento@ifce.edu.br

Josy Lúcia Gonçalves
Professora do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: josy.goncalves@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A Física, historicamente percebida como um componente curricular de alto grau de abstração e dificuldade, desafia educadores a buscar estratégias que tornem a aprendizagem mais compreensiva e engajadora para os estudantes. Por ser considerada uma disciplina em que os estudantes têm um maior desinteresse, a interação entre professores e alunos desempenha um papel fundamental no processo de ensino-aprendizagem, influenciando diretamente no engajamento, na motivação e na construção do conhecimento. No contexto do ensino de Física, essa interação pode ser um desafio, especialmente quando metodologias tradicionais, centradas na transmissão unidirecional de conteúdos, não estimulam a participação ativa dos estudantes (Micotti, 1999).

Diante desse cenário, as metodologias ativas surgem como uma alternativa para estimular a participação dos alunos e promover uma compreensão mais aprofundada dos conceitos físicos. A gamificação, por sua vez, ao transformar o processo de aprendizagem em uma experiência interativa e dinâmica, tem se mostrado uma ferramenta promissora para o ensino de ciências, em especial da Física.

Diante dessa realidade, foi desenvolvido um tabuleiro didático como estratégia para potencializar o ensino de conceitos físicos, proporcionando aos estudantes uma abordagem mais lúdica e participativa. Assim, a presente pesquisa busca analisar como a implementação de um tabuleiro didático temático fundamentado na gamificação pode

favorecer a interação social entre alunos e entre estes e os professores, promovendo um ambiente de aprendizagem colaborativo e estimulante no ensino de Física.

REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Barreto (2016), a escola é um dos ambientes sociais mais influentes na formação de crianças e adolescentes. Embora seja inegável que as instituições enfrentam desafios para cumprir sua missão de proporcionar melhores oportunidades para o presente e futuro de seus alunos, seu impacto na vida desses jovens permanece notável, pois oferecem não apenas conhecimento acadêmico, mas também experiências que moldam sua visão de mundo e seu desenvolvimento pessoal.

A escola, portanto, transcende a formação de futuros profissionais, dedicando-se também à formação de indivíduos inseridos em uma cultura social e intrinsecamente ligados ao contexto do qual fazem parte. Esse meio social, por sua vez, é composto por diversos fatores, como a cultura, valores comunitários, condições socioeconômicas e características demográficas, o que resulta em uma influência mútua entre a escola e o ambiente em que ela atua. Nesse entendimento, Vygotsky (2007 *apud* Santos *et al.*, 2021) defende que o aprendizado do indivíduo não pode ser dissociado do contexto histórico, social e cultural ao qual pertence, enfatizando que a interação com outros membros da espécie e com a cultura é fundamental para a autoconstrução e elaboração de conhecimentos.

Dessa forma, a escola se apresenta como o espaço onde essas interações são formalizadas, facilitando a construção de conhecimentos científicos e sociais conforme os alunos aprendem a proceder e a pensar de acordo com as normas culturais vigentes. O aprendizado, segundo Vygotsky (2007 *apud* Santos *et al.*, 2021), é um processo social enraizado nas interações com os outros, o que indica que o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio das influências culturais e sociais ao redor.

Complementando essa perspectiva, Prass (2017, p. 19) chama atenção para “o valor da cultura e o contexto social, que acompanham o crescimento da criança, servindo de guia e ajudando no processo de aprendizagem”, onde a criança, embora ativa, não atua sozinha, necessitando da participação guiada de adultos ou de colegas mais experientes. Ou seja, a cultura, nesse cenário, é entendida como um mediador no desenvolvimento de habilidades cognitivas, sendo produzida pelas interações do indivíduo com o meio ambiente.

E a instituição escolar, ao proporcionar um ambiente colaborativo, estimula o compartilhamento de saberes diversos, para além do acadêmico, e promove trocas afetivas positivas que fortalecem a autonomia e confiança dos alunos, como indicado por Tassoni (2000). Nessa dinâmica, o professor atua como mediador das interações entre estudantes e objetos de conhecimento, através dos processos de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo (Sousa; Comarú, 2017). A interatividade em sala de aula se fortalece pela conexão significativa entre professor e alunos, onde estratégias pedagógicas alinhadas aos interesses e necessidades dos alunos criam um ambiente de confiança e respeito mútuo.

Dessa forma, o que ocorre dentro do âmbito social também afeta a escola, e entre os elementos influenciadores mais substanciais estão as revoluções tecnológicas, que, segundo Traple e Soares (2013, p.13), “[...] são as invenções, as descobertas ou as criações realizadas pelo Homem, que afetam, de forma profunda, ampla e generalizada, os conhecimentos, os costumes e as práticas cotidianas do seu meio”. Apesar de essa ampla difusão tecnológica impactar diretamente na maneira como as pessoas vivem e interagem, as abordagens dentro da sala de aula têm permanecido as mesmas, tendo em vista que, enquanto o mundo exterior é dinâmico e repleto de informações, a escola ainda espera salas silenciosas, com alunos enfileirados e pouca interação (Martins, 2013). Essa discrepância entre a realidade contemporânea e as práticas educacionais tradicionais reflete-se em dificuldades como evasão escolar e altos índices de repetência (Bonadiman; Nonenmacher, 2007).

A metodologia predominante em sala de aula ainda se baseia em aulas expositivas, muitas vezes limitadas à transmissão de informações, dificultando o aprendizado de conteúdos complexos como os da Física (Micotti, 1999). Além disso, a redução da carga horária da disciplina ao longo dos anos tem levado os professores a selecionar apenas alguns conteúdos, resultando em abordagens superficiais que distanciam os alunos do conhecimento pleno (Pires; Veit, 2006). Como apontam Bonadiman e Nonenmacher (2007), essa fragmentação dificulta a conexão entre os conteúdos e a realidade dos estudantes, transformando a Física em um conjunto de fórmulas básicas sem relação com as outras áreas do saber.

Nessa perspectiva, o ensino tradicional de Física, baseado na resolução de problemas matemáticos sem vínculo com a história da ciência ou aplicações interdisciplinares, contribui para um aprendizado mecânico e pouco estimulante (Anjos; Moreira; Sahelices, 2017). Soma-se a isso a carência de laboratórios e materiais didáticos adequados, limitando ainda mais a possibilidade de práticas experimentais (Costa; Barros,

2015). Diante desse cenário, a transformação da sala de aula em um ambiente dinâmico e interativo é essencial para preparar os alunos para os desafios do mundo atual.

Nesse sentido, é proposto no Documento Curricular Referencial do Ceará - Ensino Médio (2021) que, para consolidarem o conhecimento, os alunos precisam entender que os princípios da Física são fundamentais para todos os habitantes do planeta, desde as necessidades primárias até o uso da alta tecnologia, e que, para atingirem esse entendimento, é essencial envolvê-los por meio de experiências práticas mostrando a relevância desses conhecimentos em situações do mundo real. Há, portanto, uma necessidade de abordar os conhecimentos em tempo adequado e de forma contextualizada, fortalecendo as mediações interdisciplinares, além de enfatizar a utilização de metodologias ativas no ensino de Física, para promover uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos relacionando-os às necessidades cotidianas dos alunos.

Diante disso, as metodologias ativas de aprendizagem são um conjunto de abordagens pedagógicas que colocam os alunos no centro do processo de aprendizagem. Ao invés de serem passivos, receptores de informações, os alunos são encorajados a se envolver na construção do conhecimento participando de atividades que os desafiam a pensar criticamente, resolver problemas, colaborar com os colegas e aplicar o que aprenderam em contextos do mundo real.

Ao longo dos anos, essas abordagens foram estudadas e aplicadas para favorecer a autonomia do aluno, despertando sua curiosidade e estimulando a tomada de decisões (Borges; Alencar, 2014). Elas promovem um ambiente dinâmico e colaborativo, onde os alunos participamativamente do processo de aprendizagem, trazendo novas perspectivas e tornando-se protagonistas do próprio conhecimento (Berbel, 2011).

Diferentemente do modelo tradicional, em que o professor é o detentor do saber, nas metodologias ativas ele assume o papel de facilitador, orientando e mediando a construção do conhecimento (Silva *et al.*, 2021). Assim, o aluno ganha confiança e desenvolve habilidades críticas e reflexivas, internalizando o conhecimento de forma mais significativa. Esse processo também está relacionado à diversidade de estratégias pedagógicas que favorecem o trabalho colaborativo, a resolução de problemas e o desenvolvimento da autonomia (Salerno; Salvadori, 2022).

No contexto das metodologias ativas, o uso de jogos tem se consolidado como uma ferramenta pedagógica de grande relevância. Isso ocorre porque os jogos sempre desempenharam um papel significativo na vida cultural dos povos, sendo fundamentais para o ser humano em diversas faixas etárias. Desde a infância, as pessoas são naturalmente

introduzidas no mundo das brincadeiras e jogos, o que se revela essencial para o seu desenvolvimento. Dessa forma, as atividades lúdicas estão diretamente ligadas ao universo da criança e à sua fase de vida, proporcionando a oportunidade para o desenvolvimento inicial de habilidades cognitivas, motoras e sociais (Silva; Kodama, 2004).

Nesse contexto, a gamificação é entendida como a “[...] apropriação de elementos dos jogos aplicados em contextos, produtos e serviços necessariamente não focados em jogos, mas com a intenção de promover a motivação e o comportamento do indivíduo” (Busarello; Ulbricht; Fadel, 2014, p. 14). Assim, os jogos possuem um vasto potencial pedagógico, sendo aplicáveis em diversos contextos de aprendizagem, e entre os seus principais benefícios está a capacidade de promover a construção da autoconfiança dos alunos. Dessa maneira, na participação ativa em jogos, os estudantes têm a oportunidade de testar suas habilidades, lidar com erros de forma construtiva e perceber que o processo de aprendizagem é gradual.

MATERIAIS E MÉTODOS

No que diz respeito à natureza do método desta pesquisa, a abordagem utilizada é qualitativa, visto que tal abordagem “[...] responde a questões muito particulares. Ela se preocupa, nas ciências sociais, com um nível de realidade que não pode ser quantificado. Ou seja, ela trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes [...]” (Minayo, 2001, p. 21-22).

No que concerne às técnicas de pesquisa, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca dos conceitos de interação, gamificação, jogos e metodologias ativas. De acordo com Marconi e Lakatos (2022), a pesquisa bibliográfica diz respeito a toda a bibliografia publicada sobre o tema, incluindo meios de comunicação oral. Em seguida, foi realizada uma pesquisa de campo, cuja característica principal consiste no “[...] levantamento de dados no próprio local onde os fenômenos ocorrem” (Markoni; Lakatos, 2022, p. 203).

A pesquisa ocorreu entre outubro de 2023 e março de 2024, em uma turma de aproximadamente 30 alunos da 3^a série do Ensino Médio, a qual, para fins de sigilo, foi denominada turma A, de uma escola de tempo integral que fazia parte do Programa de Residência Pedagógica (PRP), localizada na cidade de Tianguá-CE.

Dentro da perspectiva de promover uma abordagem engajadora no ensino de Física, consistiu no uso de um jogo de tabuleiro como ferramenta metodológica para potencializar as

interações entre os estudantes, bem como entre estes e os professores, integrar os conteúdos de Física de maneira lúdica e interativa, estimular a participação ativa dos estudantes e aprimorar habilidades como raciocínio lógico, cooperação e resolução de problemas.

A dinâmica do jogo envolveu perguntas relacionadas aos conceitos de termodinâmica, atendendo a necessidade da turma de revisar esse conteúdo na preparação para a prova do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem). Embora a termodinâmica seja um tema previsto para a 2^a série do Ensino Médio, conforme a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), sua retomada foi fundamental para reforçar a compreensão dos alunos e consolidar os conhecimentos para o exame. A aplicação do jogo aconteceu durante as aulas de Física, e o professor que atuou como orientador e mediador da atividade era preceptor do PRP.

A coleta de dados foi realizada a partir de observações diretas que foram documentadas por uma das autoras nos instrumentais exigidos pelo PRP, que incluíam diários de bordo, relatórios de módulo e registros fotográficos. Esses documentos foram fundamentais para registrar o nível de engajamento dos alunos, a colaboração entre eles e suas percepções sobre o impacto do jogo na compreensão dos conteúdos. A análise dos dados ocorreu de forma qualitativa, priorizando a interpretação das interações e observando a participação ativa dos alunos.

DESENVOLVIMENTO

O Programa de Residência Pedagógica (PRP) é uma iniciativa do Ministério da Educação, por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), e visa fortalecer a formação prática de estudantes de licenciatura aproximando-os da realidade escolar, aprimorando suas competências docentes. No âmbito do curso de Licenciatura em Física do *campus* Tianguá do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), o PRP tem desempenhado um papel fundamental na imersão dos licenciandos no ambiente escolar, permitindo-lhes desenvolver estratégias didáticas inovadoras e refletir sobre sua prática docente.

O programa do edital de 2022 (nº 24/2022) foi estruturado em três módulos, que envolviam a participação de residentes, incluindo voluntários. No curso de Licenciatura em Física, contou com 1 coordenador vinculado ao IFCE, 3 preceptores de escolas de ensino médio da educação básica da rede pública nas cidades de Ubajara, Tianguá e Viçosa do Ceará e 17 residentes, entre eles 15 bolsistas e 2 voluntários. Durante o programa, o tempo

destinado para cada escola era de 6 meses por módulo, totalizando 18 meses. Nesse período era necessário preencher documentos para cada módulo, como o diário de bordo, que era feito a cada 15 dias, totalizando dois diários por mês. O jogo foi aplicado durante o módulo III, no auditório de uma escola-campo localizada na cidade de Tianguá-CE.

Para facilitar a visualização da descrição da turma A, foram separadas as partes dos diários de bordo (Quadro 1) que exclusivamente a ela se referem, os quais foram transcritos no período anterior à aplicação do jogo e seguem um padrão sistemático de numeração: cada registro recebe um código sequencial desde o início do programa, sendo o primeiro diário do mês identificado como XX.1 e o segundo como XX.2:

Quadro 1 – Observações dos diários de bordo

Nº do Diário	Descrição das interações
24.1	Os alunos realizavam as atividades, mas sem envolvimento real com o conteúdo, e a interação com o professor era mínima.
24.2	A aula foi centrada na organização de trabalhos, mas os alunos permanecem apáticos, limitando-se a seguir instruções sem demonstrar curiosidade. Muitos se distraem facilmente, evitando interações até mesmo com os colegas, e poucos se empenharam na atividade de forma autônoma.
25.1	Neste dia ocorreu resolução de questões na qual a correção de questões revelou desinteresse generalizado. Os alunos, mesmo tendo dúvidas, não se manifestaram, apenas acompanharam as explicações de forma passiva, sem engajamento real.
25.2	Os alunos demonstraram pouco comprometimento com seus projetos. Muitos trabalhavam de forma isolada, sem interagir, e mesmo os que avançavam nos questionários mantinham um ritmo lento e sem entusiasmo. A comunicação entre os grupos foi mínima, e grande parte parecia apenas cumprir a tarefa sem real envolvimento.
26.1	A regência no laboratório de informática revelou falta de interesse, com alunos trabalhando isoladamente. Alguns não iniciaram a atividade enquanto outros demonstraram impaciência e desmotivação ao longo da aula.
26.2	Durante a revisão para o ENEM, a turma A não respondeu a nenhuma pergunta do professor. O tempo reduzido para atividade agravou a desmotivação, e a maioria dos alunos apenas acompanhava as explicações sem qualquer participação. Alguns se dispersaram, e poucos demonstraram preocupação com a relevância do conteúdo para o exame.
27.1	No aulão preparatório para o ENEM, os alunos demonstraram cansaço e desmotivação, muitos sequer entraram no auditório. Os que entraram permaneceram em silêncio, evidenciando esgotamento mental e falta de interação.

Fonte: elaborado pelas autoras (2025).

A partir dos diários de bordo, analisa-se que a turma A demonstra um desinteresse generalizado nas atividades propostas, com os alunos realizando as tarefas de forma apática e sem envolvimento real com o conteúdo, isso porque é demonstrado um maior uso da metodologia tradicional, na qual

O aluno é educado para atingir, pelo próprio esforço, sua plena realização como pessoa. Os conteúdos, os procedimentos didáticos, a relação professor-aluno não têm nenhuma relação com o cotidiano do aluno e muito menos com as realidades sociais. É a predominância da palavra do professor, das regras impostas, do cultivo exclusivamente intelectual (Libâneo, 1983, p. 2-3).

Verifica-se que, ao adotar apenas a exposição como metodologia, as aulas se tornam monótonas e desestimulantes, o que leva os alunos a se sentirem cada vez menos engajados e interessados pelo aprendizado. Esse formato reflete a dificuldade em os estudantes se envolverem de maneira ativa, uma vez que o ensino é conduzido de forma unilateral, sem estimular a reflexão crítica ou a construção de sentido a partir da experiência do aluno. Além disso, a interação com o professor é mínima, e muitos alunos optam por trabalhar isolados, sem colaborar ou interagir com os colegas, resultando em uma turma com baixa interação social, falta de comprometimento com os conteúdos e um desinteresse constante pelas atividades propostas.

O TABULEIRO

O tabuleiro (Figura 1) foi construído para ser simples, acessível e, ao mesmo tempo, rico em elementos gráficos. Para isso ele foi feito manualmente no Canva, utilizando-se o formato de uma folha A4, a fim de facilitar sua impressão em caso de necessidade de adaptação para grupos menores de alunos. A escolha pelo formato A4 visou à praticidade e versatilidade, permitindo que o material fosse facilmente reproduzido em diferentes contextos e com baixo custo. Além disso, o formato também possibilitava que os alunos visualizassem o tabuleiro de maneira clara e eficiente durante o jogo.

Figura 1 – Tabuleiro.



Fonte: elaborada pelas autoras, 2025.

Figura 2 – Cartas de fogo e gelo.



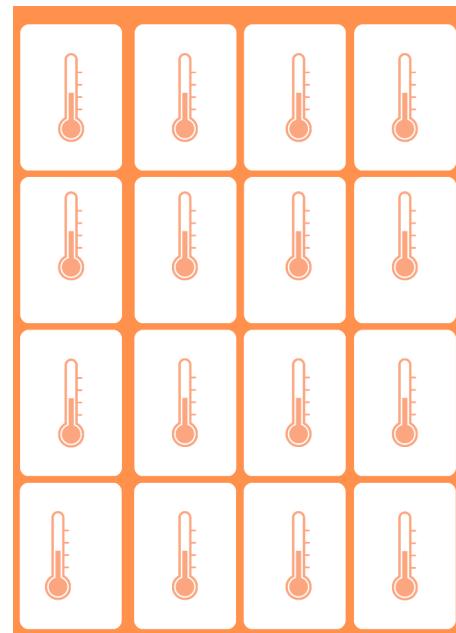
Fonte: elaborada pelas autoras, 2025.

Figura 3 – Cartas de termômetro (frente).



Fonte: elaborada pelas autoras, 2025.

Figura 4 – Cartas de termômetro (verso).



Fonte: elaborada pelas autoras, 2025.

O tabuleiro foi estruturado com 62 casas numeradas, organizadas de forma contínua ao longo de um percurso que envolvia diversos elementos gráficos. Para criar uma atmosfera mais envolvente, foram incorporados ícones temáticos, como flocos de neve, fogo e termômetros, que, além de decorarem o tabuleiro, influenciavam diretamente a dinâmica do jogo. Cada um desses elementos estava associado a cartas temáticas que motivavam as ações dos jogadores, conforme demonstram as Figuras 2, 3 e 4.

As casas relacionadas ao fogo eram associadas a perguntas conceituais sobre termodinâmica, abordando conceitos como calor, energia e transferência térmica. Essas perguntas desafiavam os jogadores a refletir sobre o conteúdo aprendido, promovendo o aprendizado ativo e o fortalecimento do conhecimento teórico.

As casas com o símbolo do gelo continham perguntas relacionadas ao cotidiano, aproximando os conceitos científicos das experiências diárias dos alunos. Questões sobre práticas cotidianas, como o equilíbrio termodinâmico que ocorre em uma xícara de café ao esfriar, estimulavam o pensamento crítico e a capacidade de aplicar conhecimentos científicos em situações do dia a dia.

Por fim, as casas com o termômetro tinham um caráter mais animado e divertido, funcionando como uma forma de aliviar a tensão do jogo e manter os jogadores engajados. As cartas dessa categoria incluíam comandos como "volte uma casa" ou "avance duas casas", que criavam momentos de surpresa e descontração, além de influenciar a trajetória dos jogadores de forma imprevisível, tornando o jogo mais dinâmico e estimulante.

As regras do jogo foram criadas para incentivar a interação entre os participantes e ao mesmo tempo proporcionar um desafio intelectual. Cada jogador, ao cair em uma casa referente ao fogo, gelo ou termômetro, deveria puxar uma carta correspondente à categoria e responder à questão, ou passar a jogada. O objetivo não era apenas chegar ao final do tabuleiro, mas também refletir sobre os conceitos discutidos durante a partida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme Campos, Bortoloto e Felício (2003), o professor desempenha um papel essencial na formulação e reformulação de conceitos, orientando os alunos no processo de construção do conhecimento. Para isso, é fundamental considerar seus conhecimentos prévios e estabelecer conexões entre o que já foi aprendido e os novos conteúdos apresentados. Sendo assim, o primeiro passo para a aplicação do tabuleiro foi uma revisão

com anotações no quadro, a fim de promover um diálogo sobre os principais conceitos da termodinâmica.

Em seguida, o tabuleiro foi apresentado, e os alunos foram instruídos a se dividir em duas equipes, escolhendo um nome e um representante. Cada equipe se posicionou de um lado do tabuleiro, com seu representante à frente para o lançamento do dado. Nesse momento os próprios alunos sugeriram que o jogador inicial fosse definido por meio do jogo "ímpar ou par".

No início da partida, houve certa confusão na dinâmica das respostas, pois todos queriam falar ao mesmo tempo. No entanto, o professor responsável pelo componente curricular interveio orientando os alunos a discutir entre si antes de responder, garantindo que apenas o representante da equipe viabilizasse a resposta final. Essa abordagem não apenas organizou a dinâmica do jogo, mas também estimulou o desenvolvimento de habilidades essenciais, como o pensamento crítico, a argumentação, a escuta ativa e o trabalho em equipe, ao debaterem entre si e analisarem diferentes perspectivas.

À medida que o jogo avançava, os alunos demonstravam crescente entusiasmo, expressado por risos e alterações no tom de voz ao discutir as estratégias com seus representantes. Inicialmente, alguns estudantes não colaboraram para as respostas, mas, com o desenvolvimento da atividade, passaram a se envolver mais, trocando ideias com os colegas para chegar à melhor resposta. Alunos que antes se mantinham reservados começaram a participar ativamente, sendo valorizados pelos colegas como "os mais inteligentes". Assim, os grupos trabalharam coletivamente para elaborar respostas mais precisas. Quando o professor indicava que uma resposta estava incompleta, os alunos retornavam à discussão com mais empenho, buscando soluções.

Dados coletados no Programa de Residência Pedagógica (PRP) indicavam que, antes da implementação do jogo, conforme apresentado no Quadro 1, havia baixa interação entre os alunos e entre estes e o professor. A metodologia tradicional, baseada em aulas expositivas e resolução de questões, resultava em menor engajamento dos estudantes tanto na aprendizagem quanto na interação interpessoal, mas, com a aplicação do jogo, houve uma melhora na dinâmica da sala de aula, promovendo um ambiente mais colaborativo e interativo. Assim, o uso de jogos didáticos dentro do ambiente escolar permite que os discentes participem de forma mais autônoma na construção do seu próprio conhecimento, além de favorecer a socialização, a conscientização do trabalho em equipe, a criatividade e o senso crítico (Oliveira *et al.*, 2016).

Após a utilização do jogo, os alunos passaram a perguntar com mais frequência quando haveria novas atividades lúdicas. Questionados sobre a experiência, responderam que a aula foi "diferente" e que nem a consideravam uma aula propriamente dita. Essa reação evidencia um contraste significativo com os métodos convencionais aos quais estavam acostumados, bem como maior envolvimento e engajamento dos alunos, propiciados pela novidade da atividade, a ponto de não a associarem a uma aula tradicional. Tal fato revela o impacto positivo do uso de abordagens mais dinâmicas e interativas no processo de ensino-aprendizagem.

Além disso, foi observada uma maior interação entre os estudantes, com alguns deles levando jogos, como UNO, para os intervalos. Esse comportamento reforça a importância do jogo como ferramenta de interação social e emocional, criando um vínculo entre os participantes. Essa mudança está alinhada com a perspectiva de Prado (2018, p. 37), o qual afirma que a "[...] cooperação é outro ponto diferenciado dos jogos [...], na qual o trabalho em equipe é evidenciado e competências como liderança, uso de habilidades especiais em prol do coletivo e planejamento de metas são aprimoradas". Ou seja, ao participarem de atividades lúdicas em grupo, os estudantes exercitam habilidades como comunicação eficaz, resolução de problemas e tomada de decisões estratégicas (Prado, 2018). Dessa forma, a introdução de jogos no cotidiano escolar não apenas dinamiza as interações sociais, mas também favorece o desenvolvimento de habilidades socioemocionais.

No relatório de atividades do PRP, observou-se uma mudança significativa na relação entre professor e alunos. Inicialmente, a comunicação era restrita a questões burocráticas, como pedidos para sair da sala ou resolver problemas administrativos. Com a introdução do jogo de tabuleiro, percebeu-se que os estudantes passaram a interagir de forma mais aberta e interessada, fazendo perguntas detalhadas sobre o conteúdo. O jogo atuou como um complemento, tornando as aulas mais dinâmicas e incentivando uma participação mais ativa dos alunos.

Essa observação está em consonância com o que apontam Costa, Miranda e Gonzaga (2018, p. 72), ao afirmarem que "[...] a utilização do lúdico, como ferramenta auxiliar, aliada à prática pedagógica, pode preencher lacunas deixadas pelo processo tradicional de transmissão de conhecimentos". Dessa maneira, o tabuleiro agregou novos elementos à didática já existente, contribuindo para um ensino mais envolvente, no qual abordagens inovadoras e tradicionais se complementam para enriquecer a experiência educacional.

Além disso, os alunos começaram a buscar orientação sobre como se preparar melhor para as avaliações, evidenciando um senso de responsabilidade pelo próprio aprendizado. Esse comportamento transformou a dinâmica da sala de aula, tornando-a mais colaborativa e construtiva. Também foi percebida uma melhoria na interação entre os alunos tanto em discussões acadêmicas quanto em conversas informais. Alunos que costumavam sair da sala frequentemente passaram a permanecer na aula e interagir ativamente com os colegas, inclusive de outras turmas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados coletados por meio dos instrumentais do Programa de Residência Pedagógica (PRP) evidenciaram que, antes da aplicação do jogo, os estudantes apresentavam um comportamento apático e distante durante as aulas expositivas, principalmente quando estas se concentravam na resolução de cálculos e na memorização de fórmulas. A introdução do jogo, fundamentado na gamificação, permitiu reverter esse quadro, despertando maior interesse pelos conteúdos e favorecendo a participação ativa dos alunos.

A pesquisa reforça a importância de metodologias ativas no processo de ensino-aprendizagem, como evidenciado pelo Documento Curricular Referencial do Ceará - Ensino Médio (2021). O jogo de tabuleiro mostrou-se um recurso capaz de atender a essas diretrizes ao transformar o professor em um mediador do conhecimento e ao possibilitar que os alunos se tornassem protagonistas da própria aprendizagem. Ademais, durante a aplicação da atividade, foi perceptível o aprimoramento da socialização dentro da sala de aula, com os estudantes interagindo mais entre si e com o docente, favorecendo um ambiente de ensino mais estimulante. Por fim, este estudo contribui para o fortalecimento das metodologias ativas na educação e para a construção de práticas pedagógicas mais engajadoras e eficazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, A. J. S.; MOREIRA, M. A.; SAHELICES, M. C. C. A matemática nos processos de ensino e aprendizagem em Física: funções e equações no estudo da quantidade de movimento e sua conservação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 673-696, 2017.

BARRETO, A. L. C. S. **A escola e seu papel na construção de diferentes identidades sociais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

BERBEL, N. A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia dos estudantes. **Semina: Ciências sociais e humanas**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2011.

BONADIMAN, H.; NONENMACHER, S. E. B. O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 2, p. 194-223, 2007.

BORGES, T. S.; ALENCAR, G. Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. **Cairu em Revista: Sociedade, Educação, Gestão e Sustentabilidade**, Salvador, v. 3, n. 4, p. 119-143, 2014.

BUSARELLO, R. I.; ULBRICHT, V. R; FADEL, L. M. A gamificação e a sistemática de jogo: conceitos sobre a gamificação como recurso motivacional. In: FADEL, Luciane Maria; ULBRICHT, Vania Ribas; BATISTA, Claudia Regina, VAZIN, Tarcísio. **Gamificação na Educação**. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014. E-Book. Disponível em: https://www.academia.edu/9139616/_eBook_-_PDF_Gamifica%C3%A7%C3%A3o_na_Educa%C3%A7%C3%A3o. Acesso em 31 jan. 2025.

CAMPOS, L. M. L; BORTOLOTO, T. M.; FELÍCIO, A. K. C.. A produção de jogos didáticos para o ensino de ciências e biologia: uma proposta para favorecer a aprendizagem. **Caderno dos núcleos de Ensino**, v. 47, n.1, p. 47-60, 2003.

CEARÁ. Secretaria de Educação do Estado do Ceará. **Documento Curricular Referencial do Ceará – Ensino Médio**. Fortaleza, CE, 2021. [Versão Preliminar].

COSTA, R. C.; MIRANDA, J. C.; GONZAGA, G. R. Avaliação e validação do jogo didático “Desafio Ciências–sistemas do corpo humano” como ferramenta para o Ensino de Ciências. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 9, n. 5, p. 56-75, 2018.

COSTA, L. G.; BARROS, M. A. **O ensino de Física no Brasil**: problemas e desafios. In: Educere - XII - Congresso Nacional de Educação , 2015.

LIBÂNEO, J. C. Tendências pedagógicas na prática escolar. **Revista da Associação Nacional de Educação**, São Paulo, v. 3, p. 11-19, 1983.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

MARTINS, T. M. O. A metamorfose do modo de ser e de estar no mundo atual e as reais mudanças na sala de aula presencial. **Revista Educação On-line PUC-Rio**, Rio de Janeiro, n. 12, 150-166, 2013]. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21609/21609.PDF>. Acesso em: 30 jan. 2025.

MICOTTI, M. C. O. O Ensino e as Respostas Pedagógicas. *In: BICUDO, M. A. V. (org.). Pesquisa em Educação Matemática: concepções e perspectivas.* São Paulo: Editora UNESP, 1999.

MINAYO, M. C. S. Ciência, Técnica e Arte: o desafio da pesquisa social. *In: MINAYO, M. C. S. (org.). Pesquisa Social: teoria, método e criatividade.* 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 9-29.

OLIVEIRA, N. C. *et al.* A produção de jogos didáticos para o ensino de biologia: contribuições e perspectivas. **Ciclo Revista: Vivências em Ensino e Formação**, Goiânia, v. 1, n. 2, 2016.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

PRADO, L. L. Jogos de tabuleiro modernos como ferramenta pedagógica: pandemic e o ensino de ciências. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, Foz do Iguaçu, v. 2, n. 2, p. 26-38, 2018.

PRÄSS, A. R. Teorias de aprendizagem. **ScriniaLibris.com**, 2012.

SALERNO, L. P.; SALVADORI, L. V. Os Jogos como Metodologia Ativa no Processo de Aprendizagem. *In: BRAGA, D. L. S. Reflexões e inovações nacionais no século XXI em Pedagogia e Educação.* Florianópolis, SC : Instituto Scientia, 2022. p. 445-457. Disponível em: <https://institutoscientia.com/wp-content/uploads/2022/05/capitulo-pedagogia-35.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SANTOS, L. R.; ANDRADE, E. L. M.; FERNANDES, J. C. C.; LIMA, E. F. As contribuições da Teoria da Aprendizagem de Lev Vygotsky para o desenvolvimento da competência em informação. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, [S. I.], v. 17, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://rbbd.febab.org.br/rbbd/article/view/1489>. Acesso em: 31 jan. 2025.

SILVA, A. F.; KODAMA, H.M.Y. Jogos no ensino da matemática. *In: BIENAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA*, 2., Salvador, p. 1-19. 2004.

SILVA, A. J. C.; CRUZ, S. R. M.; SAHB, W. F.; COSTA, C. M. C. S. Metodologias Ativas: Origem, Características, Potencialidades, Limitações e Relações Possíveis. **ReMATE**, Itu, v. 2, n. 1, p. 19-34, 2021. Disponível em: https://mativas.com.br/revista/numero2/remeate_n02_silva_etal.pdf. Acesso em: 31 jan. 2025.

TASSONI, E. C. M. Afetividade e aprendizagem: a relação professor-aluno. **Psicologia, análise e crítica da prática educacional**. Campinas: ANPED, p. 1-17, 2000.

TRAPLE, G. F.; SOARES, J. M. A Interatividade como Estratégia de Ensino-Aprendizagem no Ensino de Termologia. *In: PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE: produções didático-pedagógicas.* Curitiba: SEED-PR, 2013. v. 2 (Cadernos PDE)

CAPÍTULO 2

A PRESENÇA DA MULHER NO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA NO CONTEXTO BRASILEIRO

Clarice Lima do Carmo
Egressa do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: clarice.carmo32@gmail.com

Anna Karolina Alves do Nascimento
Professora do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: karolina.nascimento@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

Em conformidade com a teorização feminista, existe “[...] uma profunda desigualdade dividindo homens e mulheres, com os primeiros apropriando-se de uma parte gritantemente desproporcional dos recursos materiais e simbólicos. Essa repartição desigual estende-se à educação e ao currículo” (Silva, 2011, p. 92). Nesse sentido, algumas áreas do conhecimento são comumente associadas aos homens, como é o caso da Física.

Diante dessa perspectiva, o conceito de gênero “[...] amplia o conceito de sexualidade e designa as representações acerca do masculino e do feminino que são construídas culturalmente, distanciando-se ainda mais de uma compreensão biologizante” (Dinis, 2008, p. 482). Assim, sendo o gênero construído socialmente, o distanciamento de mulheres de determinados cursos superiores não se dá pela sua incapacidade intelectual, mas por fatores culturalmente construídos que dificultam o acesso, a permanência e o sucesso acadêmico nesses espaços.

Nesse sentido, “observa-se que as concepções de gênero diferem não apenas entre as sociedades ou os momentos históricos, mas no interior de uma dada sociedade, ao se considerar os diversos grupos (étnicos, religiosos, raciais, de classe) que a constituem” (Louro, 2003, p. 23). Quando se fala sobre a Física, temos um antecedente maior de figuras masculinas em destaque, isso se deve a uma série de fatores históricos, culturais e sociais que foram criados e que ainda nos dias atuais perpetuam a desigualdade de gênero na ciência. Durante um longo período da história, as mulheres não tinham acesso ao mínimo na sociedade, incluindo a educação e a pesquisa científica.

A esse respeito, Butler (2018, n.p) afirma que a condição cultural das mulheres “[...] era mal representada ou simplesmente não representada”. Para fomentar essa exclusão, usou-se por muito tempo a justificativa de que as mulheres eram incapazes e limitadas para atuar nesse campo. É importante ressaltar que a cultura científica se desenvolveu em ambientes ocupados predominantemente por homens; neles o público masculino ocupava e exercia funções respeitadas e excluía as mulheres de diálogos, funções e atividades no campo científico. É notório que esses padrões de exclusão avançaram, se reformularam e se reforçaram ao longo do tempo, fazendo com que fosse perceptível uma hierarquia cultural, a qual privilegia os homens na ciência, incluindo as mais diversas áreas de atuação da Física.

No contexto histórico da educação, durante um longo processo se teve a ideia de que determinadas áreas do ensino eram destinadas para os homens e outras para as mulheres. Dessa maneira, as áreas das ciências exatas e das ciências da natureza, destacando-se a Física, tiveram pouca representatividade feminina, entretanto no atual contexto se percebe que esse panorama está sendo modificado. O acesso e a permanência da mulher no curso de Licenciatura em Física têm sido objeto de destaque e consequentemente de estudo, visto que esse espaço ainda é ocupado majoritariamente por homens. Nesse sentido, o objetivo geral deste estudo é discutir a presença da mulher na Licenciatura em Física, no que se refere ao acesso, permanência e evasão.

Desse modo, a presente pesquisa se justifica pelo contexto histórico de mudança que está sendo vivenciado, assim como pela possibilidade de fomentar a presença da mulher na Licenciatura em Física. O interesse em pesquisar a respeito da presença da mulher na Física também se manifestou ao se observar, através de pesquisa, que ao longo das gerações o progresso e os espaços obtidos pelas mulheres têm se apresentado de forma tardia e lenta, levando-se em consideração que, para que o público feminino pudesse ter representatividade nos dias atuais, foi necessária a quebra de diversos paradigmas. Vale ressaltar que a mulher ainda é pouco representada e reconhecida, e pode-se notar esse aspecto observando-se livros, documentários e palestras, nos quais a figura feminina tem um escasso destaque no viés relacionado, sobretudo, às áreas das ciências exatas e da natureza.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Licenciatura em Física é marcada por altos índices de evasão, porém tal aspecto é substancialmente mais preocupante quando se trata do gênero feminino. Nessa perspectiva,

Agrello e Garg (2009, p. 1305-1) afirmam que “muitas das mulheres que iniciam o curso de física acabam por desistir. Uma proporção maior de mulheres que de homens abandona a física em cada estágio da carreira – um fenômeno frequentemente chamado de *leaky pipeline* (‘vazamento na tubulação’). Tal fenômeno não é exclusividade do Brasil, tendo em vista que em quase todos os países as mulheres têm “escorrido” de suas carreiras, da graduação até a pós-graduação, assim como de cargos mais elevados do mercado de trabalho.

No que concerne à participação de mulheres na educação em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (*science, technology, engineering and mathematics* – STEM), observa-se que, enquanto

[...] as diferenças de gênero no desempenho em ciências e matemática parece ter se reduzido em muitos países nos últimos anos, como demonstrado em pesquisas nacionais de larga escala, elas ainda não foram totalmente eliminadas. Além disso, ao mesmo tempo em que mais mulheres passaram a fazer parte da força de trabalho de STEM, em muitos países, elas ainda são significativamente sub-representadas em profissões nessas áreas (Unesco, 2018, p. 15).

Nesse sentido, nas últimas décadas a participação feminina vem crescendo em distintas áreas e, em algumas situações, tem ultrapassado a participação masculina. Entretanto, tal fato não se aplica à Física, área do conhecimento que historicamente tem pouca participação das mulheres (Saitovitch; Lima; Barbosa, 2015). Essa sub-representação feminina na Física é preocupante, pois essa é uma área “[...] na qual o aumento do número de mulheres tem sido particularmente lento. Muitas jovens com grande potencial intelectual não têm a oportunidade de estudar física ou de se preparar para uma carreira nessa área. Outras são deliberadamente desencorajadas” (Agrello; Garg, 2009, p. 1305-1).

Tendo em vista superar esse cenário de sub-representação feminina na Física, faz-se necessário identificar as barreiras que levam à exclusão desse público, para que possam ser sugeridas estratégias que visem ao acesso e à permanência de mulheres em cursos superiores, assim como à verticalização de suas carreiras após a formação inicial.

Nesse sentido, Menezes, Brito e Anteneodo (2019) apontam as possíveis causas para que o efeito tesoura ocorra em etapas distintas da carreira na Física e afirmam que tudo inicia com estereótipos e preconceitos de gênero aos quais as crianças são expostas desde a mais tenra idade. Além disso:

[...] fatores como a falta de modelos de mulheres de sucesso e a existência de crenças ou estereótipos negativos sobre as suas habilidades e sobre as suas possibilidades de ascensão podem criar um sentimento de “não pertencer” e

desestimular, assim, a participação em áreas específicas (Menezes; Brito; Anteneodo, 2019, n.p.).

É primordial que se reconheça que a ausência de mulheres na Física é um problema a ser combatido, tendo em vista que a diversidade é essencial à ciência, pois a torna tanto “[...] melhor quanto mais inclusiva [...]”, permite trazer novos e distintos pontos de vista e elaborar perguntas de pesquisa inovadoras, assim enriquecendo o desenvolvimento científico” (Anteonodo; Brito; Menezes, 2022, p. 1). Desse modo, a presença feminina “[...] promove a excelência científica e impulsiona a qualidade dos resultados em STEM, uma vez que abordagens diferentes agregam criatividade, reduzem potenciais vieses e promovem conhecimento e soluções mais robustas” (Unesco, 2018, p. 15).

É urgente uma reconfiguração da forma como a sociedade percebe e trata as mulheres na ciência, reconhecendo suas contribuições e incentivando sua participação em áreas tradicionalmente dominadas por homens. Portanto, esforços devem ser feitos para aumentar a representatividade feminina na ciência, especificamente na Física, o que é fundamental para garantir a diversidade e a inclusão no ambiente científico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa tem natureza qualitativa, visto que “ela trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis” (Minayo, 2001, p. 21-22). Quando classificada considerando-se seus objetivos, é definida como explicativa, pois, conforme Gil (2019), tem como objetivo identificar os fatores que contribuem ou determinam a ocorrência de um determinado fenômeno.

Como o próprio nome define, a pesquisa explicativa auxilia no aumento de conhecimentos acerca de uma realidade, pois busca determinar a razão e a relação de causa e efeito dos fenômenos. Tem como principal objetivo conhecer a realidade procurando a razão dos fatos, e por isso se torna passível de apresentar erros, entretanto, os resultados por ela apresentados servem para fundamentar o conhecimento científico (Andrade, 2017).

No que concerne aos procedimentos necessários, foi realizada a revisão da literatura, através de pesquisa bibliográfica e documental acerca do acesso, permanência e evasão de mulheres na Licenciatura em Física. Para tanto, foi realizado um levantamento na plataforma Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, na base de dados Scientific Electronic Library Online (SCIELO), no Google Acadêmico e nos Periódicos da Capes sobre a temática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista discutir a presença da mulher na Licenciatura em Física no que se refere ao acesso, evasão e permanência, assim como impressões sobre esta realidade, realizamos pesquisa bibliográfica a partir das palavras-chave mulher, gênero, Física e licenciatura. Dessa maneira, foi executado um levantamento na plataforma Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, na base de dados Scientific Electronic Library Online (SCIELO), no Google Acadêmico e nos Periódicos da Capes sobre a temática.

No que concerne à escolha dos trabalhos, foram levados em consideração apenas os estudos de caso referentes a instituições de ensino superior brasileiras. Assim, nas buscas foram selecionadas sete pesquisas (Quadro 1), entre elas seis artigos e uma dissertação. Diante dessa perspectiva, realizou-se uma breve apreciação de cada um desses trabalhos, com vista a discutir a interface entre os temas.

Quadro 1 – Estudos analisados na pesquisa.

Título do Trabalho	Autores	Ano
Impressões de estudantes universitários sobre a presença das mulheres na ciência	Teixeira e Costa	2008
Mulheres na licenciatura de física: uma permanência limitada	Londero, Sorpreso e Santos	2014
Análise da presença feminina nos cursos de licenciatura em física da UEMS: desafios e perspectivas	Souza e Grassi	2014
A presença feminina no curso de Licenciatura em Física: um estudo de caso	Magalhães <i>et al.</i>	2017
Análise da presença feminina no curso de licenciatura em Física da UFT	Carvalho, Silva e Rodrigues	2020
Análise da Figura Feminina no Curso de Licenciatura em Física no CAA/UFPE: a ciência também é das mulheres!	Santos	2020
Mulheres na Física: a atuação desse gênero no curso de licenciatura em Física do IFPE - Campus Pesqueira	Santos e Costa	2021

Fonte: elaborado pelas autoras, 2025.

No que tange aos trabalhos analisados, *Impressões de estudantes universitários sobre a presença das mulheres na ciência*, artigo produzido por Teixeira e Costa (2008), destaca-se por investigar a sub-representação histórica das mulheres nas ciências e na educação. A análise da sub-representação das mulheres em áreas das ciências exatas é o foco do artigo, ainda que se reconheça um aumento no número de mulheres em campos como engenharia e ciência da computação (American Institute of Physics, 2005).

Teixeira e Costa (2008) apontam em seu estudo as barreiras que as mulheres encontram na academia, as quais são as responsáveis pelo distanciamento do avanço promissor do público feminino em suas carreiras, entre elas a ausência de modelos de mulheres cientistas no Brasil e no mundo, bem como a desigualdade de gênero à medida que alcançam pontos mais altos da escala acadêmica.

O estudo conclui enfatizando a importância de tratar as questões de gênero na educação científica e de superar práticas sexistas para promover a emancipação. A ausência de modelos femininos na ciência, especialmente no Brasil, é identificada como um impedimento crucial para incentivar mais mulheres a entrar no campo. Além disso, o estudo alerta contra a naturalização das diferenças sociais e comportamentais entre homens e mulheres, sublinhando a necessidade de considerar questões de gênero na educação científica para o avanço da ciência como um todo (Santos, 2002; Candotti, 1998; Teixeira; Costa, 2008).

No artigo *Mulheres na licenciatura em física: uma permanência limitada*, escrito por Londero, Sorpreso e Santos (2014), o objetivo geral refere-se a investigar as taxas de desistência e permanência de mulheres em um curso de formação de professores de Física analisando-se a influência de fatores de gênero. O estudo se direciona especialmente para educadores e formuladores de políticas educacionais, com a intenção de contribuir para a compreensão e melhoria das práticas de inclusão de gênero no ensino superior.

A metodologia de pesquisa incluiu identificar as estudantes através do acesso ao sistema acadêmico, como também por meio de informações obtidas pela universidade. Assim, com os dados necessários, realizou-se a distribuição de um questionário para as alunas do curso de formação de professores de Física. O estudo analisou as respostas através da análise de discurso na vertente de Michel Pêcheux, uma abordagem que busca decodificar as várias camadas de significado em uma fala, com atenção especial às marcas discursivas de gênero. A análise de discurso permitiu investigar como as questões de gênero influenciaram a decisão das estudantes de desistir ou permanecer no curso.

Os resultados da pesquisa revelaram que as questões de gênero desempenharam um papel significativo na decisão das estudantes de desistir ou permanecer no curso de formação de professores de Física. Londro, Sorpreso e Santos (2014, p. 387) afirmaram ainda: “Não podemos afirmar que questões de gênero foram responsáveis pela desistência de estudantes. Por outro lado, percebemos nos discursos aspectos que nos remetem para questões de gênero”. A pesquisa apontou que um imaginário de gênero e um ideário patriarcal histórico estavam presentes entre os docentes, o que poderia afetar o desempenho acadêmico e a autoestima das estudantes, levando-as à desistência.

No entanto, o estudo também destacou alguns fatores que motivavam as estudantes a permanecer no curso. A paixão pelo ensino de Física, a participação em programas como o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (Pibid), atividades de pesquisa e a gratuidade do curso foram citadas como razões principais para a continuidade. Nesse sentido:

Esse discursos nos permitem inferir que a inserção em atividades acadêmicas, tanto de pesquisa como de docência, se faz necessária para o engajamento e, consecutivamente, permanência de muitas estudantes no curso, sendo uma possível política de incentivo para o aumento do número de estudantes em áreas científicas, como é o caso, por exemplo, da física (Londro; Sorpreso; Santos, 2014, p. 387).

O artigo *Análise da presença feminina nos cursos de licenciatura em física da UEMS: desafios e perspectivas* discute a representatividade feminina na ciência, ressaltando que, apesar da contribuição histórica das mulheres, a sua presença em ambientes científicos, especialmente nas ciências “duras”, como a Física, é sub-representada. O trabalho escrito por Souza e Grassi (2014) busca investigar o aumento de inscrições de mulheres no curso de Licenciatura em Física na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), a fim de entender os fatores que impulsionam esse crescimento, apesar dos desafios enfrentados pelas mulheres na área.

A metodologia do estudo baseou-se em uma pesquisa qualitativa e exploratória, utilizando questionários com perguntas abertas e fechadas aplicadas a doze estudantes do curso de Física da UEMS em 2012. A análise dos dados foi realizada com o auxílio de referências bibliográficas, análise de dissertações, teses, livros, artigos científicos, legislações pertinentes e sites especializados no tema.

Os dados obtidos da Diretoria de Registro Acadêmico (DRA/UEMS) indicaram um total de 740 alunos matriculados no curso de Física entre 2000 e 2012, dos quais 274 eram

mulheres. Para essa pesquisa, 12 dessas estudantes foram selecionadas e solicitadas a preencher o questionário de forma voluntária, clara e o mais completa possível.

Os resultados mostraram que, dentre as 12 estudantes entrevistadas, apenas 16,66% escolheram o curso de Licenciatura em Física como primeira opção de carreira, enquanto 66,66% das entrevistadas não o tiveram como primeira opção, em parte por causa do dilema entre estudar em uma instituição privada ou em uma pública.

A pesquisa apontou que todas as estudantes entrevistadas tinham a intenção de concluir o curso de Licenciatura em Física, mesmo que 66,66% delas não o tenham escolhido como primeira opção. Além disso, 41,66% das entrevistadas expressaram satisfação com o curso de Física e esperavam realizar-se profissionalmente nessa área.

Um achado relevante é que 41,66% das estudantes escolheram o curso de Física por terem facilidade em entender e explicar a disciplina. Isso contraria a visão comum de que as mulheres não se ajustam às ciências exatas, demonstrando que a barreira para a entrada na carreira de Física pode ser superada pelo interesse e dedicação na área (Cartaxo; Velho, 2008).

O estudo também indicou que a escassez de profissionais na área foi um fator motivador para 8,33% das entrevistadas escolherem o curso de Física. Além disso, as discentes indicam experiências negativas com professores não especializados em Física durante o período escolar, uma situação comum em escolas públicas.

Segundo Souza e Grassi (2014, n.p), grande “[...] parte do percentual de alunas entrevistadas neste estudo que tiveram decisão convicta de sua primeira opção de escolha, atribuiu ao Ensino Médio o fato de direcionarem sua opção por cursar Física”. Logo, nota-se que ações e projetos voltados a incentivar esse público a ingressar na universidade podem ser algo bastante positivo. Destaca-se que o direcionamento convicto para o curso de Física ainda no ensino médio pode ocorrer através de boas experiências vivenciadas nesse período, como, por exemplo, aulas que relacionam os conteúdos da disciplina com exemplos cotidianos, aulas dinâmicas e recursos didáticos alternativos.

O estudo intitulado *A presença feminina no curso de Licenciatura em Física: um estudo de caso*, produzido por Magalhães *et al.* (2017), analisa a presença feminina no curso de Licenciatura em Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A pesquisa exploratória e quantitativa foi realizada entre agosto e setembro de 2017 e analisou os registros acadêmicos de graduados no curso de Física nos últimos onze anos. Os dados coletados do Censo da Educação Superior foram usados para analisar o perfil dos estudantes, embora não detalhassem a área de formação dos discentes. Foi analisado o

número de graduados e graduadas, abrindo discussão sobre o papel feminino nas ciências exatas e a potencial discrepância entre essa universidade e outras instituições brasileiras.

Contrariamente às expectativas baseadas na literatura existente, os dados gerais do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul mostraram uma porcentagem ligeiramente superior de graduadas em relação aos homens. Isso demonstra que a universidade estudada contradiz a tendência geral em universidades brasileiras, apresentando um quadro mais equilibrado, em termos de gênero, nas ciências exatas (Magalhães *et al.*, 2017).

Como conclusão, os autores salientam que, embora os resultados encontrados sejam satisfatórios e demonstrem uma certa igualdade de gênero, eles são discrepantes dos demais estudos nos níveis nacional e global. Os autores reconhecem ainda que a presença de mulheres em ciências exatas é uma questão complexa e multifacetada. Ela é influenciada por uma variedade de fatores, incluindo estereótipos de gênero, expectativas sociais, falta de modelos femininos na área e estruturas institucionais que podem inadvertidamente favorecer os homens. Portanto, embora os resultados desse estudo sejam promissores, muito ainda precisa ser feito para garantir a igualdade de gênero na formação em ciências exatas e em campos profissionais relacionados.

Por fim, Magalhães *et al.* (2017) ressaltam a importância de continuar pesquisando e discutindo a questão da representação feminina nas ciências. O progresso em direção à igualdade de gênero beneficia a sociedade como um todo, através da diversificação de perspectivas e inovações na ciência e na tecnologia. A participação equitativa de todos os gêneros na ciência é um objetivo que deve ser perseguido por todas as instituições de ensino, desde o nível básico até o superior.

O artigo *Análise da presença feminina no curso de licenciatura em Física da UFT*, de autoria de Carvalho, Silva e Rodrigues (2020), destaca o contexto do ensino de Física no Brasil, indicando que a presença feminina nos cursos desta disciplina é significativamente menor. Em concordância com o raciocínio do baixo número de mulheres nas ciências exatas, Carvalho, Silva e Rodrigues (2020, p. 127) apresentam:

Dante de tal problemática, recentemente muitos grupos de pesquisa estão se dedicando ao estudo de questões de gênero e ciência. Algumas pesquisas estão sendo feitas visando a obtenção de dados sobre a participação das mulheres na Física nos diferentes níveis de carreira, procurando identificar os principais empecilhos a essa inclusão e definir ações que revertam o problema.

A pesquisa realizada pelas autoras pretendeu abordar essa questão examinando a situação no curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Foi utilizada uma metodologia de estudo de caso, baseada em dados quantitativos fornecidos pela secretaria acadêmica da UFT sobre os alunos da Licenciatura em Física desde 2009, ano de início do curso, até março de 2018.

As conclusões do artigo destacam que, ao longo de quase uma década, houve um aumento no número de mulheres matriculadas no curso e uma taxa de sucesso superior à dos homens. Esse fenômeno é atribuído ao enfoque do curso na formação de professores e ao contexto socioeconômico regional. Entretanto, a pesquisa não explora as causas desses resultados, de modo que se planeja um trabalho subsequente que incluirá uma investigação qualitativa para entender as razões da evasão e avaliar o impacto de programas como o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência na permanência das estudantes.

Em suma, o estudo aponta a necessidade de políticas públicas que incentivem a presença feminina na Física e de uma maior conscientização dos futuros professores sobre a importância da inclusão de mulheres nessa área. A expectativa é que tal pesquisa possa fomentar mais estudos relacionados à questão de gênero em cursos de Física em outras instituições (Carvalho; Silva; Rodrigues, 2020).

No âmbito acadêmico, um trabalho notável realizado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em 2020, é a monografia intitulada *Análise da Figura Feminina no Curso de Licenciatura em Física no CAA/UFPE: a ciência também é das mulheres!* (Santos, 2020). O objetivo geral da pesquisa foi analisar a presença e a representatividade feminina no curso de Licenciatura em Física na UFPE, destacando a relevância do papel das mulheres na ciência. Santos (2020) vê o estudo como uma oportunidade de desmistificar a visão de que a ciência é uma área predominantemente masculina, promovendo uma discussão aprofundada sobre igualdade de gênero na educação científica.

O público-alvo desse estudo são acadêmicos, pesquisadores e estudantes interessados em temas de diversidade e inclusão no ambiente acadêmico, particularmente na área de Física. Tal trabalho é de grande relevância para aqueles que buscam entender a dinâmica de gênero na educação científica, especialmente nas áreas tradicionalmente dominadas pelos homens.

A autora utiliza a metodologia qualitativa em sua pesquisa, empregando técnicas como entrevistas e análises documentais para coletar e analisar os dados. Essa abordagem permite uma compreensão mais profunda e contextualizada das experiências das mulheres no curso de Licenciatura em Física da UFPE.

As principais conclusões apontam a necessidade de ampliar a representatividade feminina no campo da Física, que continua sendo um domínio majoritariamente masculino. A autora sugere que mais esforços sejam feitos para encorajar e apoiar a participação feminina na ciência, proporcionando um ambiente acadêmico mais inclusivo e equitativo.

Em uma pesquisa intitulada *Mulheres na Física: a atuação desse gênero no curso de licenciatura em Física do IFPE - Campus Pesqueira*, realizada por Santos e Costa (2021), foi evidenciada uma tendência global de desequilíbrio de gênero na área da Física (Saitovitch; Lima; Barbosa, 2015; Agrello; Garg, 2009). Nessa disciplina, as mulheres representam apenas entre 10% e 12% do corpo docente, a despeito de haver uma presença feminina majoritária nos cursos de licenciatura (72,2%) (Inep, 2019).

O estudo abordou a inclusão de mulheres na ciência, particularmente na Física, com referência aos Programas Nacionais de Políticas para as Mulheres (PNPM) de 2004, 2005, 2008 e 2013. Observou-se que, apesar do aumento na presença feminina na Licenciatura em Física do IFPE – Campus Pesqueira entre 2010 e 2020, a predominância masculina ainda é visível, reforçando a existência de disparidades de gênero no campo da Física.

A análise dos dados indicou uma maior proporção de homens que concluem o curso, sugerindo a persistência das desigualdades de gênero na área. O estudo também apontou variações de desempenho entre os gêneros ao longo dos anos, com algumas mulheres superando os homens em certos períodos. Mesmo que a representação feminina em instituições – especialmente nas públicas – em Pernambuco ainda esteja longe de ser igualitária, as mulheres têm demonstrado capacidade para concluir o curso de Física, desafiando a literatura que sugere diferenças de gênero nas habilidades matemáticas de alto nível.

Com base nesses resultados, o estudo sugere a necessidade de promover mudanças sociais e superar as práticas tradicionais de gênero, bem como implementar políticas educacionais que ampliem o acesso das mulheres à Física e outras áreas dominadas por homens. As estratégias incluem o fortalecimento de núcleos de gênero nas universidades e a adoção de medidas específicas para aumentar a presença feminina na Física.

As conclusões do artigo ressaltam ainda que, apesar dos progressos na inclusão feminina na educação, a representação feminina na Física continua sendo minoritária. Os autores argumentam que isso se deve a uma série de fatores, incluindo estereótipos de gênero e a percepção da Física como um campo masculino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a conclusão desta investigação, é importante retomar nosso objetivo geral, que consiste em discutir a presença da mulher na Licenciatura em Física no que se refere ao acesso, permanência e evasão. No que concerne aos fatores que influenciam o acesso de mulheres ao curso, identificaram-se a promoção de modelos femininos na ciência, a valorização e divulgação de profissionais da área e a implementação de políticas públicas educacionais que ampliem o acesso de mulheres à Física e outras áreas dominadas historicamente pelos homens. Além disso, é necessário o desenvolvimento de ações e projetos voltados a incentivar o público feminino do ensino médio a ingressar nas áreas de exatas no ensino superior, assim como investimento na formação continuada de professores de Física da educação básica, os quais também são responsáveis por motivar o ingresso na área.

Como fatores que causam a evasão feminina do curso de Licenciatura em Física, identificaram-se a dupla ou tripla jornada de trabalho feminina, os métodos pedagógicos que perpetuam práticas sexistas nas instituições de ensino superior, a reprodução de estereótipos de gênero por alunos, professores e gestores e a ausência de estudo e divulgação de modelos femininos na área. Faz-se necessário destacar ainda as expectativas sociais voltadas às mulheres no que concerne à maternidade e realização de atividades domésticas.

Com relação às ações para permanência das mulheres na Licenciatura em Física, ressalta-se a necessidade de mais pesquisas voltadas para a questão de gênero nas ciências, particularmente na área em questão, visto que a realidade de cada localidade e instituição é diferente. Para tanto, recomenda-se que mais estudos sejam feitos, a fim de revelar as questões locais de gênero presentes em cada campo de estudo. Ademais, é preciso o fortalecimento de núcleos de gênero nas universidades.

Dentre outros fatores que contribuem para a permanência na Licenciatura em Física, podemos citar a ampliação e desenvolvimento de políticas públicas para que um maior número de mulheres opte pela carreira científica, a conscientização dos futuros professores sobre a importância da inclusão feminina nessa área, as atividades de pesquisa, extensão e iniciação à docência (sobretudo as remuneradas), assim como a possibilidade de bolsas de pesquisa para mulheres. Por fim, mas não menos importante, ambientes educacionais inclusivos e respeitosos, livres de estereótipos de gênero.

Esta pesquisa reconhece e reitera que são urgentes a ampliação e a criação de

políticas públicas voltadas para o acesso e permanência das mulheres em cursos nas áreas de exatas, especialmente no curso de Física. Dessa maneira se pode colaborar para a redução do fenômeno frequentemente chamado de *leaky pipeline* (vazamento na tubulação), contribuindo para a verticalização acadêmica e profissional de mulheres na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRELLO, D. A.; GARG, R. Mulheres na física: poder e preconceito nos países em desenvolvimento. **Revista brasileira de ensino de física**. São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1305.1-1305.6, 2009.

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. **Women in Physics and Astronomy** - 2005. AIP Report Number R-441, 2005.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ANTENEODO, C.; BRITO, C.; MENEZES, D. P. Eventos científicos de Física no Brasil: participação feminina. [arXiv:2209.05447v1 \[physics.soc-ph\]](https://arxiv.org/abs/2209.05447), 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2209.05447>. Acesso em: 6 jan. 2024.

BRASIL. MEC. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (Inep). **Censo da Educação Superior: Sinopse Estatística** – 2019. Disponível em: https://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/documentos/2020/Apresentacao_Censo_da_Educacao_Superior_2019.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

BUTLER, J. **Problemas de gênero**: feminismo e subversão da identidade. 16^a ed. Rio de Janeiro: Editora José Olympio, 2018.

CANDOTTI, E. **Cientistas do Brasil**: depoimentos. São Paulo: SPBC, 1998.

CARMO, C. L. **A presença da mulher na Licenciatura em Física**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Tianguá, 2023.

CARTAXO, S.; VELHO, L. As meninas que tiverem dúvidas, perguntuem aos meninos!. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL FAZENDO GÊNERO: corpo, violência e poder, 8., 2008, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: UFSC - CFH - REF, 2008. p. 1-7. Disponível em: <http://www.fazendogenero8.ufsc.br/>. Acesso em: 8 fev. 2025.

CARVALHO, S. M.; SILVA, C. A.; RODRIGUES, J. O. F. Análise da presença feminina no curso de licenciatura em Física da UFT. **Cadernos de Gênero e Tecnologia**. Curitiba. v. 13, n. 42, p. 126-135, 2020.

DINIS, N. F. Educação, relações de gênero e diversidade sexual. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 29, p. 477-492, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019

LONDERO, L., SORPRESO, T. P., SANTOS, D. M. Mulheres na licenciatura em física: uma permanência limitada. *In: Revista Tecné, Episteme y Didaxis*: TED. 2014. Disponível em: <https://revistas.upn.edu.co/>. Acesso em: 9 fev. 2024.

LOURO, G. L. **Gênero, sexualidade e educação**: uma perspectiva pós-estruturalista. 6^a ed. Petrópolis: Vozes, 2003.

MAGALHÃES, V. N.; RODRIGUES, A. S.; FERNANDES, J. V. S.; MARTINS, C. S. L. A presença feminina no curso de Licenciatura em Física: um estudo de caso. *In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 9., Universidade Federal do Pampa, Campus Santana do Livramento. **Anais do 9º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE**. Santana do Livramento 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**: projetos de pesquisa, pesquisa bibliográfica, teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

MENEZES, D. P.; BRITO, C.; ANTENEODO, C. Women in physics: Scissors effect from the Brazilian Olympiad of physics to professional life. *arXiv:1901.05536v1 [physics.ed-ph]*, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1901.05536v1>. Acesso em: 27 dez. 2024.

MINAYO, M. C. S. Ciência, Técnica e Arte: o desafio da pesquisa social. *In: MINAYO, M. C. S. (org.). Pesquisa Social: teoria, método e criatividade*. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

SAITOVITCH, E. M. B.; LIMA, B. S.; BARBOSA, M. C. Mulheres na Física: uma análise quantitativa. *In: SAITOVITCH, E. M. B. et al. Mulheres na Física*: casos históricos, panorama e perspectivas. 1^a ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015. p. 245-260.

SANTOS, B. S. **A globalização e as ciências sociais**. São Paulo: Cortez, 2002.

SANTOS, D. K. A. **Análise da Figura Feminina no Curso de Licenciatura em Física no CAA/UFPE**: a ciência também é das mulheres!. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020.

SANTOS, M. A.; COSTA, E. C. A. C. **Mulheres na Física**: a atuação desse gênero no curso de licenciatura em Física do IFPE - Campus Pesqueira. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Pernambuco, Pesqueira, 2021.

SILVA, Tomaz Tadeu da. **Documentos de identidade**: Uma introdução às teorias do currículo. 3^a ed. - Belo Horizonte: Autêntica, 2011.

SOUZA, A. K. R.; GRASSI, M. F. O. M. Análise da presença feminina nos cursos de licenciatura em física da UEMS: desafios e perspectivas. *In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO*

CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL, 12., 2014, Campo Grande. **Anais do ENIC**. Campo Grande: UEMS, 2014.

TEIXEIRA, R. R. P.; COSTA, P. Z. Impressões de estudantes universitários sobre a presença das mulheres na ciência. *In: Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. Belo Horizonte, v. 10, n. 2, p. 217-234, 2008.

UNESCO. **Decifrar o código**: educação de meninas e mulheres em ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). Brasília: UNESCO, 2018.

CAPÍTULO 3

IMPORTÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE FÍSICA

Maria de Fátima da Silva dos Santos
Egressa do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: mfatima.silva.0105@gmail.com

Josy Lúcia Gonçalves
Professora do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: josy.goncalves@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A Física é uma área da ciência que foi se desenvolvendo em variados contextos ao longo do tempo e que teve contribuições importantes de vários cientistas e físicos. No entanto, os conhecimentos referentes a ela apresentados nas escolas são, em sua maioria, desprovidos de historicidade, o que faz com que os alunos não compreendam muito bem como surgiram e qual a importância de determinados estudos.

Nesse contexto, a utilização da História da Ciência (HC) no ensino de Física tem sido apontada como um elemento de contextualização capaz de trazer diversos benefícios aos estudantes do ensino médio, fazendo com que tenham outra visão a respeito da Física e da ciência, bem como compreendam a importância dos conhecimentos científicos. Essa temática tem sido discutida por diversos autores que fazem contribuições importantes acerca do assunto. Nesta pesquisa, destaca-se o trabalho de Matthews (1995), que é um dos principais estudiosos da área de História da Ciência no ensino e que foi utilizado como principal base teórica para o desenvolvimento deste estudo.

Desse modo, com o intuito de compreender como a contextualização histórica dos conteúdos de Física pode contribuir para a formação dos alunos, este estudo busca responder à seguinte questão norteadora: qual o papel da História da Física no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes do ensino médio e quais os benefícios de sua utilização? Como objetivo geral destacamos o de analisar o papel da História da Física como elemento de contextualização no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes do ensino médio.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Física é uma área da ciência que investiga os fenômenos da natureza e as leis que os regem, assim, “[...] está permanentemente buscando melhores modelos e teorias para explicar o Universo, desde perspectivas subatômicas até macrocósmicas” (Moreira, 2018, p. 77). Por essa razão, os conhecimentos pertencentes a essa área são muito fascinantes, pois ajudam a entender como e por que determinados fenômenos acontecem no universo.

Apesar da indiscutível importância do componente, a forma como ainda é ensinado nas escolas concentra-se numa aprendizagem puramente mecânica, ou seja, “[...] puramente memorística, sem significado, sem compreensão, sem capacidade de explicar [...]” (Moreira, 2017, p. 4). Desse modo, o ensino da referida matéria é marcado por aulas com foco em memorização de fórmulas matemáticas e conceitos abstratos descontextualizados. À vista disso, nas últimas décadas, com o intuito de mudar essa realidade presente no contexto da educação, surgem novas estratégias, metodologias e recursos, que visam transformar o ensino de Física (EF) em algo mais atrativo e possibilitador de uma aprendizagem significativa¹ para os aprendizes.

Nesse cenário, a História da Ciência (HC), que no caso específico deste trabalho será tratada como História da Física (HF), é apontada por vários estudiosos da área como um recurso ou estratégia didática muito importante, que pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem de Física, de modo a mudar as perspectivas para o ensino do referido componente.

Posto isso, a abordagem contextualizada em sua história se faz muito necessária no ensino de Física, pois a maioria dos professores desse componente ensinam muitos conceitos e equações, não que isso seja menos importante, mas “[...] frequentemente os contextos históricos de construção dos conhecimentos científicos não se encontram devidamente explicitados nas fórmulas matemáticas que aparecem nas abordagens [...]” (Pereira; Araújo, 2019, p. 93).

Portanto, quando se defende a abordagem contextualizada no ensino de Física, espera-se que, ao fazer a explicação do conteúdo, além de conceitualização e cálculos relacionados, o professor possa discutir e refletir com estudantes sobre como e por quem foram desenvolvidas as teorias, qual a importância daquele conhecimento para a época e

1 Concordando com Ausubel, entendemos que “aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Isto é, nesse processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica [...] existente na estrutura cognitiva de quem aprende” (Moreira, 1999, p. 11).

quais os desdobramentos até o momento presente. Assim, a HF também pode tornar as aulas mais desafiadoras e reflexivas, desenvolvendo nos estudantes o pensamento crítico, além de proporcionar uma visão mais humanizada da ciência em relação à construção dos conhecimentos científicos (Matthews, 1995).

Diante disso, comprehende-se que contextualizar o ensino de Física não é apenas apresentar a biografia de cientistas e físicos tratando-os como gênios e focando em datas a que se atribuem descobertas ilustres, tampouco mostrar apenas os resultados científicos da área estudada, deixando lacunas na compreensão e aprendizagem dos estudantes.

Deste modo, utilizar a HC nas aulas de Física pode “[...] contribuir para a superação do ‘mar de falta de significação’ que se diz ter inundado as salas de aula de ciências” (Matthews, 1995, p. 165), favorecendo outras visões sobre a ciência e criando novas possibilidades de aprendizagem dos conhecimentos científicos. Além disso, Matthews (1995) afirma que a HC pode contribuir para melhorar a formação dos professores, pois permite que tenham uma maior compreensão da estrutura das ciências, bem como oportunizar uma epistemologia da ciência mais rica e autêntica.

Frente ao exposto, a abordagem histórica da Física é vista como uma possibilidade didática e pedagógica muito importante e capaz de despertar o interesse dos estudantes nesse componente, além de proporcionar uma aprendizagem significativa e construir uma visão mais realista sobre a ciência, buscando desconstruir a ideia de uma ciência linear.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, desenvolveu-se uma pesquisa qualitativa e descritiva (Prodanov; Freitas, 2013, p. 52), pois buscou-se descrever e registrar os fatos encontrados sem interferir neles, bem como estabelecer relações entre variáveis, sendo também classificada como pesquisa bibliográfica, pois “[...] utiliza-se de dados ou de categorias teóricas já trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrados” (Severino, 2014, p.131).

A construção e composição do *corpus* da pesquisa basearam-se no estado da arte. Segundo Silva, Sousa e Vasconcellos (2020, p. 2), esse procedimento objetiva um “olhar para trás”, rever caminhos percorridos, priorizando um determinado período e área de abrangência. Desse modo, para constatar o estado da arte nos artigos que abordam o tema História da Física no ensino médio, realizou-se uma busca na base de dados Google Acadêmico utilizando-se como descritores os termos: “História da Física no Ensino Médio”,

“A contextualização histórica no ensino de Física”, “Abordagem histórica no Ensino Médio” e “A História da Ciência no ensino de Física”.

Os trabalhos selecionados para compor o *corpus* da pesquisa foram aceitos de acordo com os seguintes critérios: a) estar escritos em idioma português; b) estar disponíveis online e ter acesso livre; c) ter sido publicados entre 2018 e 2023; d) abordar em alguma parte do texto a História da Física/Ciência como elemento analisado.

Os procedimentos para a coleta de dados foram, primeiramente, leitura exploratória dos resumos de cada trabalho, sendo possível identificar quais deles interessavam ao presente estudo, e, posteriormente, o destaque dos conceitos, informações pertinentes que atendessem às questões da pesquisa e autores principais relacionados à temática. Para a compilação e organização das informações coletadas, utilizou-se um formulário Google¹ com o seguinte detalhamento: título do trabalho, autores, ano de publicação, referência do trabalho, palavras-chave, tema, resumo/fichamento, como é abordada a História da Física no trabalho, público-alvo, conclusões do trabalho, observações sobre a análise do estudo.

Para a análise dos dados selecionados nos estudos, utilizou-se a análise de conteúdo de Bardin (2004, p. 41), que é definida como

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

Foram seguidas as etapas que estruturam a análise de conteúdo, a saber: I) pré-análise; II) exploração do material, categorização ou codificação; III) tratamento dos resultados, inferências e interpretação. Na organização dos resultados, optou-se pela análise categorial temática, que consiste em construir “[...] as categorias conforme os temas que emergem do texto. Para classificar os elementos em categorias, é preciso identificar o que eles têm em comum, permitindo seu agrupamento” (Bardin, 1977 *apud* Caregnato; Mutti, 2006, p. 683), buscando descrever e interpretar como os pesquisadores vêm tratando a História da Física e sua inserção no processo de ensino-aprendizagem nos últimos anos.

¹ O Google Forms é uma ferramenta gratuita utilizada para criar formulários online e possui várias funcionalidades, como, por exemplo, criar pesquisas, enquetes, cadastros e avaliações. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/google-forms/>. Acesso em: 1 set. 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi feita utilizando-se o método de análise de conteúdo, isto é, por meio da categorização temática do material explorado, ou seja, “[...] uma série de significações que o codificador detecta por meio de indicadores que lhe estão ligados; [...] codificar ou caracterizar um segmento é colocá-lo em uma das classes de equivalências definidas, a partir das significações [...]” (Pêcheux, 1993 *apud* Caregnato; Mutti, 2006, p. 683).

As categorias foram identificadas de acordo com as concepções de Matthews (1995), que é um dos principais estudiosos do tema “História da Ciência no ensino de ciências”. Segundo o autor, diante da crise do ensino contemporâneo de ciências, a HC pode trazer algumas contribuições significativas para essa área:

[...] podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tomar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (Matthews, 1995, p. 165).

Com base nessas premissas, foi possível organizar cinco categorias de análise temática: C1 - Humanizar a ciência; C2 - Promover uma melhor compreensão dos conceitos científicos; C3 - Aprimorar a formação dos professores; C4 - Propiciar aprendizagem significativa; C5 - Tornar as aulas mais desafiadoras e reflexivas.

A partir disso, buscou-se verificar a presença desses aspectos nos trabalhos que compõem o *corpus* desta pesquisa. No Quadro 1, encontram-se os trabalhos selecionados e as categorias que estão presentes em cada um deles.

Quadro 1 – Categorias abordadas em cada trabalho

Trabalho (autor, ano)	Categorias				
	C1	C2	C3	C4	C5
Um ensaio para o estado da arte: História da Ciência no processo de ensino aprendizagem da Física (Souza <i>et al.</i> , 2019)					
Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas (Silva; Teixeira; Penido, 2018)					
A relevância da abordagem histórico-experimental no ensino de física: a construção do eletromagnetismo (Lucatelli; Marques, 2021)					
Uma proposta de ensino a partir da História da Física (Pereira; Araújo, 2019)					
Episódio Histórico de Louis Pasteur: Uma proposta interdisciplinar para o ensino de Química, Física e Biologia (Luca <i>et al.</i> , 2018)					
Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz (Ortega; Moura, 2019)					
Os sentidos que os estudantes atribuem ao ensino de Física e à sua abordagem histórica (Vital; Guerra, 2018)					
Promovendo a análise das contribuições de grandes cientistas da Física Moderna utilizando metodologias ativas e recursos tecnológicos (Almenara <i>et al.</i> , 2019)					
História da ciência e ensino de física através de uma oficina de história em quadrinhos (Corrêa; Malaquias, 2022)					
Mapas Conceituais e a Elaboração de Conhecimento Científico na História da Ciência: algumas aproximações teóricas (Maximo-Pereira; Sousa; Lourenço, 2021)					

Fonte: elaborado pelas autoras, 2023.

De acordo com o quadro, observa-se que cada artigo contém, no mínimo, três categorias contempladas. Verifica-se que 90% dos artigos atendem à C1, 90% atendem à C2, 40% à C3, 70% à C4 e 80% à C5, confirmando que a abordagem da HC traz elementos significativos para o campo da Física. A seguir, apresenta-se a análise pormenorizada de cada categoria.

Humanizar a ciência (C1)

Quando se fala sobre as disciplinas de ciências e especificamente da Física, é comum que os estudantes considerem os conhecimentos científicos como verdades absolutas e associem os cientistas a seres superdotados que têm talentos inatingíveis, ou até mesmo que fizeram algumas descobertas importantes como num passe de mágica. Assim, a ciência é vista como algo perfeito e inalcançável. Deste modo, Matthews (1995, p. 184) afirma que utilizar a HC no ensino de ciências pode “[...] dar às idealizações em ciência uma dimensão mais humana e compreensível e podem explicá-las como artefatos dignos de serem apreciados por si mesmos”.

Em conformidade com o que o referido autor afirma, verifica-se que 90% dos artigos analisados fazem alguma referência a esse aspecto ao dizer que a História da Física proporciona uma visão de que os conhecimentos científicos são uma construção humana e que é importante considerar isso no ensino de Ciências/Física.

No trabalho de Lucatelli e Marques (2021), por exemplo, cujo título é *A relevância da abordagem histórico-experimental no ensino de Física*, após aplicarem uma proposta didática em que se contextualizam historicamente os experimentos de eletromagnetismo realizados nas aulas de Física, concluem que a HF busca “[...] romper com a distorção e simplificação dos fatos, com a ideia de evolução linear e crescente da Ciência, e com a mitificação dos cientistas e do trabalho científico” (Lucatelli; Marques, 2021, p. 218).

De acordo com os autores, apresentar experimentos sem contextualização permite a disseminação de concepções distorcidas e simplificadas sobre a ciência. Em concordância com isso, Silva, Teixeira e Penido (2018) afirmam que difundir tais perspectivas é negligenciar os momentos de crise e retrocessos da ciência que foram relevantes para desenvolvê-la.

Nesse sentido, alguns autores (Maximo-Pereira; Sousa; Lourenço, 2021; Ortega; Moura, 2019; Almenara *et al.*, 2019; Luca *et al.*, 2018) compreendem a visão de uma ciência linear como algo prejudicial para a educação científica, pois cria-se a ideia de que os conhecimentos científicos foram construídos linearmente, sem erros. No entanto, a ciência é desenvolvida por seres humanos, logo, é passível de equívocos e falhas.

Segundo Maximo-Pereira, Sousa e Lourenço (2021, p. 4), “a produção de conhecimento em qualquer ciência da natureza, como construção humana e social, é inherentemente não trivial”, pois ela envolve, entre outros aspectos, o trabalho coletivo de

diferentes pesquisadores e cientistas ao longo do tempo e em diferentes locais (Maximo-Pereira; Sousa; Lourenço, 2021).

Sob essa perspectiva, ressalta-se a importância de apresentar os cientistas não como gênios, mas como seres humanos que também passaram por dificuldades para desenvolver seus estudos e ser aceitos, e, principalmente, destacar que, por trás dos grandes nomes de cientistas famosos, existiram muitos pesquisadores que, mesmo nos bastidores, contribuíram para o desenvolvimento e sucesso de determinados conceitos e teorias.

Almenara *et al.* (2019) verificam essa questão no trabalho intitulado *Promovendo a análise das contribuições de grandes cientistas da Física Moderna utilizando metodologias ativas e recursos tecnológicos*, em que se realizou uma atividade em grupo na qual os alunos pesquisaram sobre alguns cientistas e seus legados científicos para a Física Moderna, e relatam que “[...] isso mostrou a todos a diversidade de personalidades, desmistificou a figura do cientista inalcançável e aproximou os estudantes da disciplina de física” (Almenara *et al.*, 2019, p.3).

Dessa forma, percebe-se que os alunos tiveram a oportunidade de aproximação com a disciplina e puderam ter uma visão diferente a respeito dos cientistas. Portanto, são inegáveis a importância e o impacto causado nos estudantes quando têm contato e acesso à HC, possibilitando uma maior familiarização entre eles e o campo científico.

Outra ideia pertinente que se debate nos artigos é a importância de apresentar aos estudantes a contribuição humana para o desenvolvimento da Física, para que compreendam o papel e a importância das ciências para a humanidade e, com isso, possam também valorizar o ser humano enquanto ser capaz de contribuir para transformar o mundo em que vive através dos conhecimentos científicos (Pereira; Araújo, 2019; Souza *et al.*, 2019; Maximo-Pereira; Sousa; Lourenço, 2021).

Alguns autores (Souza *et al.*, 2019; Maximo-Pereira; Sousa; Lourenço, 2021; Corrêa; Malaquias, 2022) criticam a apresentação da ciência como algo pronto, acabado e neutro, no sentido de que muitos professores priorizam em suas aulas apenas os resultados de saberes que, na verdade, foram construídos em contextos diversos, sendo influenciados e influenciando o meio em que foram desenvolvidos, e, principalmente, que passaram por longo processo de construção. Essa visão simplista de ciência repassada para os estudantes distancia-os na medida em que eles não se veem fazendo ou se aproximando dessa ciência que já está pronta e acabada.

Nesse cenário, é de suma importância que o ensino de Física, bem como de ciências, seja contextualizado em sua história, permitindo aos estudantes uma aproximação com a

educação científica e construindo uma nova visão sobre a construção dos conhecimentos ao longo do tempo. Assim, pode-se dizer que

Equilibrar o ensino de História da Física e o ensino de conteúdos da Física constitui uma tentativa promissora para tornar essa disciplina mais humanizada e sua aprendizagem mais agradável, criando condições favoráveis para que o aluno se interesse em entender os conteúdos da Física e seu processo de construção e desenvolvimento, superando algumas limitações dos processos de ensino e de aprendizagem tradicionais e contribuindo, deste modo, para ampliar as relações sociais dentro do ambiente escolar (Pereira; Araújo, 2019, p. 112).

Com base no exposto, acredita-se que é de fundamental relevância utilizar a HC no ensino de Física para torná-la mais humanizada, de modo que permita maior envolvimento dos estudantes com os conteúdos da Física e, principalmente, rompimento com o distanciamento entre eles e a ciência.

Promover uma melhor compreensão dos conceitos científicos (C2)

Ao discutir sobre as contribuições que a HC pode trazer ao ensino de ciências, Matthews (1995, p. 172) afirma que ela “promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento”. Entende-se, portanto, que, ao se utilizar uma abordagem contextualizada no ensino de Física, os alunos podem compreender melhor os conceitos, pois saber a ocasião em que foram desenvolvidos permite melhor assimilação do conteúdo.

Ao analisar a presença desse aspecto nos artigos, verifica-se que 90% dos trabalhos mencionam direta ou indiretamente que a História da Física/Ciência, de fato, possibilita melhor compreensão dos conceitos científicos.

Nesse sentido, Ortega e Moura (2019) afirmam que a HC pode ser utilizada como um recurso pedagógico no ensino de ciências, pois “[...] ela permite que o aluno compreenda melhor o significado dos conceitos trabalhados em sala de aula” (Ortega; Moura, 2019, p. 5). Com o intuito de verificar essa questão, destaca-se o trabalho de alguns autores que em suas pesquisas puderam aplicar propostas e sequências didáticas envolvendo a HC no ensino de determinados conteúdos da Física e obtiveram resultados interessantes.

O estudo desenvolvido por Luca *et al.* (2018) trata de uma proposta interdisciplinar para o ensino de Química, Física e Biologia utilizando um episódio histórico de Louis Pasteur (LP). A pesquisa consiste na aplicação de uma sequência didática (SD) que utiliza a HC para ensinar conhecimentos envolvendo o estudo da isomeria óptica, da fermentação e dos

micro-organismos. Assim, acreditando no potencial da HC para a apropriação dos conceitos científicos, os pesquisadores fazem a aplicação da SD no ensino médio e declaram que 92% dos participantes de uma das oficinas que tratava sobre a vida de LP afirmaram que o vídeo foi significativo e ajudou na compreensão dos conceitos de isomeria óptica, indicando que isso se deve à possibilidade de terem conhecido o contexto social no qual ela foi compreendida.

Diante do relato, constata-se que contextualizar a vida e as contribuições de Louis Pasteur contribuiu significativamente para o entendimento do assunto estudado. Tal conclusão sobre aprendizagem conceitual através da HC é reafirmada na pesquisa de Corrêa e Malaquias (2022), na qual é realizada uma intervenção com alunos do ensino fundamental e médio com o intuito de divulgar a história do fotofone. Na ação, os estudantes puderam conhecer o contexto, desenvolvimento e funcionamento do equipamento e, após isso, produziram histórias em quadrinhos como forma de demonstração do que tinham aprendido. Desse modo, na avaliação, os autores chegaram aos seguintes resultados:

[...] pode-se observar que 90% dos alunos compreenderam o conceito de funcionamento e/ou a descrição dos fatos históricos relativos ao fotofone, em sintonia com a leitura do artigo “The Photophone” e da palestra de divulgação sobre o mesmo; [...].

Através da linguagem gráfica observou-se que 90% dos alunos compreenderam os conceitos relacionados com o funcionamento do fotofone [...] (Corrêa; Malaquias, 2022, p. 6).

A pesquisa de Pereira e Araújo (2019) também traz contribuições importantes sobre o referido assunto. Nesse estudo, que foi aplicado no ensino médio, um dos objetivos pretendidos foi “proporcionar aos estudantes uma aprendizagem significativa dos conceitos de Eletrostática, a partir da História da Física” (Pereira; Araújo, 2019, p. 111). Após a aplicação da proposta didática, os autores pontuaram que foi possível observar a evolução conceitual dos estudantes em relação aos conhecimentos de eletrostática apresentados através da HF. Eles puderam ter essa percepção através do *feedback* dos alunos, por meio de respostas orais e escritas que enfatizam a importância de investigar o passado, como chegaram aos conceitos que são estudados, entre outros.

Portanto, com base nos resultados encontrados na presente análise, pode-se concordar com Maximo-Pereira, Sousa e Lourenço (2021, p. 5) quando afirmam que, “reconhecido o papel da HC no estudo e na compreensão dos próprios conhecimentos científicos, é interessante que se pense em utilizá-la para fins didáticos, em especial, para ensinar Ciências nos mais variados níveis e modalidades de ensino”.

Aprimorar a formação dos professores (C3)

Outra vantagem da utilização da HC que Matthews (1995) aponta refere-se à formação dos professores. Segundo ele, a História da Ciência proporciona aos licenciandos uma epistemologia da ciência mais legítima, ajudando-os a ter uma maior compreensão sobre a estrutura das ciências e sua importância no sistema intelectual das coisas.

Ao analisar os artigos, verificou-se que apenas 40% dos trabalhos fazem alguma declaração a respeito dessa questão. Diante dos resultados encontrados nessa categoria, percebe-se que os autores não fazem reflexões aprofundadas a respeito do assunto, mas reconhecem em suas pesquisas a importância da HC na formação de professores de ciências.

Desse modo, apesar de haver muitas pesquisas sobre a HC no ensino de Física, percebe-se que a inserção desse elemento no contexto educacional ainda é um desafio, pois, embora alguns professores façam abordagens históricas em suas aulas, muitos deles sentem-se despreparados para desenvolver aulas contextualizadas historicamente. Nessa perspectiva, Luca *et al.* (2018, p. 83) ressaltam:

A importância da inserção da História da Ciência nos Cursos de Licenciatura consiste em apresentar e discutir os conceitos científicos, instigando os acadêmicos a perceberem os entraves e os debates que proporcionaram a construção do conhecimento científico, tendo em vista que estes atuarão na Escola de Educação Básica.

É possível inferir que os autores consideram importante formar professores capazes de compreender como ocorre a construção dos conhecimentos científicos para que possam realizar abordagens contextualizadas na educação básica de forma mais fiel aos acontecimentos e características da ciência. Em relação a isso, Silva, Teixeira e Penido (2018, p. 787) argumentam que “incluir de maneira efetiva a abordagem histórica nos cursos de formação inicial e continuada de professores de física é uma estratégia capaz de contribuir com a utilização eficaz da HC no EF”, uma vez que isso “pode influenciar uma mudança de postura dos futuros docentes frente a estratégias de ensino inovadoras”.

Portanto, acredita-se que utilizar a HC na formação dos professores pode contribuir para possíveis novas formas de abordagem metodológica contextualizadas no ensino de Física. Em concordância com isso, Maximo-Pereira, Sousa e Lourenço (2021, p. 2) fazem uma colocação muito relevante quando afirmam:

[...] é importante considerar que a forma como a HC é trabalhada nas licenciaturas, em termos de metodologias, ferramentas educacionais e estratégias didáticas utilizadas pelos professores formadores, deve também ser pensada e problematizada, pois é igualmente fundamental para que os futuros docentes percebam a importância da HC em sua formação e para o seu trabalho junto aos alunos da Educação Básica.

A partir disso, ressalta-se que, ao trabalharem a HC no ensino superior, é necessário que os docentes desenvolvam estratégias que propiciem aos discentes a reflexão sobre a importância de contextualizar os conhecimentos científicos, bem como sobre o impacto da HC na formação deles. Assim, refletir sobre tais questões pode inspirar os futuros professores a utilizar a contextualização histórica dos conteúdos no momento em que estiverem atuando na educação básica.

Propiciar aprendizagem significativa (C4)

Matthews (1995) também apresenta a significação dos conhecimentos científicos como uma contribuição da HC para o ensino de ciências, pois muitos professores ensinam fórmulas e equações sem sequer apresentar o que significam ou de onde vieram. Nesse contexto, com a utilização da HC no ensino das matérias científicas, os estudantes podem conhecer a construção e desenvolvimento de determinados conceitos, teorias e equações, assim, aquilo passa a fazer sentido e, embora alguns desses conteúdos não tenham aplicação direta na vida dos educandos, eles começam a reconhecer sua relevância para a humanidade.

Desse modo, na presente análise, identificou-se que 70% dos trabalhos apoiam a mesma ideia de Matthews (1995) em relação ao aspecto supracitado e destacam a importância da HC para possibilitar aprendizagens que façam sentido aos estudantes. Nessa perspectiva, Luca *et al.* (2018, p. 83) argumentam que “a História da Ciência na interface com o ensino contribui para que a aprendizagem dos conceitos, leis e princípios de que tratam as ciências aconteça de forma mais significativa e contextualizada”.

Sob esse olhar, Vital e Guerra (2018) desenvolvem um trabalho relevante que valida tal perspectiva, no qual investigam os sentidos que estudantes de ensino médio atribuem ao ensino de Física e à sua abordagem histórica. No estudo foi feita uma entrevista com um professor que possui muitas experiências com a HC e com três alunos da turma em que o docente atuava na época.

Nessa investigação uma das entrevistadas “[...] indica que o emprego da HC dá sentido aos conteúdos da disciplina e faz com que eles não sejam esquecidos” (Vital; Guerra, 2018, p. 148). Com isso, percebe-se que o uso da HC no ensino permite a superação de abordagens que consideram apenas os resultados científicos, ou seja, os conceitos e equações são lançados nas aulas de Física/ciências como se tivessem surgido repentinamente, fazendo com que os estudantes não consigam ver sentido em determinados conteúdos.

A respeito disso, Pereira e Araújo (2019, p. 97), ao elaborarem uma proposta de ensino de Física a partir da HC, concluem que ela “[...] é de extrema importância para os processos de ensino e aprendizagem, pois pode promover uma significação conceitual e da estrutura de desenvolvimento do conhecimento científico”. Assim, conclui-se que “uma aprendizagem significativa para os conteúdos de Física para o ensino médio pode ser concretizada com o uso de sua História como estratégia de ensino” (Pereira; Araújo, 2019, p. 112).

Tornar as aulas desafiadoras e reflexivas (C5)

Diante dos benefícios que a HC pode proporcionar ao ensino de ciências, Matthews (1995) aponta que um deles é tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas e, portanto, desenvolver um ensino capaz de suscitar nos estudantes o pensamento crítico, que é uma das aspirações da educação científica.

Com isso em mente, foi possível verificar que 80% das pesquisas analisadas fazem referência a essa utilidade da HC no ensino de Física/ciências. Desse modo, percebeu-se que a maioria dos artigos envolvidos nesta categoria mencionam a discussão de textos ou de conteúdos abordados em aula como estratégia didática para inserção da HC nas aulas.

Nesse sentido, entende-se que, para realizar qualquer “discussão”, é necessário refletir sobre o que será debatido, e, com base nessa premissa, comprehende-se que, ao discutir sobre a HC nas aulas, os estudantes tornam-se seres mais críticos e reflexivos, assim como propõe Matthews (1995).

Sob essa perspectiva, foi possível identificar que, dos trabalhos analisados, aqueles que puderam fazer aplicação de proposta didática relatam que, com a contextualização dos conteúdos, sempre surgem discussões acerca da construção dos conhecimentos científicos. Essa afirmação pode ser evidenciada no trabalho de Luca *et al.* (2018), que, após exposição de vídeo sobre o episódio histórico de Louis Pasteur, destacam que a ação viabilizou “[...]

discussões sobre a vida particular e o percurso da construção do conhecimento científico, mostrando os entraves das pesquisas, continuidades e descontinuidades de vários conceitos científicos estudados por LP [...]” (Luca *et al.*, 2018, p. 96).

No estudo desenvolvido por Vital e Guerra (2018), também se pode perceber o quanto a HC proporciona a realização de discussões nas aulas de Física. A seguir, apresenta-se um trecho do relato do docente entrevistado, descrevendo como introduz a HC em suas aulas:

“[...] Eu começo Termodinâmica sempre agora por máquinas térmicas. Porque elas vão trazer a complexidade que você tem para estudar a contribuição da discussão histórica, da contribuição da tecnologia antecedendo a ciência. De alguma forma, eu trazia aquelas discussões, mas normalmente com uma crítica, que eu acho assim, ainda era um pacote, pelo menos introdutório. Em vez de começar já com uma equação, você começava com uma discussão [...]”. (Vital; Guerra, 2018, p. 144).

Na fala do professor, identifica-se que a contextualização dos conteúdos era feita trazendo-se as discussões presentes na História da Ciência. Assim, a forma como o docente fala que “[...] ensinou termodinâmica dialogava com diversas vozes defensoras da ideia de que os elementos da HC podem proporcionar uma visão crítica sobre o processo de construção do conhecimento científico” (Vital; Guerra, 2018, p. 144).

Destaca-se ainda, nesta categoria, o trabalho desenvolvido por Almenara *et al.* (2019), no qual foi aplicada uma sequência didática a estudantes de ensino médio, em que foram divididos em grupos e deveriam pesquisar e apresentar determinados cientistas e suas contribuições para o desenvolvimento da ciência. A respeito das apresentações em sala de aula, os autores observaram que “[...] esse momento gerou um debate entre os estudantes, adentrando sobre diversos assuntos da física” (Almenara *et al.*, 2019, p. 3).

Nota-se que, ao estudarem a parte histórica relacionada às contribuições dos cientistas, os estudantes puderam refletir e, posteriormente, debater sobre os assuntos da Física. Isso confirma o desenvolvimento do pensamento crítico ao longo das discussões e reflexões feitas durante a realização das atividades, pois os alunos perceberam as relações existentes entre os tópicos. Nesse contexto, Pereira e Araújo (2019, p. 92) argumentam que “a História da Física é um recurso capaz de contribuir para tornar o ensino de Física mais crítico, revelando uma preocupação em favorecer um melhor entendimento da realidade”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou o papel da História da Física como elemento de contextualização no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes do ensino médio. Ao fazer a análise das categorias nos estudos, com base nas premissas de Matthews (1995), os resultados encontrados mostram que a HF proporciona muitos benefícios ao processo de ensino-aprendizagem e que é capaz de favorecer uma educação científica exitosa, tendo em vista que ela foi apontada por diversos trabalhos como principal fator capaz de proporcionar aos estudantes: uma aprendizagem com mais sentido, compreensão mais fácil de conceitos físicos, construção de uma visão mais humanizada da ciência e mais critismo e reflexividade. Para além disso, observou-se que a HF pode contribuir positivamente na formação de professores, favorecendo o enriquecimento epistemológico dos docentes.

Dentre os resultados encontrados, mais detidamente a respeito da C3 (aprimorar a formação de professores), evidencia-se que, apesar dos diversos benefícios de utilizar a HF no ensino de Física, um dos principais desafios para os professores que buscam trabalhar com essa abordagem é a falta de formação adequada para conduzir o processo de ensino trazendo o contexto dos assuntos ensinados. Nesse sentido, é de fundamental importância que se aborde a HF nas licenciaturas, criando-se um espaço mais amplo de discussão de seu papel no cenário educativo, pois só será possível incluir efetivamente a HC nas aulas de Física da educação básica quando os docentes entenderem a importância de um ensino contextualizado e se sentirem preparados para desenvolver a contextualização dos conteúdos.

Frente ao exposto, constatou-se que trazer a contextualização histórica através da HF para as aulas de Física é uma forma de tornar o processo de ensino-aprendizagem atrativo e interessante, fazendo com que os estudantes aprendam, além dos conceitos e equações, o como, o porquê, o desenvolvimento e a importância dos conteúdos que estejam sendo ensinados, além de contribuir no desempenho dos estudantes no componente, bem como melhorar a relação existente entre os alunos e a própria disciplina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMENARA, D. F. et al. Promovendo a análise das contribuições de grandes cientistas da Física Moderna utilizando metodologias ativas e recursos tecnológicos. **Revista Amazônica de Ensino de Física**, v. 1, n. 1, p. 5-5, 2019. Disponível em: <http://www.semanadafisica.unir.br/images/trabalhos/daniela2.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 3. ed. Lisboa: Edições 70, 2004.

CAREGNATO, R. C. A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto & Contexto-Enfermagem**, Florianópolis, v. 15, n. 4, p. 679-684, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tce/a/9VBbHT3qxByvFCtbZDZHgNP/?lang=pt>. Acesso em: 23 ago. 2023.

CORRÊA, S. F.; MALAQUIAS, I. História da ciência e ensino de física através de uma oficina de história em quadrinhos. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 13, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35230>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LUCA, A. G. *et al.* Episódio Histórico de Louis Pasteur: uma proposta interdisciplinar para o ensino de Química, Física e Biologia. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, São Paulo, v. 17, p. 81-98, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2018v17p81-98>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LUCATELLI, A. L. P.; MARQUES, F. F. C. A relevância da abordagem histórico-experimental no ensino de física: a construção do eletromagnetismo The relevance of the historical-experimental approach in the teaching of physics: the construction of electromagnetism. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 12, p. 119210-119220, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/41716/pdf/104428>. Acesso em: 24 ago. 2023.

MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>. Acesso em: 28 ago. 2023.

MAXIMO-PEREIRA, M.; SOUZA, P. V. S.; LOURENÇO, A. B. Mapas Conceituais e a Elaboração de Conhecimento Científico na História da Ciência: algumas aproximações teóricas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 27, n. 3, p. e21017, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1516-731320210017>. Acesso em: 2 set. 2023.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do professor de física**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26512/rpf.v1i1.7074>. Acesso em: 25 ago. 2023.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLwqQNsWPqr6hjzyLQzs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 4 set. 2023.

ORTEGA, D.; MOURA, B. A. Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. e20190114, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0114>. Acesso em: 10 set. 2023.

PEREIRA, N. V.; ARAÚJO, M. S. T. Uma Proposta de ensino a partir da história da Física. **e-Mosaicos**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 18, p. 92-114, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/e-mosaicos.2019.42890>. Acesso em: 14 set. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013. Disponível em: <https://tinyurl.com/2s3rxkks>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2014.

SILVA, A. P. P. N.; SOUZA, R. T.; VASCONCELLOS, V. M. R. O Estado da Arte ou o Estado do Conhecimento. **Educação**, Porto Alegre, v. 43, n. 3, p. e37452, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1981-2582.2020.3.37452>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SILVA, E. S.; TEIXEIRA, E. S.; PENIDO, M. C. M. Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 35, n. 3, p. 766-804, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p766>. Acesso em: 28 ago. 2023.

SOUZA, J. T. *et al.* Um ensaio para o estado da arte: História da Ciência no processo de ensino aprendizagem da Física. **REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, Cuiabá, v. 7, n. 1, p. 171-195, 2019. Disponível em: <http://periodicos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/8039>. Acesso em: 17 out. 2023.

VITAL, A.; GUERRA, A. Os sentidos que os estudantes atribuem ao ensino de Física e à sua abordagem histórica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 130-155, 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/89149638/pdf.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

CAPÍTULO 4

CAMPOS MAGNÉTICOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES VIRTUAIS: UMA FERRAMENTA PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO

Felipe Ravi Santos Gonçalves
Mestrando em Física na UFC
E-mail: feliperavi@fisica.ufc.br

Hamilton Victor da Silva Junior
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: hamilton.victor@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

Muito se discute sobre a necessidade de reformular o ensino de Física, principalmente em relação a conteúdos mais complexos em termos de abstração, como o eletromagnetismo. Observa-se uma grande contradição entre a realidade das escolas brasileiras e as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que propõe que os estudantes interpretem fenômenos naturais, apropriem-se dos conceitos e, a partir disso, realizem novas leituras de mundo com base em modelos abstratos (Brasil, 2018).

Segundo Santos, Santos e Fraga (2002), a maioria dos alunos têm dificuldades para visualizar e encontrar aplicações práticas para os conceitos de campos elétricos e, consequentemente, de campos magnéticos. Esse problema pode ser atribuído a diversos fatores, dos quais se pode destacar a escassez de instrumentos laboratoriais relacionados ao tema e o fato desses conteúdos serem apresentados, na abordagem tradicional, apenas através de fórmulas e desenhos simples.

Nesse contexto, a Universidade do Colorado desenvolveu o PhET, um pacote de simulações interativas que reproduzem fenômenos das ciências naturais. Devido à facilidade e praticidade, esse *software* tem sido amplamente utilizado por professores de Física, ajudando a reverter a dificuldade histórica do ensino de vários temas, inclusive do eletromagnetismo.

Além disso, a necessidade de soluções educativas como o PhET aumentou drasticamente durante a pandemia de Covid-19, quando, segundo Moreira, Henriques e Barros (2020), os professores foram forçados a adotar, de maneira abrupta, práticas de

ensino à distância. Nesse contexto, simulações virtuais tornam-se indispensáveis para manter a qualidade de ensino em um nível satisfatório.

Contudo, o PhET foi desenvolvido em uma linguagem para navegadores web, o que, embora torne os aplicativos bem leves, limita a qualidade gráfica das simulações, que são restritas ao ambiente 2D, e, por conseguinte, o potencial de visualização dos experimentos, principalmente quando se trata de instrumentos bastante recorrentes no eletromagnetismo, como espiras e solenoides.

Portanto, apesar dos avanços proporcionados pelo PhET no ensino de Física, fazem-se necessárias a criação e testagem de novas ferramentas que ampliem as possibilidades de visualização de experimentos partindo da hipótese de que o desenvolvimento de *softwares* mais avançados possa contribuir significativamente para a compreensão dos conceitos de eletromagnetismo.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo geral a criação do Wavepack, um *software* para computador que simula campos magnéticos em um ambiente tridimensional. Diferenciando-se do PhET pela abordagem 3D, o Wavepack foi concebido com os seguintes objetivos específicos: ser intuitivo e de fácil utilização, ser compatível com várias plataformas e facilitar o ensino da regra da mão direita.

Este capítulo está estruturado em cinco seções. Após esta introdução, a segunda seção apresenta a fundamentação teórica usada para a criação do WavePack e a concepção do protótipo. Na terceira, descreve-se a metodologia de teste. Na quarta, a apresentação e análise dos resultados. Por último, a quinta seção traz as considerações finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

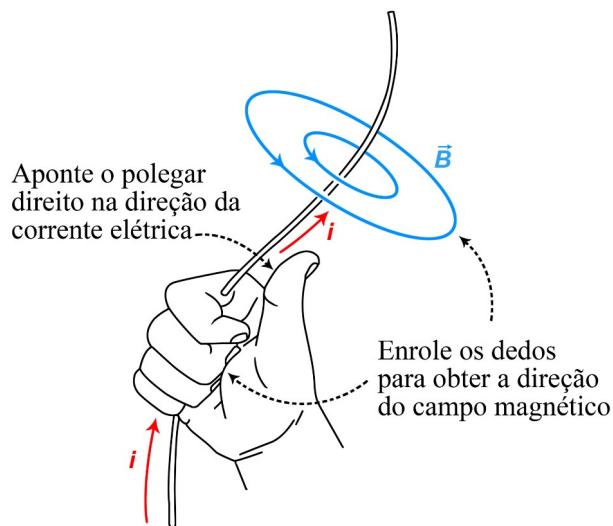
A regra da mão direita

A regra de Fleming, popularmente conhecida como regra da mão direita, é um método mnemônico¹ utilizado para determinar a direção do campo magnético gerado por uma corrente elétrica. Ao posicionar os dedos de forma específica, é possível representar as direções vetoriais. Esta técnica permite que estudantes compreendam e apliquem conceitos

¹ Técnica ou método que auxilia na memorização e retenção de informações. Esses métodos geralmente envolvem padrões, associações, acrônimos, frases ou imagens que facilitam a lembrança de conceitos complexos.

do eletromagnetismo sem a necessidade de um conhecimento avançado em cálculo vetorial, o que facilita a introdução de equações fundamentais, descrevendo o vetor campo magnético nas proximidades de um fio percorrido por uma corrente elétrica, como ilustrado na Figura 1:

Figura 1 – Esquema da regra da mão direita



Fonte: elaborada pelos autores, 2022.

O uso de simulações no ensino de Física

Segundo Freitas Filho (2008), uma simulação pode ser definida como o emprego de técnicas computacionais com o propósito de reproduzir um processo ou uma operação do mundo real. No contexto educacional, as simulações tornam mais acessível a compreensão de fenômenos físicos cuja reprodução em laboratório seria inviável, seja por limitações econômicas ou pela complexidade dos experimentos reais.

Além disso, as simulações não necessitam ser completamente fiéis à realidade, uma vez que podem adaptar um aspecto da natureza de acordo com os objetivos didáticos, seguindo o conceito de transposição didática, descrito por Chevallard (2013). Um tópico científico que tenha sido designado como conteúdo escolar sofre um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino.

Vale ressaltar que as simulações não devem ter valor científico epistemológico, pois servem apenas como uma ferramenta didática de aproximação com a realidade, conforme descrito por Medeiros e Medeiros (2002, p. 80):

As modernas técnicas computacionais têm tornado as representações visuais e simulações computacionais fáceis e verdadeiramente espetaculares. Ao mesmo tempo, contudo, elas têm criado uma tendência perigosa de um uso exagerado de animações e simulações considerando-as como alternativas aos experimentos reais, como se tivessem o mesmo status epistemológico e educacional.

Um exemplo de simulação que se encaixa no contexto acima é o *software* Modellus, que permite modelar sistemas físicos a partir de funções matemáticas. Ele oferece recursos para gerar gráficos precisos, porém não consegue reproduzir com exatidão todas as variáveis de um experimento real.

Portanto, para evitar a assimilação de concepções erradas, faz-se necessária a intervenção do professor, o que não impede, utilizando-se o bom senso, criar ferramentas fantásticas de auxílio no processo de ensino-aprendizagem, no caso deste trabalho, um visualizador de campos magnéticos chamado WavePack.

Essa aplicação busca uma maneira de facilitar a assimilação do conceito de campo magnético e a relação com a regra da mão direita, mas não visa à representação de um modelo preciso, o que faz com que seja recomendado especificamente para cursos introdutórios.

O **software** WavePack

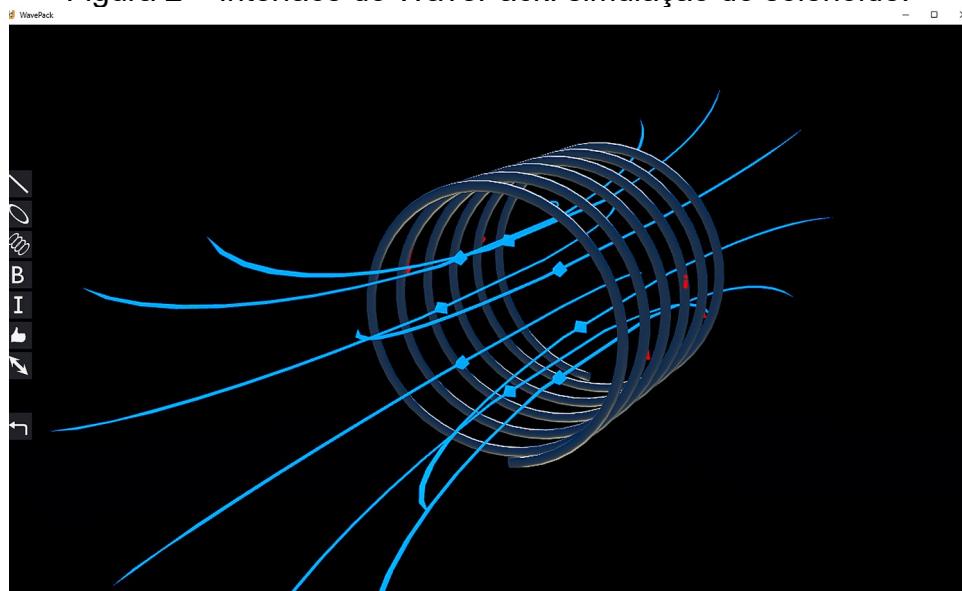
Segundo Rocha (1993), um *software* de qualidade deve possuir um conjunto de propriedades a serem satisfeitas em determinado grau, de modo que o aplicativo satisfaça as necessidades de seus usuários. No caso deste trabalho, o programa é destinado a professores e alunos em cursos de eletromagnetismo que necessitam de uma abordagem mais visual de fenômenos físicos que, por serem invisíveis a olho nu, são de difícil assimilação.

O *software* WavePack foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação Python e o motor gráfico do Blender, com objetivo de auxiliar na visualização de campos magnéticos em três configurações distintas: ao redor de um fio, de uma espira e de um solenoide. Além de simular as linhas de campo, o programa conta com um conjunto de ferramentas que permitem determinar o sentido da corrente elétrica e a regra da mão direita associada ao sistema.

Como pode ser visto na Figura 2, a interface do WavePack foi planejada de modo a ser intuitiva e visualmente atraente, utilizando-se cores vibrantes em contraste com o fundo escuro para destacar os elementos do campo eletromagnético. Os botões seguem uma

simbologia minimalista e com rápida execução, de modo a evitar complexidade na utilização do aplicativo, permitindo que o foco permaneça no conteúdo abordado, tornando a experiência mais fluida.

Figura 2 – Interface do WavePack: simulação do solenoide.



Fonte: elaborada pelos autores, 2022.

Uma das principais vantagens desse *software* em relação ao PhET é o seu modo de visualização 3D, que permite ao professor explorar o sistema sob diferentes ângulos de forma rápida e intuitiva, utilizando o *mouse* para rotação e *zoom*. Além disso, o WavePack também possui uma janela reajustável que preserva a qualidade gráfica das simulações, permitindo que ele seja utilizado simultaneamente com outras ferramentas educacionais já bastante utilizadas no âmbito educacional, como lousas digitais e visualizadores de slides.

No entanto, uma limitação desse *software*, em comparação com algumas aplicações do PhET, é a incompatibilidade com *smartphones*, o que compromete a utilização do WavePack em instituições que não têm acesso a computadores ou laboratórios de informática.

Por fim, devido ao seu forte apelo visual, o WavePack se encaixa bem em uma abordagem construtivista, incentivando os estudantes a interagir com as simulações e desenvolver suas próprias observações sobre a orientação dos campos magnéticos.

O WavePack está disponível em: [WavePack versão 0.1.3²](https://drive.google.com/file/d/1i0j0wv4evQrpY04xH-SUhUaJJc-FXzqJ/view?usp=sharing)

² <https://drive.google.com/file/d/1i0j0wv4evQrpY04xH-SUhUaJJc-FXzqJ/view?usp=sharing>.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa adotou uma abordagem estritamente quantitativa, visando minimizar traços subjetivos e garantir resultados mais objetivos. Por meio de análise estatística e inferência indutiva, buscou-se classificar o recém-criado simulador com base nos parâmetros definidos no início do projeto.

O *software* WavePack foi avaliado por meio de um formulário *online* contendo os seguintes procedimentos: (I) atividade pedagógica (Apêndice A)³, que teve por finalidade avaliar a eficácia da utilização do programa no ensino do conceito de campo magnético em um fio e uma espira; (II) um questionário opinativo (Apêndice B)⁴, visando verificar se o aplicativo satisfaz, em determinado grau, as necessidades definidas durante seu desenvolvimento, a saber, intuitividade e facilidade na utilização; e, por último, (III) uma análise dos resultados.

A atividade pedagógica realizada consistiu em um roteiro de teste seguido por duas questões de múltipla escolha tratando do sentido do campo magnético em um fio e em uma espira circular. Os voluntários puderam escolher entre as alternativas A, B e C, das quais só uma correspondia à alternativa correta. Ao escolher o item certo, os alunos atestam, ainda que de forma preliminar, a eficácia do aplicativo. É importante ressaltar que não foram fornecidas quaisquer informações sobre a regra da mão direita aos voluntários. A escolha deste método foi feita com base nas práticas educacionais já realizadas em disciplinas como física experimental.

O questionário opinativo contém uma pergunta direta a respeito do conhecimento prévio dos participantes em relação ao PhET, além de duas afirmações sobre a intuitividade e potencial de utilização do WavePack. Em cada afirmação, os voluntários puderam optar por um dos cinco graus de concordância de acordo com a escala de Likert de cinco pontos. Por fim, foi disponibilizado um espaço para comentários adicionais.

Para evitar ambiguidades, foram utilizadas afirmações diretas, o que pode ter tornado o questionário excessivamente simples. No entanto, é importante ressaltar que esta pesquisa não tem a pretensão de fornecer uma análise definitiva, mas sim de servir como um ponto de partida para projetos mais amplos envolvendo simulações computacionais no ensino de Física.

A coleta de dados ocorreu em novembro de 2021, com a participação de 11

³ Apêndices.pdf

⁴ Apêndices.pdf

voluntários, todos estudantes de graduação que ingressaram no ensino superior pelo Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) nos últimos três anos. A escolha desse público se deve ao fato de a regra da mão direita ser um tema frequentemente abordado nos processos seletivos para cursos de ensino superior.

Para a classificação e análise dos dados, utilizou-se o Ranking Médio (RM) conforme descrito por Oliveira (2005). Nesse método, as respostas “discordo totalmente” e “discordo” correspondem aos graus 1 e 2 respectivamente, enquanto “não estou decidido” equivale ao grau 3. Já as respostas “concordo” e “concordo totalmente” são representadas pelos graus 4 e 5.

Desse modo, tem-se:

$$RM = \sum_i \frac{f_i v_i}{N} \quad (1)$$

em que f_i representa a frequência de cada resposta, v_i representa o grau das respostas e N representa o número de respostas válidas para o questionário. Dessa forma, valores de RM próximos a 5 denotam um alto valor de concordância, enquanto valores próximos a 1 indicam alta discordância e 3 indica um valor neutro.

Para os valores de N não foram consideradas respostas em computadores onde o WavePack não funcionou, em vez disso esses valores foram utilizados para o cálculo do valor esperado de funcionamento do *software* em diferentes máquinas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 11 participantes da pesquisa, apenas 2 não conseguiram executar o programa em seus computadores devido a incompatibilidades com o sistema operacional. Ainda assim, a amostra permite estimar uma taxa de funcionamento de aproximadamente 80%, um valor satisfatório para um protótipo.

Entre os voluntários que conseguiram testar o aplicativo, a taxa de acerto foi de cerca de 78% na primeira questão da atividade pedagógica e 55% na segunda. Esses resultados sugerem uma tendência de acerto mesmo sem a orientação de um professor sobre a regra da mão direita. No entanto, recomenda-se que o *software* seja sempre utilizado em conjunto com explicações de um profissional capacitado, para otimizar o aprendizado.

Quanto ao questionário opinativo, apenas 30% dos voluntários que testaram o WavePack já haviam utilizado o PhET. Esse dado pode indicar que simulações computacionais ainda não são amplamente adotadas pelos professores de Física, ou que não tiveram um impacto significativo no aprendizado dos alunos.

Na questão 1 do questionário opinativo, foi observado um Ranking Médio (RM) de 4,66, conforme apresentado na Tabela 1. Esse valor indica um alto nível de concordância, sugerindo que os objetivos estabelecidos durante o desenvolvimento foram alcançados e que o WavePack é percebido como intuitivo e de fácil utilização. No entanto, ressalta-se a necessidade de pesquisas mais aprofundadas para fortalecer a credibilidade desse resultado.

Tabela 1 – Resultado da frequência de Ranking Médio para a questão 1.

Questão	Frequência					
	1	2	3	4	5	RM
<i>A interface do WavePack é intuitiva e de fácil utilização.</i>	0	0	0	3	6	4,66

Fonte: elaborada pelos autores, 2022.

Na questão 2 do questionário opinativo, buscou-se avaliar se a proposta do aplicativo foi bem recebida a ponto de justificar sua expansão para outros conteúdos de Física, seguindo o exemplo do PhET. Esse aspecto é relevante, pois a pesquisa também visa incentivar o desenvolvimento de novos projetos na área de simulações para o ensino. O Ranking Médio (RM) observado foi de 4,66, conforme apresentado na Tabela 2, indicando um alto nível de concordância entre os voluntários.

Tabela 2 – Resultado da frequência de Ranking Médio para a questão 2.

Questão	Frequência					
	1	2	3	4	5	RM
<i>O conceito do WavePack deveria também ser usando em outros conteúdos de Física.</i>	0	0	1	1	7	4,66

Fonte: elaborada pelos autores, 2022.

Para complementar a análise dos dados, foi calculado o alfa de Cronbach (Apêndice C)⁵ por meio do software estatístico SPSS. O resultado obtido, $\alpha = 80\%$, indica um bom nível de confiabilidade, reforçando a consistência das respostas. Além disso, solicitou-se que os

5 Apêndices.pdf

voluntários deixassem comentários sobre o WavePack ou sobre sua experiência durante os testes.

As respostas foram compiladas no Quadro 1. De modo geral, os comentários corroboram o alto Ranking Médio (RM) observado, indicando uma boa receptividade do WavePack no ambiente educacional.

Quadro 1 – Comentários dos voluntários sobre o WavePack.

Voluntário	Comentário
A1	<i>“O software é leve, intuitivo, de fácil utilização, seria de grande utilidade que ele contivesse ainda mais assuntos, e, se direcionado ao ensino médio/ensino fundamental o recurso de uma paleta de cores mais vivas o tornaria ainda mais atrativo.”</i>
A2	<i>“Em relação a usabilidade poderia ter uns badges nos botões com a utilidade deles. Em relação a abranger outros conteúdos concordo, mas vá com calma.”</i>
A3	<i>“Ele é ótimo e muito útil. Ainda não havia visto um simulador para essa área, ensinando como usar a regra da mão direita ou visualizar o campo, sua direção e sentido. Só tenho a elogiar.”</i>
A4	<i>“Ferramenta muito bem elaborada, a aplicação dessa ferramenta seria muito útil para as intituições de ensino fundamental e médio.”</i>
A5	<i>“A interface é intuitiva, porém senti um pouco de dificuldade em determinar as direções dos fluxos no formulário porque não pareciam com as do software.”</i>
A6	<i>“A ideia é bem interessante principalmente pela versatilidade, pois pode agregar tanto no ensino remoto quanto no presencial.”</i>
A7	<i>“Gostei muito da interface, é bem intuitiva e interativa. Acredito que na sala de aula traga mais o aspecto prático da matéria, que é bem interessante.”</i>
A8	<i>“Ficou muito bom e de fácil utilização e manuseio.”</i>
A9	<i>“Deixe espaço para respondermos, por exemplo, os itens a e b da 1.9.”</i>

Fonte: elaborado pelos autores, 2022.

Embora tenham sido registradas algumas reclamações pontuais sobre a aplicação dos formulários, o que pode sugerir a necessidade de mais testes com atividades pedagógicas, o protótipo foi bem recebido pela maioria dos participantes, demonstrando resultados satisfatórios em relação aos objetivos estabelecidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se os resultados do questionário opinativo e os comentários dos voluntários, pode-se concluir que o WavePack atende aos objetivos específicos estabelecidos. Ele se destaca como uma ferramenta intuitiva, de fácil utilização e potencialmente útil no ensino da regra da mão direita.

No entanto, devido ao número limitado de participantes, ainda não é possível afirmar com grande precisão sua eficácia em um contexto mais amplo. Apesar disso, os resultados obtidos fornecem indícios suficientes para justificar uma pesquisa mais abrangente, mantendo os mesmos objetivos, mas ampliando o público-alvo.

Além disso, estudos futuros podem aprimorar a versatilidade do aplicativo, tornando-o compatível com dispositivos móveis, o que eliminaria uma de suas principais limitações: a restrição quanto às instituições que podem utilizá-lo. Outra possível melhoria seria a expansão das funcionalidades do WavePack, para atender a cursos mais avançados, incorporando a simulação de campos magnéticos em diversos instrumentos laboratoriais. O aplicativo também poderia ser estendido para abordar outros conteúdos, como circuitos elétricos, ampliando, assim, sua aplicação no ensino da Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

CHEVALLARD, Y. Sobre a teoria da transposição didática: Algumas considerações introdutórias. Universidade UNIGRANRIO. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 1-15, 2013.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books Ltda., 2008.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MOREIRA, J. A. M.; HENRIQUES, S.; BARROS, D. Transitando de um ensino remoto emergencial para uma educação digital em rede, em tempos de pandemia. **Revista Dialogia**, São Paulo, n. 34, p. 351-364, abr. 2020.

OLIVEIRA, L. H. **Exemplo de cálculo de Ranking Médio para Likert**. Metodologia Científica e Técnicas de Pesquisa em Administração. Mestrado em Adm. e Desenvolvimento Organizacional. Varginha: PPGA CNEC/FACECA, 2005. Notas de Aula.

ROCHA, A. R.; CAMPOS, G. Avaliação da qualidade de software educacional. **Em aberto:** Órgão de Divulgação do Ministério da Educação e do Desporto. Brasília, ano 12, n. 57, p. 20-36 jan./mar. 1993.

SANTOS, A. V.; SANTOS, S. R.; FRAGA, L. M. Sistema de realidade virtual para simulação e visualização de cargas pontuais discretas e seu campo elétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 185-195, jun. 2002.

CAPÍTULO 5

UMA ANÁLISE DO PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA (PIBID) NO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA DO IFCE CAMPUS TIANGUÁ

Francisco Maurílio da Silva Rodrigues
Egresso do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: mauriliiosilva777@gmail.com

Hamilton Victor da Silva Junior
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: hamilton.victor@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

O Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid), assim como o Programa Residência Pedagógica (PRP), compõe a Política Nacional de Formação de Professores do Ministério da Educação. Teve início no ano de 2007 e, desde então, seus integrantes trabalham para fortalecer os cursos de licenciatura através da articulação entre ensino superior e ensino básico.

Na busca por aprimorar a formação prática dos licenciandos por meio da imersão nas escolas de educação básica, o Pibid, “regulamentado pelo decreto nº 7.219, de 24 de junho de 2010, pode se tornar política pública e ser um incentivo para possibilitar a aproximação das instituições representadas pela universidade e pela escola” (Brasil, 2011), pois, entre as atividades que compõem essa imersão, há os projetos desenvolvidos e aplicados pelos bolsistas e voluntários nas salas de aula de escolas-campo, sob a supervisão de um professor.

Nesse sentido, considerando que o programa é uma oportunidade para que os licenciandos tenham o primeiro contato com a escola e com a sala de aula, o presente trabalho apresenta como objetivo geral: analisar os impactos do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência na formação inicial dos estudantes e egressos do curso de Física do *campus* Tianguá do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Somados a ele, os objetivos específicos consistem em: examinar relatórios e documentos referentes ao programa, verificar a evolução do Pibid ao longo dos editais

relacionados à Licenciatura em Física do IFCE *Campus* Tianguá desde 2012 até 2022, ano de sua última versão, e fazer uma análise específica local sobre os benefícios gerados para a formação dos estudantes desse curso.

Os pressupostos teóricos utilizados são, por um lado, o conceito clássico de aprendizagem significativa e, por outro, as considerações de diversos autores relacionados à formação de professores, destacando-se dentre eles: Veiga (2014), Tardif (2014, Temóteo e Silva (2014), Silvestre (2016), Oliveira (2017), Assis (2017), Santos (2017), Santana (2015), Gil (2008) e Minayo (2011). As contribuições dadas tiveram importância significativa, pois todos estão comprometidos com discussões acerca da educação. Além disso, são elucidados por eles alguns aspectos referentes ao ensino, aprendizagem e formação de professores, especificamente na área da Física.

Desse modo, foi realizada uma revisão como fundamentação teórica, na qual se abordaram a formação inicial de professores e o Pibid, bem como, em seguida, foi realizado um breve histórico do programa em uma linha do tempo dos editais do Pibid, desde o seu lançamento até a versão de 2022. Na metodologia, abordou-se uma revisão de editais que contemplaram o curso de Física no IFCE *Campus* Tianguá, a fim de observar os principais impactos do programa na formação inicial de professores. Por fim, as considerações finais acerca do tema abordado.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Pibid é uma iniciativa do governo brasileiro criada para promover a formação de professores da educação básica e melhorar a qualidade do ensino no país. Ao surgir em 2007 como parte das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE), que foi coordenado pelo Ministério da Educação (MEC), voltou sua atenção às áreas com menor número de professores, devido à precariedade na formação docente. Nessa perspectiva, Temóteo e Silva (2014, p. 109) destacam que, “a priori, surgiu para atender apenas as áreas específicas, como Física, Química, Biologia e Matemática para o ensino médio, tendo em vista a significativa carência de professores para lecionarem nessas disciplinas”

Ao longo dos anos, o programa passou por diversas edições e ajustes. Em 2009, obteve bons resultados, e com isso houve a demanda para que pudesse atender a todas as áreas da educação básica. Pouco tempo depois, expandiu-se para toda a rede de educação básica, ficando a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) responsável pela administração e por seus editais a partir desse momento. Segundo

Silvestre (2016, p. 155): “A partir de 2013, o programa passou a abranger todas as modalidades de licenciatura ofertadas por instituições de educação superior públicas e privadas com e sem fins lucrativos, incluindo as áreas da educação escolar indígena e do campo”.

O Pibid permite aos estudantes de licenciatura a aproximação com a realidade escolar e a vivência das práticas pedagógicas nas escolas de educação básica. Segundo Oliveira (2017, p. 915): “Na condição de programa governamental, o PIBID visa inserir os graduandos no cotidiano das escolas públicas e, com isso, antecipar seu vínculo com a realidade escolar [...].”

Um diferencial é a concessão de bolsa para os estudantes de licenciatura (bolsistas ID e voluntários) que atuarão nas escolas de ensino básico, para o professor da instituição de ensino superior (IES) (coordenador de área) que coordena os pibidianos e se reúne com eles semanalmente para discutir sobre as atividades realizadas e repassar informes gerais sobre o programa, bem como para os professores que atuam nas escolas-campo (supervisores), cujo papel é orientar e supervisionar os bolsistas nas atividades que serão desenvolvidas em sala de aula.

Com a chegada do Pibid, em 2007, os licenciandos passaram a ter oportunidade de aproximar-se da realidade das escolas da educação básica ainda nos primeiros semestres da faculdade, o que geralmente só acontecia durante as disciplinas de estágio. De acordo com Oliveira (2017, p. 915), a inserção no programa “constitui-se como possibilidade de criação de espaços em que a universidade e a escola de educação básica, ao aproximar teoria e prática, engajam-se na formação dos licenciandos”, pois lhes dá a chance de pôr em prática, nas escolas da rede básica, a teoria adquirida na universidade, vivenciando, assim, a dinâmica escolar e fortalecendo as práticas pedagógicas desenvolvidas nas salas de aula sob a supervisão do professor regente.

No Decreto nº 7.219, de 24 de junho de 2010, são apresentados como objetivos do Pibid:

- I - incentivar a formação de docentes em nível superior para a educação básica;
- II - contribuir para a valorização do magistério;
- III - elevar a qualidade da formação inicial de professores nos cursos de licenciatura, promovendo a integração entre educação superior e educação básica;
- IV - inserir os licenciandos no cotidiano de escolas da rede pública de educação, proporcionando-lhes oportunidades de criação e participação em experiências metodológicas, tecnológicas e práticas docentes de caráter inovador e interdisciplinar que busquem a superação de problemas identificados no processo de ensino-aprendizagem;

V - incentivar escolas públicas de educação básica, mobilizando seus professores como coformadores dos futuros docentes e tornando-as protagonistas nos processos de formação inicial para o magistério; e

VI - contribuir para a articulação entre teoria e prática necessárias à formação dos docentes, elevando a qualidade das ações acadêmicas nos cursos de licenciatura (Brasil, 2011).

Posto isso, observa-se que os objetivos propostos pelo programa contribuem de maneira clara para a formação continuada dos professores. A parceria entre universidades e escolas de educação básica proporciona aos discentes de licenciatura uma gama de possibilidades e conhecimentos que podem ser enriquecedores para a vida acadêmica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado um estudo bibliográfico e documental, através de aportes teóricos como artigos científicos, monografias, revistas e livros, além de documentos relacionados ao Pibid e à formação inicial docente. Sobre a pesquisa documental, Gil comenta (2008, p. 51):

assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica. A única diferença entre ambas está na natureza das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições dos diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa.

Quanto à forma de abordagem de pesquisa, adotou-se a qualitativa, visando, por meio de análise de dados, investigar os impactos relevantes do Pibid na formação inicial dos licenciandos do curso de Física do IFCE *Campus Tianguá*. Em relação a ela, Minayo (2011, p. 21) pontua:

A pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares. [...] ela trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes. Esse conjunto de fenômenos humanos é entendido aqui como parte da realidade social, pois o ser humano se distingue não só por agir, mas por pensar sobre o que faz e por interpretar suas ações dentro e a partir da realidade vivida e partilhada com seus semelhantes.

Nesse caso, o pesquisador tem como foco o processo. Ele busca interpretar e compreender o fenômeno estudado tendo como fonte direta para a pesquisa de dados o ambiente natural, apresentando também como foco principal a análise dos conhecimentos de uma realidade específica. Nesse sentido, os resultados coletados nesta pesquisa são

baseados em informações fornecidas por documentos e editais referentes ao subprojeto de Física no período de 2012 a 2022.

Revisão dos editais

O lançamento da primeira chamada do Pibid se deu via Edital MEC/CAPES/FNDE nº 1/2007, publicado no Diário Oficial da União de 13 de dezembro de 2007. Desse ano até 2022, foram publicados 11 editais e 12 portarias, que permitiram regulamentar e organizar o programa, indicando suas diretrizes, conforme apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 – Documentos regulamentares do Pibid.

DOCUMENTO	DATA	ASSUNTO
Portaria CAPES nº 38	13/12/2007	Institui o Pibid.
Chamada Pública MEC/CAPES/FNDE nº 1/2007 (primeiro edital)	13/12/2007	Chamada para instituições federais de ensino superior.
Portaria CAPES nº 122	18/9/2009	Dispõe sobre o Pibid no âmbito da Capes.
Edital CAPES nº 2/2009	25/9/2009	Chamada para instituições federais e estaduais de ensino superior.
Portaria CAPES nº 1.243	30/12/2009	Reajusta os valores das bolsas de participantes de programas de formação inicial e continuada de professores.
Portaria CAPES nº 72	9/4/2010	Estende o Pibid às escolas públicas municipais e às instituições comunitárias, confessionais e filantrópicas sem fins lucrativos.
Portaria CAPES nº 136	1/7/2010	Altera modalidade de aplicação de dotação orçamentária referente ao Pibid.
Edital CAPES nº 18/2010	13/4/2010	Chamada para instituições públicas municipais e comunitárias, confessionais e filantrópicas sem fins lucrativos.
Decreto nº 7.219	24/7/2010	Dispõe sobre o Pibid.
Edital CAPES nº 2/2010	22/10/2010	Chamada para instituições que trabalham nos programas de formação de professores Prolind e Procampo.
Portaria CAPES nº 260	30/12/2010	Aprova as normas do Pibid.
Edital CAPES nº 1/2011	3/1/2011	Chamada para instituições públicas em geral.
Edital CAPES nº 11/2012	20/3/2012	Chamada para IES que já possuem o Pibid e desejam sua ampliação e para IES novas que queiram implementar o Pibid em sua instituição.

Portaria CAPES nº 96/2013	18/7/2013	Aprova o regulamento do Pibid.
Edital CAPES nº 61/2013	2/8/2013	Chamada para instituições públicas, comunitárias e privadas com bolsistas do ProUni.
Edital nº 66/2013	6/9/2013	Chamada para instituições públicas em geral interessadas no Pibid-Diversidade.
Portaria CAPES nº 46/2016	15/6/2016	Aprova as novas normas do Pibid.
Portaria CAPES nº 158	10/8/2017	Dispõe sobre a participação das IES nos programas de fomento da Diretoria de Formação de Professores da Educação Básica.
Edital CAPES nº 7/2018	1/3/2018	Chamada para IES em geral.
Portaria CAPES nº 45	12/3/2018	Dispõe sobre a concessão de bolsas e o regime de colaboração no Programa de Residência Pedagógica e no Pibid.
Portaria CAPES nº 259	17/12/2019	Dispõe sobre o regulamento do Programa de Residência Pedagógica e do Pibid.
Edital CAPES nº 2/2020	6/1/2020	Chamada para IES em geral.
Portaria CAPES nº 86	11/5/2022	Altera a Portaria nº 83, de 27 de abril de 2022, que dispõe sobre o regulamento do Pibid.
Edital CAPES nº 2/2022	29/4/2022	Chamada para IES em geral.

Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

A primeira chamada ofereceu quatro oportunidades de apresentação de subprojetos, para avaliação, como apresentado no Quadro 2. Ante a carência de professores no ensino médio, nas áreas de exatas e ciências da natureza, o edital evidenciou que o programa surgiu com foco nas licenciaturas das chamadas “ciências duras” (Física, Química, Matemática e Biologia como prioridades).

Quadro 2 – Quantidade de projetos aprovados.

DATA	QUANTIDADE
Até 30/8/2008	23
Até 19/12/2008	14
Até 27/1/2009	3
Até 20/2/2009	3
TOTAL	43

Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

Em setembro de 2009, dois anos depois da primeira chamada, foi divulgado o Edital CAPES/DEB nº 2/2009. Esse edital apresentou uma nova configuração no programa, permitindo que os projetos institucionais contemplassem a iniciação à docência e a formação prática para o exercício do magistério no sistema de ensino da rede pública, podendo estar voltados para a educação básica regular, educação especial, educação de jovens e adultos e a educação básica oferecida nas comunidades indígenas, nas comunidades quilombolas e no campo, verificando-se, portanto, uma ampliação do contexto de atendimento.

A segunda chamada do Pibid teve um grande aumento de aprovações, mais que o dobro da primeira, totalizando 89 subprojetos institucionais. Em relação à prioridade de atendimento, houve uma acentuada ampliação das áreas de formação, privilegiando, entre outros, o curso de Pedagogia, que até então só podia constar entre outras licenciaturas como uma das últimas prioridades. Nesse edital, a Pedagogia passa a ser considerada, inclusive no âmbito do ensino médio – modalidade Normal.

Em abril de 2010, o Edital nº 18/2010 foi publicado, e a partir dele as atividades do Pibid puderam ser realizadas na educação infantil. Essa nova chamada do programa gerou um crescimento de 30% nos projetos institucionais aprovados em relação à chamada anterior, passando assim de 89 para 117.

A chegada do mês de agosto de 2013 confirmou que o Pibid avançava e caminhava para a sua consolidação como uma das estratégias de formação inicial de professores mais bem-sucedidas dos últimos tempos no Brasil. Isso porque no edital anterior se anuncjava a oferta de 19 mil bolsas para estudantes, e neste foram ofertadas 72 mil.

Em março de 2018, o Edital Capes nº 7/2018 trouxe mudanças significativas para o programa. Exigiu que os bolsistas não tivessem concluído mais de 60% da carga horária regimental. Atrelada a esta questão, tem-se a demarcação de um período máximo de permanência dos licenciandos no Pibid com recebimento de bolsa, que não poderia ser superior a 18 meses. Ademais, o edital previu também a possibilidade de participação de até seis licenciandos voluntários, incentivados pelas IES a participar do programa sem receber bolsa.

Os subprojetos deveriam contar com um grupo formado por 1 coordenador de área (professor da IES), 3 professores supervisores (atuantes nas escolas de educação básica inscritas no subprojeto), bem como, no mínimo, 24 e, no máximo, 30 discentes. No que se refere à proporção entre o número de licenciandos e o número de professores supervisores, a média passa a ser de pelo menos 8 licenciandos por supervisor, diferentemente dos editais anteriores, que indicavam uma média de 5 a 6.

Por fim, em relação aos Editais Capes nº 2/2020 e nº 2/2022, quando analisados e comparados com o edital de 2018, os objetivos do programa, os princípios e as características da iniciação à docência foram mantidos. Como observado no edital anterior, no que se refere aos discentes que não tivessem concluído mais de 60% da carga horária regimental do curso e sua permanência de no máximo 18 meses no programa, houve um aumento significativo na redução de bolsas de iniciação à docência.

A partir da análise dos relatórios e dos editais do programa, no Quadro 3 são apresentados dados referentes à quantidade de bolsas concedidas em cada edital, incluindo as de iniciação à docência, de supervisão e de coordenação de área.

Quadro 3 – Número de bolsas concedidas em cada um dos editais Pibid.

EDITAIS	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2018	2020 ¹	2022 ²
Nº DE BOLSAS APROVADAS	3.088	10.606	3.020	13.292	22.403	90.254	45.000	30.096	30.840

Fonte: Diretoria de Formação de Professores da Educação Básica – DEB (Brasil, 2013)

Com base no quadro acima, nota-se que os resultados obtidos demonstram o enfraquecimento do programa a partir de 2018. Contudo, vale ressaltar que a partir desse ano também foram lançados editais do PRP, que ofereceram um número de bolsas equivalente ao dos editais do Pibid.

Editais que contemplaram o curso de Física no IFCE Campus Tianguá

Em 2012, as atividades do Pibid no IFCE Campus Tianguá tiveram início com o curso de Licenciatura em Física, a partir do lançamento do Edital Capes nº 11/2012. No presente edital foram oferecidas 20 vagas para bolsistas de iniciação à docência (licenciandos do curso de Física), sendo 10 delas para início imediato das atividades e 10 para o cadastro reserva, 1 vaga para professor supervisor e 1 vaga para coordenador de área.

O referido subprojeto teve a Escola de Ensino Médio Liceu de Tianguá José N. Moreira como escola-campo. Para participar, os bolsistas passaram por um processo seletivo realizado pelo coordenador de área, no qual foram avaliados de acordo com os

¹ O edital Pibid 2020 tem a mesma quantidade de bolsas para o PRP.

² O mesmo caso aconteceu em relação ao edital de 2022.

seguientes itens: nota do componente curricular Fundamentos de Física I, análise do Índice de Rendimento Acadêmico – IRA (presente no histórico escolar) e análise da carta de motivação. Ademais, vale dizer que os pibidianos receberam uma bolsa de R\$ 400,00 mensais para arcar com os gastos necessários à execução das atividades, que ocorreram de forma presencial. Além disso, o professor supervisor recebeu uma bolsa mensal de R\$ 765,00 e o coordenador de área, de R\$ 1400,00.

Após a finalização do processo seletivo, os bolsistas de iniciação à docência foram inseridos na realidade da escola-campo e lá tiveram a oportunidade de conhecer o ambiente escolar, compreender os desafios da sala de aula, analisar as demandas da escola e discutir as possibilidades de atuação, a fim de desenvolver suas habilidades. Além disso, os momentos de interação com os professores e demais membros da escola-campo contribuíram para o desenvolvimento de competências.

A atuação dos bolsistas foi de suma importância. Nesse período, eles puderam aprimorar sua escrita, aprender noções de pesquisa, organizar e preparar aulas, realizar leituras e estudos e ter conhecimento dos principais documentos escolares, como o Projeto Político Pedagógico (PPP), a Proposta Pedagógica Curricular (PPC), o Regimento Escolar, as Diretrizes Curriculares Estaduais de Física, entre outros.

Em 2014, houve a prorrogação do edital por mais dois anos, de modo que as atividades na escola-campo não foram encerradas. Por consequência disso, os licenciandos tiveram a oportunidade de continuar as práticas docentes no ambiente escolar.

No segundo semestre do ano de 2015 e início do ano de 2016, durante o segundo mandato da presidente Dilma Vana Rousseff (2015-2016), houve redução dos números em razão do desligamento de bolsistas de iniciação à docência que completavam 24 meses de participação no projeto e da impossibilidade de cadastrar novos bolsistas, devido a proposta de redução do programa, justificada por um contexto de crise orçamentária no Brasil, que vinha ocasionando cortes em vários setores da educação, como por exemplo a Capes, que sofreu uma redução de 32% dos seus recursos referentes ao ano de 2016 (Correia; Viana Junior, 2016, p. 447).

Em meio a esse cenário, por meio da Portaria Capes nº 46/2016, o subprojeto de Física do IFCE *Campus* Tianguá teve uma redução de mais da metade da quantidade de bolsas concedidas, pois, tomando-se como referência o edital de 2013, em que foram oferecidas 20 bolsas, foram ofertadas apenas 6, uma redução significante.

No IFCE *Campus* Tianguá, no ano de 2020, o curso de Física deu continuidade ao Pibid por meio do Edital Capes nº 02/2020. Esse edital apresentou mudanças significativas

para o subprojeto, destacando-se dentre elas: o aumento do quantitativo de membros constituintes e parceria com três escolas-campo. De acordo com o documento, o grupo constituinte do subprojeto de Física deveria ser formado por 1 coordenador de área, 3 supervisores e 30 discentes, sendo 24 aptos a receber a bolsa e 6 voluntários. Diante desse quantitativo, os pibidianos foram organizados em três blocos de 10 pessoas e direcionados às escolas-campo Liceu de Tianguá José Ni Moreira, EEEP Governador Waldemar Alcântara e EEEP José Victor Fontenelle Filho, cada uma com o seu respectivo professor supervisor, conforme resumo de escolas atendidas constante no Quadro 4:

Quadro 4 – Escolas atendidas pelo Pibid, subprojeto de Física.

EDITAIS CAPES	ESCOLAS	MUNICÍPIOS
2012	1. Liceu de Tianguá José Ni Moreira	Tianguá
2016	1. Liceu de Tianguá José Ni Moreira	Tianguá
	2. EEM Tancredo Nunes de Menezes	Tianguá
2020	1. Liceu de Tianguá José Ni Moreira	Tianguá
	2. EEEP Governador Waldemar Alcântara	Ubajara
	3. EEEP José Victor Fontenelle Filho	Viçosa do Ceará
2022	1. EEMTI Monsenhor Aguiar	Tianguá
	2. EEMTI Flávio Ribeiro Lima	Ubajara
	3. EEMTI Irmã Lins	Viçosa do Ceará

Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

Contudo, essas não foram as únicas mudanças, vale destacar uma nova configuração aqui para os critérios de seleção e o tempo de permanência. As inscrições ocorreram de forma remota devido às medidas de proteção relacionadas à Covid-19, enquanto os critérios permaneciam os mesmos do edital de 2018, ou seja, o licenciando deveria não ter concluído mais de 60% da carga horária regimental, e os bolsistas em questão não poderiam ultrapassar o período de permanência de 18 meses.

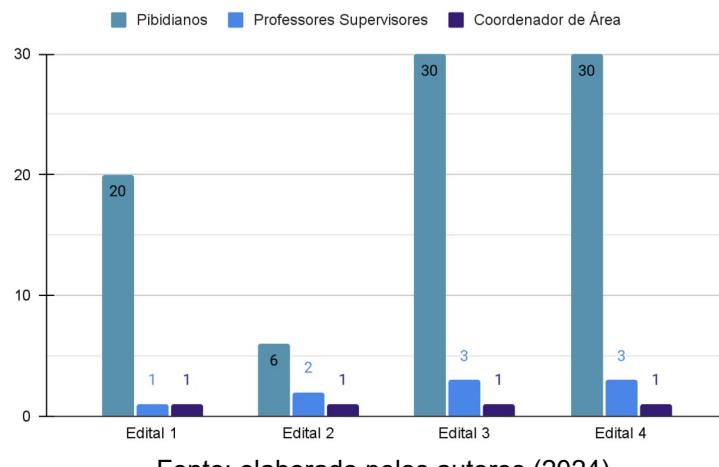
Nesse período, o programa ocorreu de modo peculiar, pois, diante das medidas de segurança, teve que se adaptar ao isolamento social e também às tecnologias. Por consequência, as atividades do subprojeto de Física do IFCE *Campus* Tianguá transcorreram, em sua maior parte, de forma remota. Em relação a isso, pontua-se aqui que os licenciandos só tiveram contato com a escola-campo, no formato presencial, nos dois últimos meses de vigência do programa.

O Edital nº 2/2022 não apresentou mudanças significativas em relação ao último edital. Com o fim da pandemia de Covid-19, o programa voltou a ser ofertado 100% de forma presencial nas escolas-campo. Além disso, após muito tempo, a Capes realizou um reajuste no valor das bolsas. Assim, os bolsistas, que antes recebiam o valor de R\$ 400,00, passaram a receber R\$ 700,00; já os professores supervisores, que antes recebiam R\$ 765,00, tiveram o valor da bolsa reajustado para R\$ 1.100,00. Permanecendo o mesmo quantitativo de escolas-campo, nesta edição do subprojeto de Física, as escolas contempladas foram: EEMTI Monsenhor Aguiar, EEMTI Flávio Ribeiro Lima e EEMTI Irmã Lins.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as informações disponibilizadas e coletadas nos relatórios e documentos do Pibid no IFCE *Campus* Tianguá, subprojeto de Física, foram analisados quatro editais, lançados no período de 2012 a 2022. O Gráfico 1 representa a quantidade correspondente ao grupo formado em cada chamada.

Gráfico 1 – Quantitativo dos integrantes do subprojeto de Física no IFCE *Campus* Tianguá de 2012 a 2022.



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

No primeiro edital que contemplou o curso de Licenciatura em Física, lançado em 2012, o subprojeto de Física abrangeu uma única escola da rede pública de ensino: a Escola Liceu de Tianguá José Ni Moreira, sendo constituído por 1 coordenador de área, 1 professor supervisor e 20 bolsistas de iniciação à docência (ID). No ano de 2014, o subprojeto foi prorrogado por dois anos, mantendo-se o mesmo grupo formado e a mesma escola.

Já em 2016, houve uma nova chamada, e o programa abrangeu duas escolas da rede pública de ensino: a Escola Liceu de Tianguá José Ni Moreira e a EEM Tancredo Nunes de Menezes. No que se refere ao grupo formado, 23 estudantes participaram desta seleção, mas houve uma redução significativa de integrantes em relação à chamada anterior. O grupo foi constituído por 1 coordenador de área, 2 professores supervisores e 6 bolsistas.

No edital lançado em 2020, houve um aumento significativo das vagas ofertadas em relação aos editais anteriores. Devido a esse aumento, três escolas da rede pública de ensino foram contempladas: EEM Liceu de Tianguá José Ni Moreira, situada em Tianguá, EEEP Governador Waldemar Alcântara, situada na cidade de Ubajara, e EEEP José Victor Fontenelle Filho, localizada em Viçosa do Ceará. Nesta seleção, para as 30 vagas disponíveis, 39 estudantes se inscreveram. Por fim, o grupo foi formado por 1 coordenador de área, 3 professores supervisores, 24 alunos bolsistas e 6 alunos voluntários.

No edital seguinte, lançado em 2022, poucas mudanças aconteceram em relação ao último edital. Desta vez, as escolas contempladas foram: EEMTI Monsenhor Aguiar, situada em Tianguá, EEMTI Flávio Ribeiro Lima, situada na cidade de Ubajara, e EEMTI Irmã Lins, localizada em Viçosa do Ceará. Nesta edição, 31 estudantes participaram da seleção, que ofertou novamente 30 vagas.

Quadro 5 – Número de integrantes do subprojeto de Física do IFCE campus Tianguá.

	EDITAL 2012	EDITAL 2016	EDITAL 2020	EDITAL 2022	TOTAL
ESCOLAS ATENDIDAS	1	2	3	3	9 ³
ESTUDANTES	20	6	30	30	86
PROF. SUPERVISORES	1	2	3	3	9
COORDENADORES	1	1	1	1	4 ⁴

Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

3 Duas escolas-campo participaram do subprojeto de Física do IFCE Campus Tianguá mais de uma vez.

4 Um dos professores coordenadores de área do subprojeto participou de dois editais seguidos.

Ao analisar os dados obtidos, pode-se observar que o programa apresenta impactos positivos na formação dos licenciandos, como: articulação entre teoria e prática, aproximação do contexto da escola básica, reflexão sobre a qualidade das práticas formativas no âmbito da docência, adoção de atitudes inovadoras e criativas, aumento da procura pelo curso de Física e enriquecimento de currículo acadêmico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu analisar os documentos do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid), a fim de identificar as contribuições e os principais impactos na formação inicial dos estudantes e egressos do curso de Licenciatura em Física do IFCE Campus Tianguá. Ao avaliar os resultados obtidos a partir da análise dos documentos e editais do subprojeto de Física, percebeu-se uma grande evolução do programa em relação à quantidade de bolsas oferecidas, interesse dos discentes em participar do programa, assim como sua importância para a formação inicial de professores. Nessa perspectiva, destacam-se avanços significativos do programa desde 2012 até o ano de 2022.

Sendo assim, o trabalho torna-se relevante para as IES, uma vez que expõe claramente os benefícios do programa para aqueles que dele participam, evidenciando a necessidade de os alunos das licenciaturas conhecerem o Pibid e, quando tiverem a oportunidade, participarem do programa. A evolução do subprojeto apresentou um alto crescimento na procura por participar do Pibid por parte dos licenciandos. Dentre os impactos significativos para a formação docente, destacam-se: a diminuição da evasão, o aumento da procura pelos cursos de licenciatura, o reconhecimento de um novo *status* para as licenciaturas na comunidade acadêmica e uma indicação de melhoria do Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb) em escolas participantes do Pibid.

Dessa maneira, conclui-se que a análise realizada apresentou importantes pontos relacionados às contribuições do Pibid para a formação inicial docente do licenciando e para o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes que compõem o corpo escolar das escolas-campo participantes dos subprojetos. Nesse sentido, o trabalho possibilitou a reflexão sobre os impactos do Pibid na formação dentro do curso de Licenciatura em Física do IFCE Campus Tianguá, com base na teoria dos saberes docentes, a qual oportunizou discussões e reflexões em torno da temática estudada.

Portanto, com o final deste estudo, espera-se que as análises e discussões levantadas sirvam para ampliar as discussões sobre a relevância do Pibid para os cursos de licenciatura e para reforçar o quanto o programa contribuiu para a formação inicial, e até contínua, dos discentes do curso de Física do IFCE *Campus Tianguá*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, A. S. Contribuições do Pibid para a valorização dos professores: o que dizem as teses e dissertações? In: REUNIÃO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM EDUCAÇÃO, 38., 2017, São Luís. **Anais**. São Luís: UFMA, 2017. p. 1-15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/IEC Guia 2:** normalização e atividades relacionadas: vocabulário geral. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

BRASIL. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Portaria Capes nº 260, de 30 de dezembro de 2010. Aprova as normas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 3 jan. 2011. [p. 23]. Disponível em: http://prg.ufpel.edu.br/documentos/Portaria260_PIBID2011_NormasGerais.pdf. Acesso em: 2 fev. 2024.

BRASIL. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Diretoria de Formação de Professores da Educação Básica. **Relatório de Gestão 2009-2013**. Brasília, DF: Capes, 2013. Disponível em: <http://www.capes.gov.br/images/stories/download/bolsas/2562014-relatorio-DEB2013-web.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

BRASIL. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Diretoria de Formação de Professores de Educação Básica. **Relatório de Gestão**. Pibid. Brasília, DF, 2013.

CORREIA, C. B. C. A.; VIANA JUNIOR, G. S. Os cortes no Pibid e o reflexo na descaracterização do projeto. **Revista Encontros Universitários da UFC**, Fortaleza, v. 1, n. 1, 2016. (Encontro de Monitoria de Projetos da Graduação, 6.)

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas de população**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/estimapo/p/tabelas>. Acesso em: 19 abr. 2023.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ. **Calendário 2018**. 2018. Disponível em: <http://ifce.edu.br/comunicacao-social/calendarios/calendario-2018.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** 30. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

OLIVEIRA, H. A bagagem do Pibid para a formação inicial docente e para a construção da identidade profissional. **Trabalhos de Linguística Aplicada**, Campinas, v. 56, n. 3, p. 913-934, set./dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/010318138647980236661>. Acesso em: 02 fev. 2024

SANTANA, M. S. S. **O PIBID e a iniciação docente: um estudo com professores egressos do programa.** Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SANTOS, M. **Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência, formação de professores e a constituição da identidade docente.** Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7475>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SILVESTRE, V. **Práticas problematizadoras e de(s)coloniais na formação de professores/as de línguas: teorizações construídas em uma experiência com o Pibid.** 2016. Tese (Doutorado em Letras e Linguística) – Faculdade de Letras, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8834>. Acesso em: 20 jan. 2024.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional.** Petrópolis: Vozes, 2014.

VEIGA, I. P. A. Formação de professores para a Educação Superior e a diversidade da docência. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 42, p. 327-342, 2014.

TEMÓTEO, A. S., SILVA, C. O Pibid como política pública de formação docente: discutindo resultados exitosos. **Cadernos Cenpec**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 108-121, dez. 2014.

CAPÍTULO 6

A RAZÃO CARGA-MASSA DO ELÉTRON: UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE PRÁTICA PARA O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO

Maria Tatiele dos Santos
Egressa do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: tatielesantosb13@gmail.com

Hamilton Victor da Silva Junior
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: hamilton.victor@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

O ensino de Física atualmente exige do professor habilidade, agilidade, criatividade e um constante aperfeiçoamento profissional. Inovar na sala de aula não é uma tarefa fácil, ainda mais na área da ciência, onde o modelo de ensino prioriza a teoria e a abstração, insistindo na resolução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado aconteça pela memorização, e não pela construção significativa do conhecimento.

A transmissão de conhecimento no ensino de Física vem se realizando, em geral, mediante a apresentação desarticulada e descontextualizada de conceitos, ou seja, apresentando-se apenas leis e fórmulas distanciadas da vida do aluno, totalmente desprovidas de significado (Brasil, 1999, p. 22). O modo tradicional desmotiva os estudantes a aprender determinados conteúdos, pois, ao repassarem fórmulas prontas para o caderno, eles acreditam que sejam necessárias apenas para o dia da prova, a fim de obter uma nota suficiente para passar de ano. A propósito, até mesmo isso frequentemente se mostra difícil, pois o índice de notas baixas e de desprazer em compreender essa ciência é muito grande.

Isto posto, o presente artigo mostra uma pesquisa baseada no experimento do cálculo da razão carga-massa do elétron com uma bobina de Helmholtz, realizado com os alunos que cursaram a disciplina de Eletricidade e Magnetismo II no *Campus* Tianguá do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Para a obtenção de dados, foi aplicado um questionário usando a escala Likert, assim foi possível fazer uma análise satisfatória sobre a experiência dos discentes nesta atividade.

A proposta de abordar o tema determinação da razão carga-massa do elétron teve como uma de suas finalidades trabalhar conceitos importantes do eletromagnetismo, por exemplo, diferença de potencial, corrente elétrica, campo magnético, força magnética e regra da mão direita, através de uma aula experimental. Compreender o campo magnético se torna um pouco complicado devido às dificuldades que os alunos já trazem consigo desde o ensino médio.

A pesquisa teve como principal objetivo investigar se a estratégia de ensino baseada na aplicação de atividades experimentais de demonstração em sala de aula, em uma perspectiva interacionista, torna possível a interação social dos alunos com o professor e dos alunos entre si, de forma a contribuir para a construção do conhecimento e ressignificação do processo de ensino-aprendizagem. Além disso, visou à aprendizagem significativa sobre campo magnético e razão carga-massa do elétron a partir de uma unidade didática em busca de resultados satisfatórios, como também à melhoria no âmbito educacional por intermédio de atividades práticas.

Foi abordada a importância das atividades práticas no ensino de Física, como também foi feito um embasamento teórico sobre o experimento da razão carga-massa do elétron, ressaltando-se as contribuições que as atividades experimentais fazem no processo ensino-aprendizagem. Diante do que foi observado, foi feita uma análise geral desde a aplicação da atividade prática até os resultados obtidos. Por fim, apresentam-se as conclusões sobre as vantagens do emprego de atividades experimentais no ensino de Física.

REFERENCIAL TEÓRICO

Atividades práticas no ensino de Física

Gaspar, Monteiro e Monteiro (2004), em seu trabalho de pesquisa, deduziram que as atividades experimentais de demonstração podem ser um instrumento didático eficiente e viável para causar o desencadeamento de interações sociais em sala de aula. Esse método funciona desde que o aluno seja estimulado a ampliar suas possibilidades de compreensão conceitual do tema estudado, ao questionar, formular hipóteses, expor suas ideias e expectativas em relação à atividade.

Santos (2005) destaca que a história da ciência, o cotidiano e a experimentação são três tendências que dominam hoje o ensino de ciências. Segundo esse autor, o ensino de

ciências por meio da experimentação é quase uma necessidade, mas pode deixar de ter sentido na construção científica caso não relate experimentação, construção de teorias e realidade socioeconômica. Além disso, se não houver uma relação entre teoria e experimentação, é improvável obter resultados positivos em relação à aprendizagem. A utilização desses meios auxiliares de ensino deve ocorrer com planejamento prévio, na elaboração do plano de ensino e do plano de aula.

Utilizar atividades práticas visa superar a concepção atual do estudante como um banco de dados (Moreira, 1991) e do professor como um provedor de informações. Dessa forma, além de ensinar Física, a aula tende a preparar o emocional de cada estudante para o aprender, ajustando o aluno a um novo paradigma da educação.

Aulas práticas no ensino de Física podem ser consideradas como uma prática social que ajudará o aluno a dividir suas tarefas e também o grupo ou um indivíduo a realizá-las com a maior eficiência possível. Segundo Moreira (1991): “Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas, na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem dessa forma, como ponto de ancoragem às novas ideias e conceitos” (Moreira, 1991, p. 153).

Dentre as temáticas abordadas, muitos trabalhos relacionados à experimentação retratam as contribuições de tais atividades:

A abordagem prático-experimental no processo de ensino-aprendizagem da física decorre da legitimação da experimentação como a busca por desvelar a natureza, a ciência da experiência. A realização de atividades prático-experimentais ganha conotação de imprescindibilidade, notadamente aceita tanto por professores de todos os níveis quanto por pesquisadores da área, a tal ponto de tais atividades, desenvolvidas ou não no espaço do laboratório didático, vêm sendo, de forma frequente, objeto de pesquisas da área de ensino nas últimas décadas (Pereira; Moreira, 2017. p. 952).

Segundo Lima *et al.* (1999), a experimentação inter-relaciona o aprendiz e os objetos de seu conhecimento, a teoria e a prática. Isso ressalta a relação entre o sujeito, fenômenos e processos naturais observados, pautada não apenas pelo conhecimento científico já estabelecido, mas também pelos saberes e hipóteses levadas pelos estudantes diante de situações desafiadoras. Portanto, as aulas práticas no ensino de Física são uma proposta de tornar as aulas mais atrativas, tornando os alunos cidadãos conscientes, reflexivos e críticos.

No entanto, embora se saiba que as atividades práticas são uma boa opção para dinamizar as aulas, algumas escolas não possuem recursos para aderir a esse método, isto é, ficam no modo tradicional. Porém, é possível diferenciar as aulas utilizando materiais

recicláveis e construindo seus próprios experimentos. De acordo com Capeletto (1992), para a realização de práticas, não são necessários aparelhos e equipamentos caros e sofisticados; na falta deles, é possível, de acordo com a realidade de cada escola, o professor realizar adaptações nas suas aulas a partir do conteúdo e ainda utilizar materiais de baixo custo e de fácil acesso. Logo, para tal acontecimento, depende-se da iniciativa de cada professor.

Quanto às dificuldades para se desenvolver experimentação em laboratório, Silva e Zanon (2000, p. 182) mencionam: “Os professores costumam relatar que o ensino experimental é importante para melhorar o ensino-aprendizagem, mas sempre salientam a carência de materiais, número elevado de alunos por turma e carga horária muito pequena em relação ao extenso conteúdo que é exigido na escola”.

Pena e Ribeiro Filho (2008) investigaram relatos de experiências pedagógicas publicadas em periódicos nacionais entre 1971 e 2006, onde verificaram que os principais obstáculos ao uso da experimentação no ensino da Física envolvem a falta de pesquisas sobre a aprendizagem associada à experimentação, como também a despreparação dos professores para trabalharem a Física por meio de atividades experimentais. Por outro lado, os autores ressaltam as más condições de trabalho oferecidas aos professores, que desfavorecem o uso de experimentos.

Procurar meios para suprir a falta de compreensão dos alunos e aplicar intervenções em sala unindo a teoria com a prática torna provável obter resultados satisfatórios, pois a atividade experimental contribui para um maior envolvimento do aluno no desenvolvimento dos conteúdos. Nesse contexto, deverá haver condições pelas quais a experimentação possa ser cativante, de modo a estimular os estudantes a uma busca de explicações para as situações experimentais, e não apenas uma atenção momentânea aos aspectos mais externos e evidentes do fenômeno.

O ideal seria levar essa estratégia para o ambiente escolar de uma forma que motive os estudantes a se dedicarem, posteriormente, às tarefas subsequentes, menos prazerosas, ou seja, as fórmulas prontas e sem significado para eles. O aprendizado de ciências se dá a partir de problemas relevantes para o estudante, com os quais deseja se envolver e que lhe trazem uma satisfação. Enfim, a realização de experimentos representa uma excelente ferramenta para que o aluno possa estabelecer a dinâmica e indissociável relação entre teoria e prática.

O experimento da razão carga-massa do elétron

No ano de 1897, o físico inglês Joseph John Thomson identificou o elétron e determinou, pela primeira vez, a sua razão carga-massa. Além de determiná-la experimentalmente, demonstrou que o elétron era uma partícula com massa e carga muito bem definidas. Thomson decidiu medir a razão carga-massa dos raios catódicos para identificar se estes eram íons ou se eram partículas carregadas universais. Nesse ano, executou uma experiência que comprovou que os raios catódicos se comportavam como partículas negativamente carregadas na presença de campos elétricos e magnéticos. Ao equilibrar esses campos, e com as leis básicas da eletricidade e do magnetismo, pôde calcular a razão entre a carga e a massa das partículas em um feixe.

Determinar essa razão significa encontrar valores a partir de medidas do raio das trajetórias circulares dos feixes de elétrons dentro de um tubo de feixe colimado. O valor adotado atualmente para a carga específica do elétron e/m é de $1,759 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$. Portanto, conhecido como tubo de raios de feixe estreito, é ele que proporciona a obtenção quantitativa da razão carga-massa do elétron, como também a observação do desvio de feixes de elétrons em campos magnéticos homogêneos utilizando um par de bobinas de Helmholtz.

Os conceitos acerca desse experimento são baseados na mecânica clássica. Sobre um elétron que se move com velocidade v perpendicularmente a um campo magnético B , age a força de Lorentz perpendicularmente à velocidade do campo magnético. Ele impede o elétron com uma força centrípeta numa órbita de raio r . A velocidade v depende da tensão de aceleração U do canhão de elétrons, e para a carga específica do elétron é válida a seguinte equação:

$$\frac{e}{m} = 2 \cdot U / (r \cdot B)^2 \quad (1)$$

O campo magnético B é criado num par de bobinas de Helmholtz, sendo proporcional à corrente I_H através de uma só bobina. O fator de proporcionalidade k pode ser calculado a partir do raio da bobina $R=147,5 \text{ mm}$ e do número de espiras $N=124$ por bobina. Com isso, todas as grandezas determinantes para a carga específica do elétron são conhecidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida em uma turma que estava cursando a disciplina Eletricidade e Magnetismo II, componente curricular do curso de Licenciatura em Física de uma instituição de ensino superior localizada no município de Tianguá-CE. A escolha desse público-alvo se deu pelo fato de que alguns conceitos abordados durante o desenvolvimento da temática já haviam sido estudados pelos alunos em aulas anteriores.

A etapa inicial foi realizada através de um embasamento teórico sobre os conceitos que envolvem a determinação da razão carga-massa do elétron, com o objetivo de elaborar estratégias para trabalhar a temática do campo magnético de forma atrativa e diferente, devido à má percepção dos alunos, já que se trata de um assunto um tanto abstrato. O conteúdo foi ministrado em sala de aula e teve duração de duas horas/aula.

A segunda etapa aconteceu no laboratório de Física. Devido à turma ter 18 estudantes no total, foi separada em duas equipes para a aula prática, pois não ficaria propício um número avançado de alunos estar no laboratório, tanto pelo fato de ter apenas um equipamento como pelo espaço. A primeira equipe, composta por dez alunos, se direcionou até o local para a realização da prática, onde foi apresentada a proposta e foram distribuídos roteiros (Apêndice A¹), para que eles tivessem uma base do que estavam prestes a presenciar, ou seja, o que eles já haviam visto na teoria, agora seria possível ver na prática. O mesmo foi feito com a outra equipe, de oito integrantes, na aula seguinte. Vale ressaltar que as aulas tiveram duração de duas horas/aula, e a realização do experimento se deu em aulas diferentes.

Este estudo é de caráter qualitativo, com a finalidade de gerar melhorias nas práticas do professor e na aprendizagem dos participantes. Para a coleta de dados, recorreu-se a observações diretas e a questionários utilizando a escala Likert, a fim de extrair *insights* qualitativos de uma pergunta estruturada de forma quantitativa.

O levantamento de dados e opiniões foi realizado com utilização de um formulário Google, o qual facilitou o processo de avaliação. O formulário construído (Apêndice B) foi enviado por e-mail para todos os participantes e, quando preenchido pelos respondentes, as respostas apareciam imediatamente na página, o que possibilitava a coleta de resultados da pesquisa.

¹ Apêndices disponíveis no link: Apêndices do Capítulo.pdf

O objetivo dessa atividade foi mostrar o que acontecia com o feixe de elétrons ao aplicar um determinado valor para a corrente, ao mudar os valores do raio e ao fixar a tensão, algo que para eles era muito abstrato. O tema específico da atividade proposta foi “relação carga-massa do elétron”, que incluía todos os conceitos já vistos em sala. Para determinar essa relação, é necessário ter dados da corrente, da tensão, do raio e do campo magnético.

Para que os alunos se tornem realmente experimentadores, sejam ativos durante a experimentação e construam seu saberativamente, é preciso propor objetivos conceituais e procedurais. Dessa forma, como o equipamento era de manuseio fácil, o roteiro serviu para norteá-los passo a passo para a conclusão da atividade. Um trabalho feito em conjunto (Figura 1), no qual a leitura de cada etapa da montagem da bobina foi feita pelos alunos, com um orientador intervindo e tirando dúvidas sempre que precisassem. Por fim, analisaram o fenômeno que estava acontecendo como prova do que já havia sido visto em sala de aula e anotaram os dados para a elaboração do relatório final.

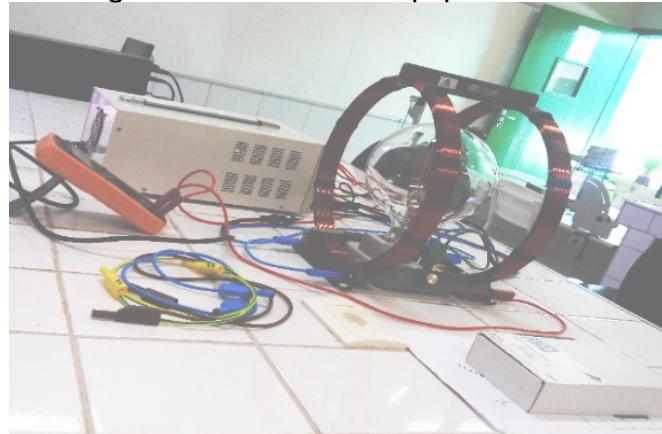
Figura 1 – Alunos realizando o experimento.



Fonte: próprios autores, 2018.

O experimento do cálculo da razão carga-massa do elétron com uma bobina de Helmholtz (Figura 2) foi utilizado como agente motivador e como forma de comprovar o que foi estudado em aulas teóricas.

Figura 2 – Material e equipamentos.



Fonte: próprios autores, 2018.

Elevando a corrente de bobina I_H através das bobinas de Helmholtz, os alunos puderam verificar o feixe de elétrons. Foi pedido que eles manuseassem de tal maneira até observar se o feixe estava curvado para cima, obtendo-se assim um percurso circular fechado (Figura 3).

Figura 3 – Bobina de Helmholtz ligada.



Fonte: próprios autores, 2018.

O experimento era composto de duas bobinas, cada uma contendo 124 espiras e um tubo de vidro sob uma base de conexão. Esse tubo, chamado tubo de raio de feixe estreito, era constituído de fontes de alimentação e continha um gás, que possibilitava ver a trajetória dos elétrons, já que a eletricidade é usada para excitar os átomos do gás dentro do mesmo, provocando o efeito visto pelos alunos, ou seja, o caminho que o elétron percorre. Os principais objetivos eram propiciar aos alunos o conhecimento de um sistema para produção de campos magnéticos estáveis e medir a razão carga-massa do elétron (e/m).

A avaliação sobre as vantagens dessa proposta de atividade para o ensino do eletromagnetismo, a fim de investigar se a prática realizada foi relevante para o aprendizado, se deu, como dito, através de um questionário feito em formulário do Google, utilizando uma escala Likert. Analisar um trabalho dessa forma é bem mais prático, visto que se trata de uma das metodologias mais populares e, consequentemente, mais indicadas para realizar pesquisas de opinião. Questões construídas a partir da escala Likert apresentam uma afirmação autodescritiva e oferecem como opção de resposta uma escala de pontos com descrições verbais que contemplam extremos, como “concordo totalmente” e “discordo totalmente”.

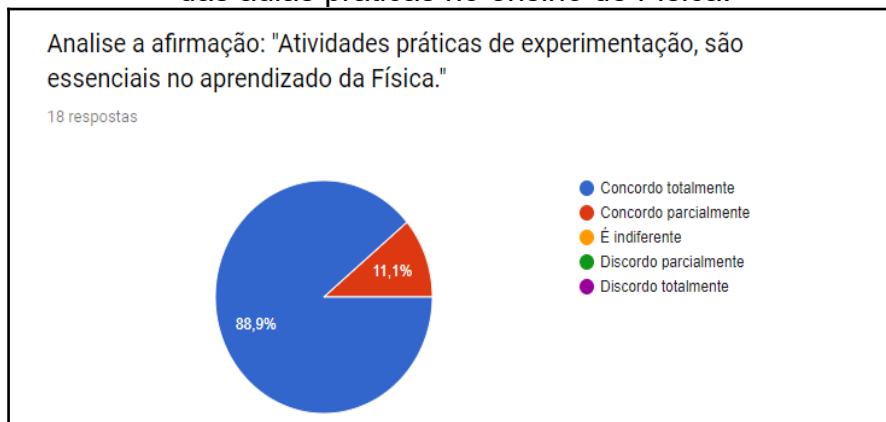
A escala Likert mede as atitudes e o grau de conformidade do respondente com uma questão ou afirmação e costuma ser apresentada como uma espécie de tabela de classificação. Afirmativas são apresentadas e o respondente é convidado a emitir o seu grau de concordância. Isso facilita a pesquisa, proporcionando ao aluno marcar, na escala, a resposta que mais traduz sua opinião, fazendo com que haja uma investigação satisfatória dos resultados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, será descrita a análise do questionário que foi elaborado usando-se a escala Likert, respondido pelos alunos após a realização da prática pedagógica. Também trazemos relatos da contribuição do experimento em relação ao ensino-aprendizagem dos sujeitos de pesquisa.

O primeiro tópico do questionário era uma afirmativa que dizia o seguinte: “Atividades práticas de experimentação são essenciais no aprendizado da Física”. Para que os alunos respondessem, foram dadas cinco alternativas: “concordo totalmente”, “concordo parcialmente”, “é indiferente”, “discordo parcialmente”, “discordo totalmente” (Gráfico 1):

Gráfico 1 – Análise da opinião dos discentes em relação à importância das aulas práticas no ensino de Física.

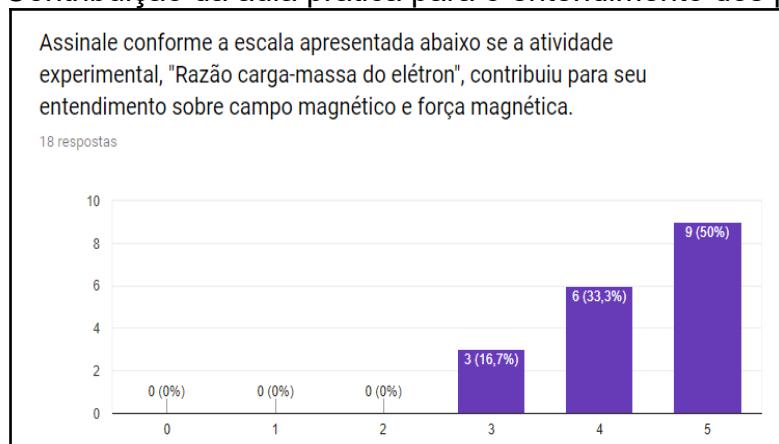


Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Isso nos leva a refletir sobre a importância da realização de aulas práticas como um estímulo a mais para a aprendizagem dos discentes, visto que eles assinalaram apenas duas opções das cinco que foram dadas (“concordo totalmente” e “concordo parcialmente”). Ou seja, essa metodologia é um ótimo complemento à teoria e uma forma de sair do tradicionalismo, mudando, assim, a visão dos alunos de que a Física é insignificante.

No segundo tópico, sobre a contribuição da atividade proposta para o entendimento dos participantes, pediu-se o seguinte: “Assinale conforme a escala apresentada abaixo se a atividade experimental ‘Razão carga-massa do elétron’ contribuiu para seu entendimento sobre campo magnético e força magnética” (Gráfico 2):

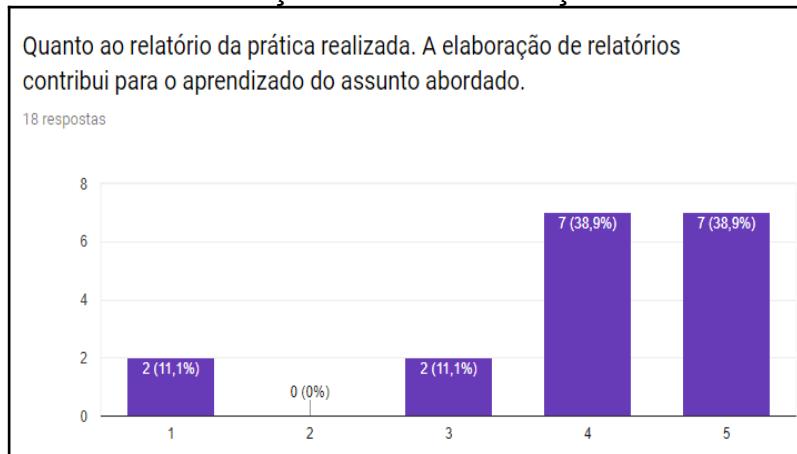
Gráfico 2 – Contribuição da aula prática para o entendimento dos participantes.



Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Na terceira afirmação, que seguiu o mesmo método da anterior, afirmou-se: “Quanto ao relatório da prática realizada, a elaboração de relatórios contribui para o aprendizado do assunto abordado” (Gráfico 3):

Gráfico 3 – Declaração sobre a elaboração dos relatórios.

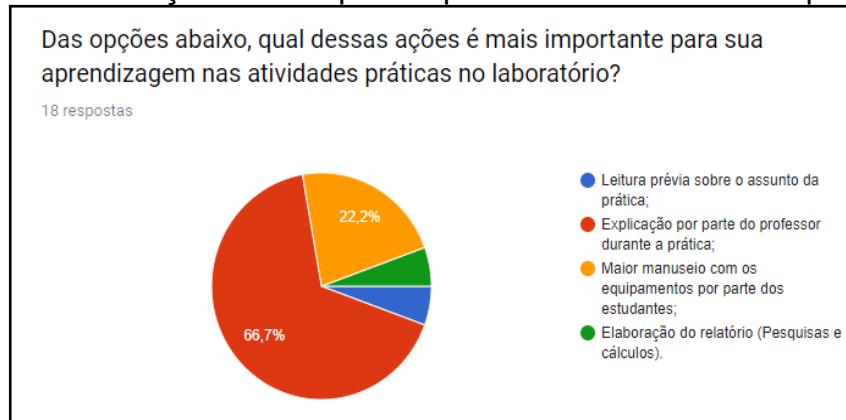


Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Analisando os Gráficos 2 e 3, temos a convicção de que a prática pedagógica contribuiu significativamente para a aprendizagem, tanto para o entendimento sobre campo magnético e força magnética quanto para a elaboração dos relatórios. Por se tratar de um assunto um pouco complicado de compreender, e nem todos compreenderem no mesmo ritmo, o resultado obtido foi satisfatório.

Na quarta questão, foi perguntado: “Das opções abaixo, qual dessas ações é mais importante para sua aprendizagem nas atividades práticas no laboratório?” Foram listadas quatro opções: leitura prévia sobre o assunto da prática, explicação por parte do professor durante a prática, maior manuseio com os equipamentos por parte dos estudantes, elaboração do relatório (Gráfico 4):

Gráfico 4 – Contribuição da aula prática para o entendimento dos participantes.



Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Os alunos deram maior ênfase à explicação por parte do professor durante a prática, e alguns ao maior manuseio dos equipamentos por parte dos estudantes, o que mostra a necessidade do professor orientando-os e explicando-lhes os fenômenos que regem tal atividade. Para o aluno ser independente nas atividades práticas em um laboratório, é preciso ter engajamento, como também um conhecimento amplo a respeito dos experimentos. Mesmo seguindo o roteiro, a presença do docente se faz necessária.

Em relação aos assuntos que cercam o tema (razão carga-massa do elétron), perguntou-se a eles: “Quais os conceitos que foram melhor assimilados por você durante e após a prática?”, com as seguintes alternativas: diferença de potencial, corrente elétrica, campo magnético, força magnética e regra da mão direita (Gráfico 5):

Gráfico 5 – Sondagem em relação ao entendimento antes e após a prática.



Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Neste questionamento foram assinaladas todas as opções, mas a maior parte marcou corrente elétrica e campo magnético. Assimilar esses dois conceitos durante a prática foi fundamental, pois, na teoria, a explicação de que um campo elétrico em um sistema de referência pode ser observado como uma combinação de um campo elétrico e um campo magnético em um sistema de referência em movimento em relação ao mesmo se torna um tanto abstrata.

Dessa forma, ao observarem um sistema de produção de campos magnéticos estáveis e todos os fatores que compõem este experimento, os estudantes relacionaram todo o assunto que abrange este tema, podendo, assim, ter um maior interesse em compreender tais conceitos.

Por último, foi requerido aos alunos: “Dê sua opinião sobre a atividade prática realizada no laboratório, sobre a determinação da razão carga-massa do elétron.” Dentre as diversas opiniões, os resultados obtidos para essa proposta de atividade prática no ensino do eletromagnetismo foram razoáveis, mostrando esse método como um importante mediador para melhor compreensão de atividades abstratas, por exemplo, as do ensino da Física, proporcionando melhor entendimento por parte dos alunos, fazendo uma analogia entre atividades teóricas e atividades práticas.

Um dos alunos respondeu:

A prática realizada foi muito importante para o nosso conhecimento, pois nos proporcionou a conhecer um sistema para produção de campos magnéticos estáveis, que é conhecida bobinas de Helmholtz e a realização foi muito propício para a compreensão do mesmo.

Outro aluno respondeu:

Foi muito produtivo, por permitir observar a aplicação prática de conhecimentos teóricos estudados em sala.

Outra resposta interessante dizia o seguinte:

Os fenômenos físicos estão muito relacionados e numa mesma atividade podemos verificar a atuação de diferentes grandezas físicas. É por isso que a prática é tão importante.

A última resposta destaca a relação que os fenômenos físicos têm uns com os outros. Ao estudar um experimento com foco em um determinado conteúdo, eles veem que não envolve apenas o que estava sendo estudado, existe uma relação com outros assuntos que já foram vistos ou que ainda serão vistos, como no caso do experimento da razão carga-massa do elétron. Além de determinar essa razão, eles puderam compreender a regra da mão direita, a diferença de potencial, a corrente elétrica, o campo magnético e a força magnética.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como finalidade fazer uma sondagem sobre o uso de atividades práticas no ensino da Física, em especial no eletromagnetismo, cujo desenvolvimento foi baseado na realização de experimento para a determinação da razão carga-massa do elétron utilizando-se a bobina de Helmholtz, no intuito de propiciar uma atividade mais significativa.

Fazendo uma análise geral, no ensino de Física, a falta de motivação dos alunos pode ser suprida adotando-se estratégias diferentes capazes de torná-los cidadãos críticos, curiosos, e não apenas meros receptores de conteúdos insignificantes.

Diante do que foi visto, o uso de experimentos em sala de aula se faz cada vez mais necessário para o ambiente de ensino e aprendizagem. Portanto, as expectativas foram alcançadas, o conteúdo foi assimilado, as informações dadas foram anexadas à memória de longo prazo, que geralmente são codificadas conforme o seu grau de significância. Esta abordagem alternativa é viável e capaz de permitir que uma discussão qualitativamente mais adequada dos temas estudados seja realizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, C. C. Metodologias ativas. *In: BASTOS, C. C. Blog Educação & Medicina*. Goiânia. 24 fev. 2006. Disponível em: <<http://educacaoemedicina.blogspot.com/2006/02/metodologias-ativas.html>>. Acesso em: 7 set. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: MEC, 1999. (Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias). Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2018.

CAPELETTO, A. **Biologia e Educação Ambiental**: roteiros de trabalho. Editora Ática, 1992. p. 224.

OLIVEIRA, Aline. Entenda a escala Likert e como aplicá-la em sua pesquisa. **MindMiners Blog**. [s.l.] 28 ago. 2013. Disponível em: < <https://mindminers.com/pesquisas/entenda-o-que-e-escala-likert> >. Acesso em: 15 ago. 2018.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A. Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de Física. *In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC*, 4., 2004.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física. Eletromagnetismo**. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

LIMA, M. E. C. C.; JÚNIOR, O. G. A.; BRAGA, S. A. M. **Aprender ciências: um mundo de materiais**. [edição]. Belo Horizonte: UFMG, 1999.

MEDEIROS, A. **Docência na socioeducação**. Ed. 1 Brasília: Universidade de Brasília – Campus Planaltina, 2014.

MOREIRA, A. M. O Ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 13, p. 97-103, dez. 1991.

PENA, F. L. A.; RIBEIRO FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 8, n. 10, [p. 1-17], 2008.

PEREIRA, R. Método Ativo: Técnicas de Problematização da Realidade aplicada à Educação Básica e ao Ensino Superior. *In: COLÓQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE*, 6., 2012. São Cristóvão. **Anais**. São Paulo. 2012.

PEREIRA, M. V.; MOREIRA, M. C. A. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p265>. Acesso em: 7 set. 2018.

SANTOS, C. S. **Ensino de ciências: abordagem histórico-crítica**. 1. ed. Campinas: Autores Associados, 2005.

SILVA, L. C.; SANTOS, W. M.; DIAS, P. M.; GASPAR, M. B. **Determinação da razão carga/massa do elétron com enfoque histórico-experimental para o ensino médio**. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/anais/2009snef/WilmaPenhaMarcosT0287-1.pdf. Acesso em 28 de ago. 2018.

SILVA, L. H. A.; ZANON, L. B. **Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens**. 1. ed. São Paulo: UNIMEP, 2000.

CAPÍTULO 7

APLICATIVO NEARPOD: UMA PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA PARA OS DOCENTES DE CIÊNCIAS NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Francisco Braiam da Silva Gomes
Egresso do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: gomesbraiam1@gmail.com

Alex de Oliveira Silva
Professor do IFCE *campus* Acopiara
E-mail: alex.oliveira@ifce.edu.br

Carlos Walkyson Assunção Silva
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: carlos.silva@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A introdução das tecnologias digitais na educação tem ampliado as possibilidades de pesquisa, comunicação e divulgação do conhecimento (Moran, 2013). Nesse cenário, surge a questão: qual a relevância do aplicativo Nearpod como recurso metodológico no ensino de Ciências no ambiente escolar?

O presente estudo tem como objetivo geral incentivar docentes do ensino fundamental a utilizarem o Nearpod como ferramenta pedagógica, propondo alternativas que superem o uso exclusivo da lousa e do quadro. Especificamente, busca: a) apresentar uma proposta didática interativa; b) avaliar a acessibilidade do aplicativo; c) verificar o domínio dos professores sobre a ferramenta; d) estimular práticas inovadoras alinhadas às Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs).

A intervenção foi realizada em uma escola do município de São Benedito (CE), onde os docentes participaram de capacitação para integrar o aplicativo à sua prática pedagógica, em consonância com a BNCC, que orienta o uso crítico e ético das TDICs no ensino de Ciências.

Considerando que a integração de linguagens e tecnologias constitui um pilar da educação contemporânea, a pesquisa partiu da hipótese de que o Nearpod pode aprimorar o planejamento das aulas, promover metodologias ativas e fortalecer o protagonismo dos

estudantes, configurando-se como alternativa significativa para a formação docente e para a aprendizagem em Ciências.

REFERENCIAL TEÓRICO

A reflexão sobre a composição dos saberes docentes permite discutir a implementação das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) como elemento central na construção da identidade docente e do conhecimento. Nesse contexto, torna-se relevante abordar as metodologias ativas e a utilização do aplicativo Nearpod no processo educacional.

A formação de professores de Ciências no Brasil

No Brasil, no âmbito do ensino fundamental, na disciplina de Ciências, misturam-se a Física, a Química e a Biologia, ministradas a um só tempo dentro da matriz escolar, não havendo, de modo geral, separação entre elas. Sendo assim:

Uma primeira pergunta que devemos nos fazer, ao enfrentar a tarefa de planejar a disciplina Ciências no ensino fundamental é a de refletir sobre as razões que justificam sua presença no currículo. Elas não são óbvias, tampouco consensuais, e estão intimamente ligadas à maneira como concebemos ciências como a física, a química, a biologia e as geociências [sic] (Bizzo, 2012, p. 113).

Diante desse fato, a licenciatura em qualquer uma das ciências habilita o professor a ministrar aulas de diferentes conteúdos. Nesse momento, é importante o reconhecimento docente acerca da interdisciplinaridade que essa disciplina exige. Carvalho e Gil-Pérez (1993, p. 26) declaram:

A formação dos professores deveria assim incluir experiências de tratamento de novos domínios, para os quais não se possui, logo de entrada, a formação científica requerida. Trata-se de uma situação que se apresenta repetidamente ao longo de sua vida profissional e para qual se requer também uma preparação, tão importante ou mais que um estudo em profundidade de alguns domínios concretos (necessariamente limitados).

Ainda sob esse enfoque, é importante que o professor reúna múltiplas habilidades no decurso da formação com a finalidade de lograr êxito no desenvolvimento de várias dimensões da formação humana e profissional. As Diretrizes Curriculares Nacionais para a

Formação Inicial de Professores (Brasil, 2019) reforçam a necessidade de desenvolver competências gerais da BNCC, contemplando aspectos intelectuais, culturais e sociais. Assim, a formação docente precisa articular saberes técnicos e pedagógicos, valorizando também emoção e sociabilidade.

Para Pimenta (1999, p. 32), “a formação é, na verdade, autoformação”, reelaborada a partir da prática. Freire (1996) lembra que é preciso resistir aos “desvios fáceis”, assumindo a complexidade da docência. Nesse sentido, a Resolução CNE/CP nº 2/2015 comprehende a docência como ação intencional e interdisciplinar, que envolve valores éticos, estéticos e políticos (Brasil, 2015).

Contudo, muitas salas de aula ainda reproduzem métodos tradicionais, gerando desmotivação dos estudantes. Para Camargo e Daros (2018), o ensino centrado apenas no professor é fonte de insatisfações. Assim, a incorporação de TDICs deve ir além da simples transposição de práticas antigas, estimulando curiosidade, interação e colaboração.

Metodologias ativas e TDICs no ensino de Ciências: o uso do Nearpod como recurso pedagógico

As metodologias ativas buscam estimular autonomia e pensamento crítico, favorecendo a autoaprendizagem. Moran (2018) lembra que os processos de aprendizagem são múltiplos e híbridos, envolvendo tanto espaços formais quanto informais. Nesse cenário, crianças e jovens conectados às tecnologias digitais exigem transformações pedagógicas (Bacich; Tanzi Neto; Trevisani, 2015).

O ensino ativo requer clareza de objetivos e práticas que incentivem debate, hipóteses e reflexão (Camargo; Daros, 2018). Carvalho e Gil-Pérez (1993) destacam que preparar programas de atividades é prioridade, evitando improvisações sem coerência. Para Bizzo (2002), a experimentação é essencial no ensino de Ciências, mas não garante sozinha a aprendizagem, exigindo planejamento adequado.

Bacich (2018, p. 249) ressalta que o professor precisa tornar-se proficiente no uso das tecnologias digitais, integrando-as ao currículo para obter melhores resultados. Nesse sentido, a tecnologia, quando usada criticamente, amplia possibilidades de aprendizagem ativa e protagonismo estudantil. Camargo e Daros (2018) reforçam que cabe ao docente selecionar inovações e estratégias úteis, incorporando-as à prática com intencionalidade pedagógica.

As TDICs, ao integrarem modalidades síncronas e assíncronas, potencializam o ensino híbrido, aproveitando “o melhor dos dois mundos” (Bacich; Tanzi Neto; Trevisani, 2015, p. 44). Segundo Bizzo (2012), a prática docente em Ciências articula três dimensões: epistemológica, institucional e humana. Isso implica compreender o papel da ciência, seus métodos e conhecimentos.

O acesso a informações *on-line* amplia a criticidade e a interação dos alunos, exigindo análise cuidadosa das fontes (Kenski, 2003). Assim, as TDICs tornam-se essenciais para diversificar métodos e atender a diferentes contextos escolares, ampliando o alcance da aprendizagem científica.

Entre as ferramentas digitais, o Nearpod destaca-se por oferecer recursos interativos gratuitos, como *slides* e atividades síncronas ou assíncronas. Para Serafim e Sousa (2011, p. 27), “a multimídia interativa permite uma exploração profunda devido a sua dimensão não linear”. O aplicativo pode ser usado em sala de aula ou em casa, inserindo-se no contexto de *blended learning*.

Sua aplicação favorece a aprendizagem ativa, permitindo a personalização do ensino e o protagonismo dos estudantes. Como afirmam Camargo e Daros (2018), as novas tecnologias devem ser usadas de forma criativa e crítica, adaptadas às necessidades de cada conteúdo. Assim, o Nearpod amplia possibilidades didáticas e fortalece a centralidade do aluno no processo educativo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A condução metodológica desta pesquisa foi orientada através dos pensamentos de Marconi e Lakatos (2003) e Gil (2010). Dessa maneira, o âmago do presente trabalho figura em torno dos procedimentos técnicos de um estudo de caso com uma abordagem qualitativa. Compreende-se que “o estudo de caso não é uma técnica específica, mas uma análise holística, a mais completa possível, que considera a unidade social estudada como um todo seja um indivíduo, uma família, uma instituição ou uma comunidade, com o objetivo de compreendê-los em seus próprios termos” (Goldenberg, 2011, p. 33).

Sugeriu-se a implementação de uma plataforma digital no ensino de Ciências por parte dos docentes que ministram essa disciplina em uma escola municipal de São Benedito-CE. A explanação foi dividida em dois momentos. O primeiro, de maneira virtual e síncrona, aconteceu com a finalidade de apresentar a plataforma de modo geral, ou seja, foi executada, passo a passo, a maneira de acessar a plataforma/aplicativo. A segunda parte,

assíncrona, foi feita através de uma coleta de dados por meio de um formulário *on-line* no Google Forms, no qual foram detalhados questionamentos objetivos e subjetivos.

O Nearpod tem o objetivo principal de preparar apresentações dinâmicas e interativas de *slides*, além de promover a interpolação de vários elementos que poderão agir como estimuladores para o ensino-aprendizagem. Portanto, foram expressas aos professores presentes na reunião essas valias através de um passo a passo, isto é, um sistema de orientação sobre o aplicativo. A coleta de dados ocorreu com os quatro professores que ministram a disciplina de Ciências em diferentes turmas.

É importante ressaltar que, em razão da disponibilidade dos entrevistados, o formato da apresentação da plataforma/aplicativo Nearpod aconteceu *on-line*, através do Google Meet. Nesse cenário, a coleta de dados também precisou acontecer nesse formato, através de um formulário eletrônico elaborado dentro do Google Forms. Acerca da valia da plataforma de recolhimento de informações, os autores Kretschmer, Marin e Tolomini (2021, p 107) declararam que “é uma plataforma gratuita, do grupo Google, que permite a coleta de dados de forma online e que apresenta os resultados e análises de forma automática”.

Nessa perspectiva, foi necessário informar aos professores que as atividades desenvolvidas por eles poderiam ser aplicadas no momento da aula, por meio dos *smartphones* dos alunos ou em laboratórios com *tablets/computadores* fornecidos pela instituição em que trabalham. Quanto aos compromissos de casa, bastava que os alunos tivessem um dispositivo com acesso à internet.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

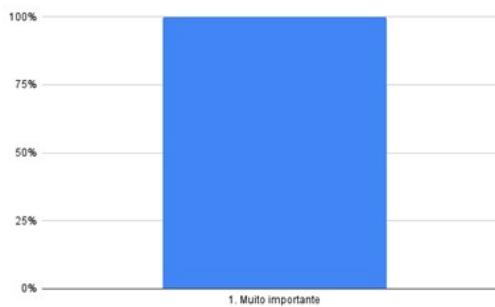
Sobre a estrutura do questionário, é importante ressaltar que foram organizadas cinco questões. As quatro primeiras foram sistematizadas em múltipla escolha e a última assumiu uma essência mais subjetiva, a partir de uma indagação que possibilitou um entendimento mais elaborado sobre conceitos, opiniões e reflexões próprias de cada entrevistado.

Gil (2010, p. 119) afirma que “o formulário enquanto técnica de coleta de dados situa-se entre o questionário e a entrevista.” Sendo assim, sua adequada aplicação exige que se considerem as recomendações referentes tanto à elaboração do questionário quanto à condição da entrevista.

Portanto, depois de aplicar o questionário e mensurar os resultados, foi possível inferir que o aplicativo pode ser utilizado como um método alternativo às técnicas mais usuais deste tipo de aplicação de perguntas. Nesse sentido, foi necessário realizar a pergunta sobre a

importância das metodologias ativas, considerando seu uso e familiaridade no ensino de Ciências (Gráfico 1), pois, mesmo que a tecnologia e as novas metodologias já estejam avançadas, ainda há profissionais da educação que não estão atentos a elas ou não as utilizam.

Gráfico 1 – Respostas sobre a importância das metodologias ativas, considerando o uso e a familiaridade no ensino de Ciências, em uma escala de 1 a 4.



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

Conforme as respostas à primeira questão elucidam, há uma preocupação dos professores na inserção de técnicas que permitam ao aluno encarar a jornada educativa de modo ativo, essencialmente no cenário do ensino de Ciências. Nessa perspectiva:

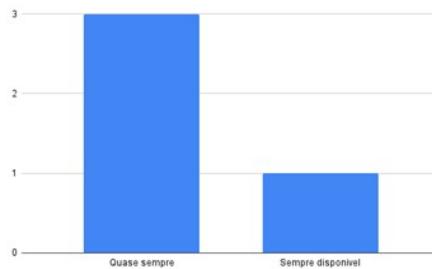
A aprendizagem é mais significativa quando motivamos os alunos intimamente, quando eles acham sentido nas atividades que propomos, quando consultamos suas motivações profundas, quando se engajam em projetos para os quais trazem contribuições, quando há diálogo sobre as atividades e a forma de realizá-las (Moran, 2018, p. 43).

Segundo Freire (1996), o docente que não tem respeito à própria formação, que não procura estudar e pesquisar ou que possui um ânimo lastimável em relação ao comprometimento profissional é rejeitado de forma moral ao conduzir a sala de aula. Acerca da necessidade de inovar dentro da prática docente e quais as motivações para isso, é importante considerar a ideia de que

Inovar acarreta uma nova prática educacional com finalidade bem estabelecida, mas é necessário que essas mudanças partam de questionamento das finalidades da própria experiência educacional como aspecto promotor da reflexão-ação docente, ou seja, a inovação como um processo, e não como um fim em si mesma (Carmargo; Daros, 2018, p. 30).

Foi de suma importância realizar a pergunta em relação à disponibilidade para o uso de tecnologias dentro da escola (Gráfico 2), no intuito de utilizar o aplicativo Nearpod, uma vez que, mesmo com todas as mudanças da tecnologia, ainda há escolas, principalmente municipais, que não possuem recursos tecnológicos disponíveis a todos.

Gráfico 2 – Respostas sobre a disponibilidade para uso de recursos tecnológicos (*tablets*, *smartphones*, projetores) na escola em que ministram aula de Ciências.



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

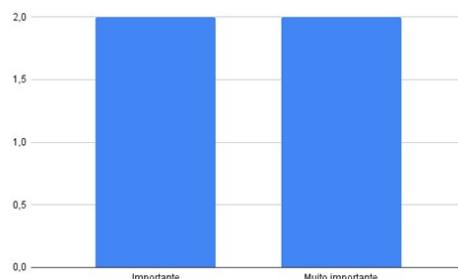
Quanto às informações recebidas através do formulário na segunda pergunta, foi possível inferir que, diante de perspectivas que exprimem a importância das tecnologias digitais de informação e comunicação dentro da sala de aula, a escola não enfrenta tantas dificuldades em providenciar tais ferramentas, algo que condiz com Kenski (2003, p. 73), ao observar que

As instituições escolares de todos os níveis, com a adoção dos pressupostos da cultura informática, não se veem mais como sistemas isolados, refratários a qualquer vínculo com as demais instituições sociais. Ao contrário, a utilização das múltiplas formas de interação e comunicação via redes amplia as áreas de atuação das escolas, colocando-as em um plano de intercâmbios e de cooperação internacional real, com instituições educacionais, culturais e outras que sejam de seu interesse.

As respostas também elucidam que a disponibilidade desses recursos pedagógicos na escola pode facilitar a organização do professor, visto que é possível combinar elementos como jogos interativos entre os estudantes ou disponibilização do conteúdo de maneira prévia, na intenção de realizar a metodologia de sala de aula invertida. Portanto, o uso dessas ferramentas tecnológicas, junto de um método que promova a socialização no interior da prática educativa, serve de base para criar um ambiente propício ao desenvolvimento da aprendizagem.

Também foi perguntado sobre a utilidade dos aplicativos no processo de ensino-aprendizagem, conforme o Gráfico 3:

Gráfico 3 – Respostas dos professores entrevistados sobre a utilidade de aplicativos para uma boa ação de ensino-aprendizagem.



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

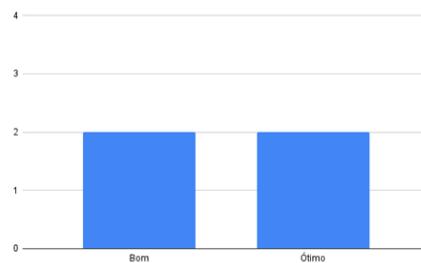
A terceira questão fez aos entrevistados uma indagação em relação às TDICs, isto é, sobre a serventia dessas ferramentas dentro da relação educativa e em especial sobre os aplicativos que geralmente são abordados através de *M-learning* (processo de aprendizagem por meio de dispositivos eletrônicos móveis). Dessa forma, a interpretação das respostas revela que todos consideram de grande valia a inserção desse tipo de método, visto que 50% respondeu considerá-lo “muito importante” e 50%, “importante”.

Sobre o cenário de introduzir nas aulas outras abordagens, como o ensino com a presença de *apps*, as conclusões oriundas do Gráfico 3 corroboram a visão de que o docente planeja a inserção dessa técnica de ensino, já que aplicativos e plataformas de áudio e vídeo fazem parte da realidade desses estudantes. Assim, a consideração sobre a importância da tecnologia dentro da educação torna-se relevante.

Quando pensamos sobre a forma como os estudantes podem fazer uso das tecnologias digitais como fonte de informações e recurso para construção de conhecimentos, é importante a reflexão sobre o que é solicitado deles como tarefas de aprendizagem. As propostas feitas pelos professores devem ser objeto de reflexão para esses estudantes (Bacich, 2018, p. 254).

Acerca desse pensamento, foi de extrema importância perguntar aos entrevistados sobre a classificação do Nearpod em relação a temas como aplicabilidade, interação e planejamento (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Classificação do Nearpod em relação a temas como aplicabilidade, interação e planejamento.



Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

Conforme o gráfico acima, é possível declarar que, após a explanação do funcionamento e objetivo pedagógico do Nearpod durante o encontro realizado com os docentes, eles conseguiram compreender as funcionalidades e as formas de introduzir o *app* em sala de aula como metodologia ativa.

Para Camargo e Daros (2018, p. 46), as metodologias ativas de aprendizagem estão alicerçadas na autonomia, no protagonismo do aluno, já que elas “têm como foco o desenvolvimento de competências e habilidades, com base na aprendizagem colaborativa e na interdisciplinaridade”. O Nearpod pode ser utilizado como uma forma ativa de aprendizagem, pois permite transdisciplinaridade e que o aluno seja o ator principal na assimilação de conteúdos, a fim de que desenvolva competências como pensamento crítico e reflexão diante das situações que o docente pode apresentar.

Ainda na apreciação das respostas, verificou-se que, além das facilidades de uso, o aplicativo possibilita a interação dos alunos, sob diferentes perspectivas, ora quando analisam os conteúdos, ora quando desenvolvem atividades em duplas, grupos ou até mesmo de forma individual.

As atividades educacionais desenvolvidas nas comunidades em rede possibilitam também articulações interinstitucionais e a integração dos aprendizes com profissionais de outros setores produtivos vinculados às suas especialidades e com outras organizações sociais. Essas facilidades tecnológicas tornam possíveis novas formas operacionais de oferecimento de disciplinas e atividades de aprendizagem contínua, garantindo a atualização permanente do cidadão e do trabalhador (Kenski, 2003, p. 80).

Concluindo o questionário que aqui estamos analisando, foi solicitado aos professores um retorno sobre a utilização do aplicativo Nearpod no contexto da sala de aula e o

respectivo impacto na aprendizagem dos estudantes na disciplina de Ciências. Alguns desses *feedbacks* estão apresentados no Quadro 1 como resultados analisados:

Quadro 1 – Respostas discursivas sobre o aplicativo Nearpod em relação ao uso em sala de aula e ao impacto da aprendizagem dos alunos.

Professor 1	“Ajuda nas pesquisas e estimula o aprendizado dos alunos”.
Professor 2	“Excelente, pois traz a informação com mais praticidade, proporcionando, assim, um avanço na aprendizagem”.
Professor 3	“É interessante, pois pode-se explorar diversas formas de conteúdos e atividades”.
Professor 4	“A habilidade de se adaptar a novas realidades é algo imprescindível para um bom profissional da educação. Atualmente, não se pode falar de educação sem falar de metodologias ativas, protagonismo estudantil e TICs. O uso de aplicativos é uma das saídas para englobar educação e tecnologia e o app Nearpod é uma ótima saída para isso. Ele é interativo, prático e deixa a aula mais dinâmica e interessante. Além de prender a atenção dos alunos, ajuda o docente a inserir a tecnologia de forma prática nas duas aulas”.

Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

A análise dos retornos dos professores sobre o aplicativo Nearpod ratifica que este pode ser utilizado como um recurso metodológico alternativo a fim de expandir as formas e métodos de planejamento, apresentação das aulas e até mesmo de verificação da aprendizagem.

Bizzo (2002, p. 54) afirma que

O grande objetivo a ser perseguido pelo professor não é simplesmente ilustrar com diferentes repertórios o que os alunos podem saber sobre o mundo que os cerca. O professor deve trabalhar aspectos centrais em suas aulas [...], e possibilitar que seus alunos reconheçam diferentes aplicações em diferentes contextos.

Dessa forma, através do encontro virtual e por meio do questionário de aplicação aos professores, foi consensual que o Nearpod possui uma gama de diversidades que podem vir a facilitar diversos âmbitos, seja em relação à forma de apresentar um método ativo de aprendizagem ou à viabilização de um planejamento personalizado assentado em estímulos diversificados como formas diferentes de expor conteúdos ou promover atividades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho, foi possível constatar que, para os professores da instituição analisada, existe uma preocupação em viabilizar diferentes meios para que os alunos consigam progredir intelectualmente. O encontro virtual promovido e as respostas obtidas através do questionário revelaram informações importantes sobre a serventia de *softwares* dentro das práticas desenvolvidas por cada um, com as nuances do núcleo acadêmico em que estão inseridos.

Ainda nesse cenário, os professores visam à utilização de outras formas de ministrar aulas, como aprendizagens ativas, e entendem que é preciso adequar-se às mudanças impostas por fatores geracionais e educativos. Em relação à acessibilidade de recursos tecnológicos dentro da instituição, estes são disponibilizados apenas eventualmente e de acordo com a necessidade dos professores. Isto posto, os mesmos têm a perspectiva de que é preciso inserir elementos característicos da realidade vivenciada pelos estudantes e consideram que a presença de aplicativos no interior da prática educativa é uma estratégia interessante.

Sobre a análise da plataforma em questão, os entrevistados compreenderam as funcionalidades do aplicativos de modo geral, bem como as possibilidades de serventia. Em relação a temas como a facilidade de manuseio, interação dos alunos e inserção dentro da estrutura pedagógica, todos foram considerados de forma positiva.

Já em relação à utilidade do aplicativo no interior da sala de aula, os docentes manifestaram opiniões diversas, mas convergiram na percepção de que *apps* são práticos e podem oferecer oportunidades de explorar conteúdos e realizar atividades.

Por tudo isso, é permitido inferir que, para os docentes da instituição estudada, a inserção do Nearpod é vista como uma expansão das técnicas próprias de cada um. Assim, o aplicativo demonstra ter uma gama de cenários a serem explorados, atuando como uma metodologia ativa de aprendizagem que gera impactos significativos dentro da relação de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUCIO, F. L.; SEGATTO, C. I. **Desafios da profissão docente**: experiência internacional e o caso brasileiro. São Paulo: Moderna, 2021.

ARAÚJO JÚNIOR, C. F. **Tecnologias e aprendizado em dispositivos móveis (m-learning)**. 1 ed. São Paulo: Cruzeiro do Sul Educacional, 2016.

BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. (org.). **Ensino híbrido**: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

BACICH, L. Formação continuada de professores para o uso de metodologias ativas. In: MORAN, J.; BACICH, L. (org.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018. p. 129-152.

BIZZO, N. **Ciências**: fácil ou difícil. São Paulo: Ática, 2002.

BIZZO, N. **Pensamento científico**: a natureza da ciência no ensino fundamental. São Paulo: Melhoramentos, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). **Plano Trienal de Educação (1963-1965)**. Brasília, DF: MEC, 1963. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/me001498.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CP N° 2/2015, de 9 de junho de 2015. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial e Continuada dos Profissionais do Magistério da Educação Básica**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=17625-parecer-cne-cp-2-2015-aprovado-9-junho-2015&category_slug=junho-2015-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 27 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 27 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Resolução CNE/CP 2/2019, de 20 de dezembro de 2019**. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica. Brasília, DF: MEC, 2019. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2019-pdf/135951-rcp002-19/file>. Acesso em: 27 ago. 2023.

CAMARGO, F.; DAROS, T. **A Sala de Aula Inovadora**: estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo. Porto Alegre: Penso, 2018.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de Professores de Ciências**. São Paulo: Cortez, 1993.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. 12. ed. Rio de Janeiro: Record, 2011.

KENSKI, V. M. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. 4. ed. Campinas: Editora Papirus, 2003.

KRETSCHMER, E.; MARIN, J. C; TOLOMINI, J. M. T. Google Forms nas aulas de Ciências da Natureza. In: LUNARDI, L.; RAKOSKI, M. C.; FORIGO, F. M. (org). **Ferramentas digitais para o ensino de Ciências da Natureza**. Bagé: Faith, 2021. p. 107-111.

LINHART, R. **Lenin, os camponeses, Taylor**. Rio de Janeiro: Marco Zero, 1983.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MORAN, E. Educação híbrida: um conceito-chave para a educação, hoje. In: BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. **Ensino Híbrido**: personalização e tecnologia na educação. São Paulo: Penso Editora, 2015. p. 28-45.

MORAN, J. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21. ed. rev. e atual. Campinas: Papirus, 2013.

MORAN, J. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: MORAN, J.; BACICH, L. (org.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.

OLIVEIRA, S.; GUIMARÃES, O. M.; LORENZETTI, L. O enfoque CTS e as concepções de tecnologia de alunos do ensino médio. Alexandria: **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p.121-147, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/1982-5153.2016v9n2p121/32839>. Acesso em: 27 ago. 2023.

PIMENTA, S. G. **Formação de professores**: identidade e saberes da docência. In: PIMENTA, S. G. (org.). Saberes pedagógicos e atividade docente. São Paulo: Cortez, 1999.

SAVIANI, D. Formação de professores: aspectos históricos e teóricos do problema no contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Educação**, Caxambu, v. 14, n. 40, p. 143-155, jan./abr. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/45rkkPghM MjMv3DBX3mTBHm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 ago. 2023.

SERAFIM, M. L.; SOUSA, R. P. Multimídia na educação: o vídeo digital integrado ao contexto escolar. In: SOUSA, R. P.; MOITA, F. M. C. S. C.; CARVALHO, A. B. G. (org.) **Tecnologias digitais na educação**. Campina Grande: EDUEPB, 2011. p. 17-48. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/6pdyn/pdf/sousa-9788578791247.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

CAPÍTULO 8

UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DAS PRINCIPAIS DIFICULDADES DOS CONTEÚDOS DE FÍSICA ATRAVÉS DO OLHAR DISCENTE NO ENSINO MÉDIO

Antonia Vanuza Silva do Nascimento
Egressa do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: vannuzat3@gmail.com

Diana Elizabette Lima do Amaral
Professora do IFCE *campus* Tianguá
E-mail:diana.amaral@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A Física é a ciência que estuda as propriedades e a estrutura dos sistemas da matéria, suas leis fundamentais, os fenômenos e suas causas. Essa ciência passou a ser ensinada como disciplina obrigatória nas escolas, porém a linguagem da Física nem sempre é bem compreendida entre os estudantes, o que pode estar atrelado aos métodos utilizados pelos educadores, que insistem em privilegiar a matematização dessa ciência, dando, assim, uma continuidade a esse raciocínio em vez de promover sua quebra. Toda essa problemática gera uma rotulação da disciplina como de difícil compreensão, sendo corriqueiro ouvir de estudantes “não entendo Física”, causando um déficit na aprendizagem de seu conteúdo.

A melhoria na qualidade do ensino da Física necessita do envolvimento dos docentes, tornando-a mais atrativa, interessante e prática perante os olhos dos discentes. Nóvoa (2017) afirma a necessidade de coragem dos educadores para inovar em seus procedimentos de ensino, pois, se o discente não aprende, o processo de docência não tem significado, ou seja, é fundamental sair da acomodação e diferenciar a práxis pedagógica num contexto de dificuldades de assimilação de conteúdos.

Infelizmente, o ensino de ciências físicas e naturais em nosso país é profundamente afetado por problemas como prática experimental insuficiente, dependência excessiva de materiais didáticos, métodos limitados à exposição de conteúdo, redução das horas de aula, currículo de ensino desatualizado e conteúdo de ensino único. Além disso, existe a falta de laboratórios de ciências, recursos tecnológicos e valorização do professor (Moreira, 2021).

Teoricamente, o “bom aluno” é aquele que consegue lembrar equações, repetir conceitos com precisão sobre as leis e princípios e resolver problemas idênticos ou parecidos com os solucionados pelo professor em classe. Toda essa situação pode causar vários questionamentos, tais como: Será que entenderam a explicação? Será que resolveram a prova de forma consciente? Será que conseguem relacionar o conteúdo com a prática e ver alguma relevância para o seu cotidiano?

Em face de todo esse cenário, a pesquisa tem como objetivo geral analisar as principais dificuldades dos discentes na dinâmica interna da sala de aula, no contexto do componente curricular Física, no ensino médio, e como objetivos específicos: a) realizar uma análise acerca do ensino tradicional; b) analisar a relação didática e as situações de aprendizagem na Física; c) verificar se há na literatura novas tecnologias que possibilitem o melhor aprendizado no ensino da Física.

A pesquisa foi guiada por uma gama de publicações acadêmicas, artigos e livros que compreendem autores conceituados, de forma a entender os pontos que interferem no processo de ensino-aprendizagem da Física, como também obter uma análise crítica da problemática em estudo. Ao final, espera-se que essa análise contribua de maneira relevante para uma compreensão mais profunda sobre as metodologias e recursos que podem ser utilizados na aquisição do conhecimento dos conteúdos ministrados pelos educadores no ensino da Física.

Assim, o trabalho está estruturado em apresentar o referencial teórico, trazendo o contexto histórico do ensino convencional, as metodologias atuais na práxis pedagógica, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o ensino da Física segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais.

REFERENCIAL TEÓRICO

A palavra didática tem origem no grego *didasko*, que significa ensinar ou instruir. Simplificando, didática é a arte de difundir os conhecimentos, a técnica de saber ensinar. O fundador de técnicas de ensino foi Comenius, educador da Europa Central. No século XVII publicou uma obra chamada *Didática Magna: um tratado sobre a arte universal de ensinar tudo a todos*. Para Libâneo (2010, p. 144):

A Didática tem como objeto de estudo o processo de ensino na sua globalidade, isto é, suas finalidades sociopedagógicas, princípios, condições e meios de direção e organização do ensino e da aprendizagem pelos quais se assegura a mediação

docente de objetivos, conteúdos, métodos, em vista da efetivação da assimilação consciente de conhecimentos. Nesse sentido, define-se como direção do processo de ensinar, no qual estão envolvidos, articuladamente, fins imediatos (instrutivos) e mediados (formativos) e procedimentos adequados ao ensino e à aprendizagem. Ou seja, a atividade teórica e a atividade prática que se unificam nas práticas de quem ensina.

Desse modo, podemos entender que o ensino do professor é a preocupação da didática, contudo ela não pode lidar com o ensino sem levar em conta, ao mesmo tempo, a aprendizagem do aluno. Sendo assim, o estudo da dinâmica de aprendizagem é central.

Quando se trata de estudar Física no ensino médio, muitos alunos enfrentam diversas dificuldades, “a falta de conhecimentos básicos em leitura e interpretação de textos, e dificuldades com a matemática básica, são fatores que prejudicam a aprendizagem do estudante logo no primeiro contato com a física” (Cavalcante, 2010). Nesse sentido, Anjos (2023, p. 31) diz:

O despreparo inerente aos alunos do ensino médio fica mais evidente quando se trata de disciplinas de física como as ciências naturais. Muitos tópicos estão incluídos no currículo de educação padrão, mas esses tópicos são frequentemente negligenciados quando os jovens não os entendem. Isso porque eles têm que prestar vestibular e aprender novas disciplinas antes de entrar no ensino superior. Embora a indisponibilidade do aluno surja em muitos campos de estudo. Mas isso é mais pronunciado nas ciências naturais.

A relação didática entre professor e aluno desempenha um papel fundamental no processo, pois é através dela que as situações de aprendizagem são construídas. No entanto, nem sempre essa relação é efetiva para todos os estudantes, o que acaba gerando obstáculos no entendimento dos conteúdos.

No início da década de 1950, grande parte dos professores da disciplina era composta por profissionais liberais que assumiram o magistério por conta da falta de licenciados ou por terem fracassado em sua profissão.

Segundo, Pires e Veit (2006, p. 1):

Nos últimos anos, a carga horária das aulas de Física vem diminuindo drasticamente, levando os professores, cada vez mais, a selecionarem os conteúdos considerados importantes, o que invariavelmente acaba se tornando sinônimo de mecânica clássica, ou provocando distorções ao fazerem uma abordagem extremamente superficial dos conteúdos, dando a impressão ao estudante que Física é um ramo da matemática. Este fato é notado principalmente quando o professor de Física não possui formação específica em Física, o que é especialmente comum no ensino público.

Com isso, a falta de tempo para assimilar os conteúdos é um problema recorrente nas aulas de Física. Muitos professores têm uma carga horária apertada e precisam cumprir um programa extenso. Isso faz com que eles precisem acelerar o ritmo das aulas, deixando pouco tempo para que os alunos possam apreender o conhecimento. Como resultado, muitos estudantes acabam se sentindo perdidos e com dificuldade em acompanhar o conteúdo.

Assim, Libâneo (1994, p. 19) relata: “O modo como os professores realizam seu trabalho, selecionam e organizam o conteúdo das matérias ou escolhem técnicas de ensino e avaliação tem a ver com pressupostos teórico-metodológicos, explícita ou implicitamente”.

Perrenoud (1999) aponta que um dos desafios que os professores enfrentam é organizar e direcionar situações de aprendizagem. Para tanto, o reconhecimento do desempenho do aluno, a identificação das barreiras ao aprendizado, a articulação das sequências instrucionais e o conhecimento do conteúdo a ser ensinado são atribuições fundamentais.

Diante disso, um dos principais desafios encontrados pelos alunos é a abstração dos conceitos físicos. A Física é uma ciência que lida com alguns fenômenos que não podem ser vistos ou tocados, o que torna o aprendizado mais abstrato e complexo. Muitos estudantes têm dificuldade em compreender como as teorias e equações se aplicam às situações do mundo real, o que acaba gerando frustração e desinteresse pela disciplina.

Outro fator que contribui para as dificuldades no estudo da Física no ensino médio é a falta de contextualização dos conteúdos. Muitas vezes, os alunos são apresentados a teorias e equações sem que seja feita uma conexão com situações do cotidiano. Isso faz com que não consigam visualizar a aplicação prática dos conceitos, o que dificulta a assimilação e a compreensão deles.

Com isso, Haydt (2006, p. 14) diz:

Aprender era quase exclusivamente memorizar. Nesse tipo de aprendizagem, a compreensão desempenhava um papel muito reduzido. Essa forma de ensino baseava-se na concepção de que o ser humano era semelhante a um pedaço de cera ou argila úmida que podia ser modelado à vontade. Na antiga Grécia, Aristóteles já professava essa teoria, que foi retomada frequentemente, ao longo dos séculos [...].

Segundo Andrade e Costa (2006), em muitos casos, os novos professores, mesmo após saírem da universidade com uma visão diferente, de inovação, acabam não conseguindo atingir os objetivos almejados ao ingressar na prática profissional, devido a fatores pedagógicos como a complexidade e as limitações do ambiente escolar. Também se

pode indicar o fato de os recursos laboratoriais escolares de Física serem escassos, o que mostra que essa disciplina está longe de se tornar um destaque na maioria das escolas.

Diante dessas dificuldades, é fundamental que os professores busquem meios de facilitar o aprendizado da Física. Para superar esses obstáculos, é essencial que os professores adotem estratégias didáticas que tornem o aprendizado mais concreto e significativo para os alunos. Aulas mais dinâmicas, diálogo aberto, apresentação clara dos conteúdos, utilização de recursos visuais e realização de experimentos são algumas das abordagens que podem ser adotadas.

Portanto, é importante que os professores estejam disponíveis para tirar dúvidas e oferecer suporte aos alunos, criando um ambiente propício à aprendizagem. Dessa forma será possível despertar o interesse pela disciplina e contribuir para o desenvolvimento de uma base sólida de conhecimentos físicos, favorecendo o aprendizado dos estudantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia, segundo Barros e Souza (1986, p. 1), “[...] consiste em estudar e avaliar vários métodos disponíveis, identificando suas limitações ou não em nível das implicações de suas utilidades”. Desse modo, a pesquisa é uma forma de encontrar respostas para questões através de uma série de ações. Nesse sentido, a abordagem qualitativa “[...] trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos a operacionalização de variáveis” (Minayo, 1994, p. 21 e 22).

Para realizar esta pesquisa, buscando-se respostas possíveis em relação às dificuldades sobre o ensino de Física, realizou-se uma pesquisa de metodologia do tipo qualitativa e predominantemente bibliográfica. Acatou-se a abordagem qualitativa porque, de acordo com Godoy (1995, p. 21), “permite que a imaginação e a criatividade levem os investigadores a propor trabalhos que explorem novos enfoques”. Com isso, os estudiosos podem argumentar avaliativamente os dados apresentados conforme suas visões e relevância.

Para Andrade (2010, p. 25), “a pesquisa bibliográfica é habilidade fundamental nos cursos de graduação, uma vez que constitui o primeiro passo para todas as atividades acadêmicas”. O estudo bibliográfico é essencial na elaboração de uma pesquisa científica, pois nos permite analisar melhor o caso em investigação.

Não é suficiente realizar uma revisão bibliográfica que não contribua para o desenvolvimento, ela deve conter conhecimentos importantes para o desdobramento do trabalho. Desse modo, a pesquisa bibliográfica se resume, portanto, como o procedimento que um pesquisador deve realizar na busca de obras pertinentes para solucionar um problema.

Para Barreto e Honorato (1998, p. 62):

A escolha de um tema representa uma delimitação de um campo de estudo no interior de uma grande área de conhecimento, sobre o qual se pretende debruçar. É necessário construir um objeto de pesquisa, ou seja, selecionar uma fração da realidade a partir do referencial teórico-metodológico escolhido.

A escolha de um tema de pesquisa bibliográfica exige habilidade e dedicação, pois é necessário considerar diversos fatores. O pesquisador deve escolher um tema relevante à sua área de estudo e sobre ele ter bom conhecimento, para que as etapas subsequentes de textos científicos possam ser desenvolvidas de forma adequada.

Assim, é proposto um método para seleção de temas para a pesquisa bibliográfica, pois o escopo é muito amplo e é necessário defini-lo. Portanto, um levantamento bibliográfico preliminar ajuda a definir o tema a ser estudado. A definição de um tema envolve estabelecer a teoria e o objeto a ser estudado.

Gil (2002) acredita que um levantamento bibliográfico preliminar é um estudo exploratório destinado a familiarizar os alunos e definir uma área de interesse de pesquisa. Essa familiaridade foi considerada essencial para articular as questões de pesquisa com clareza e precisão. Para Ruiz (2009, p. 57): “Qualquer espécie de pesquisa, em qualquer área, supõe e exige pesquisa bibliográfica prévia, quer a maneira de atividade exploratória, quer para o estabelecimento de status quaestionis, quer para justificar os objetivos e contribuições da própria pesquisa”.

Para realizar um levantamento bibliográfico preliminar sobre o tema, foram utilizados recursos de localização de fontes. Segundo Gil (2002), esse posicionamento pode ser realizado por meio de bases de dados e sistemas de busca. Neste trabalho, foram utilizados a base de dados do Portal Google Acadêmico e o Índice de Dissertação da Capes.

Na pesquisa por obras já publicadas e confiáveis, usaram-se palavras-chave como: “dificuldades do ensino de Física”, “ensino médio”, “aprendizagem em Física”, além de selecionar artigos dos últimos cinco anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a condução da pesquisa bibliográfica e aplicação dos critérios de distinção dos estudos, foram identificadas diversas publicações que atenderam aos critérios de inclusão. Em seguida, lemos os resumos e selecionamos seis dessas publicações com base na sua relevância para este trabalho, as quais estão resumidas no Quadro 1:

Quadro 1 – Produções incluídas nos estudos.

Tipo de Produção	Autores	Título	Ano de publicação
Artigo	ANJOS, E. S.	Dificuldades no ensino e aprendizagem da física para alunos da 1º série do ensino médio	2023
Artigo	FRAGA, V. M.; MOREIRA, M. C. A.; PEREIRA, M. V.	Uma proposta de gamificação do processo avaliativo no ensino de física em um curso de licenciatura	2021
Artigo	FRANCO, D. L.	O uso de metodologias adequadas no ensino de Física	2022
Artigo	KOCHAN, K. A.; STACHESKI, G. C.	Dificuldades de aprendizagem em física	2022
Artigo	MOREIRA, M. A.	Desafios no ensino da física	2021
Artigo	PROCOPIO, M. V. R.; PROCOPIO, L. V. F. C.; FREITAS, R. A. M. M.	Diálogo sobre a aprendizagem da física sob o olhar das considerações de Vygotsky	2020

Fonte: elaborado pelas autoras (2023).

Os trabalhos observados constituem uma junção de pesquisas e práticas que evidenciam os obstáculos vistos pelos discentes no percurso do estudo da Física. Similarmente, eles se equiparam a partes de um enigma, cooperando cada um de forma indispensável para a cognição completa do conteúdo. Portanto, esses estudos fornecem contribuições importantes sobre o ensino de Física, abrangendo o ensino tradicional, a importância das metodologias ativas, o valor do engajamento dos alunos com o professor e a influência direta que a motivação dos alunos e sua percepção sobre a relevância prática do conteúdo exercem no sucesso da aprendizagem.

Dentro dos estudos realizados, constatou-se que a revisão da literatura destaca a importância do ensino de Física no ensino médio e discute pesquisas anteriores relacionadas às dificuldades de aprendizagem nesse contexto. A literatura mostra que fatores como técnicas de ensino, recursos instrucionais, motivação dos alunos e preparação dos professores desempenham um papel fundamental na superação ou agravamento das dificuldades enfrentadas pelos estudantes.

As pesquisas afirmam que o domínio dos métodos tradicionais de ensino expositivo pode levar à falta de interesse e compreensão entre os alunos. A falta de recursos visuais e experimentos práticos foi citada como uma barreira para a compreensão de conceitos físicos mais complexos.

Anjos (2023) afirma que a história da Física trouxe significado ao mundo, tornou possível explicá-lo e promoveu a capacidade humana de compreender conceitos e pensar sobre eles. A descoberta de um conceito mostra não só como foi criado, mas sobretudo o seu porquê. A história mostra soluções para diferentes problemas, revela o papel teórico do conceito, sua função e significado, reaviva o pensamento de uma época e revela os elementos ideológicos da atualidade.

Franco (2022) aborda que para muitos alunos o ensino de Física é, por natureza, difícil e sem significação. Desse modo, é essencial que o docente altere a condução da aula para que ela possa ser mais atrativa. Para isso é recomendável que mude sua maneira de ensinar, movendo o discente à curiosidade em aprender, transformando-se em protagonista de seu próprio conhecimento, sempre com a cooperação do professor.

As condições em que ocorre o processo de ensino-aprendizagem incluem compreender que a aprendizagem se concretiza em cada indivíduo, em cada situação específica, na relação entrelaçada entre o aprendiz e o objeto de conhecimento; o sujeito/aluno está na cultura e na sociedade a que pertence. Para que a aprendizagem seja significativa, é preciso compreender o processo de revisão do conhecimento e de

reconhecimento da importância dos processos mentais nesse desenvolvimento (Fonseca; Soares; Magalhães, 2016).

Para Anjos (2023), a grande maioria dos alunos no final do ensino fundamental é atraída e estimulada pela curiosidade, com o objetivo de descobrir novos horizontes na Física e outras áreas científicas. Porém, ao ingressarem no ensino médio, ficam frustrados com o pequeno número de aulas de Física e como o professor dá pouca atenção à realidade ou aos seus interesses.

Procopio, Procopio e Freitas (2020) acreditam que, além da dificuldade na formulação de conceitos científicos diretamente relacionados à Física, a forma como é ensinada a linguagem específica dessa ciência também é uma barreira. Essa linguagem está repleta de sinais, símbolos e significados muito únicos e peculiares, que excluem a disposição do aluno para dominá-los, sendo, pois, a aprendizagem não mais totalmente espontânea.

Assim, “quando se trata de ensino, a metodologia tem papel fundamental no tocante à formação dos alunos” (Fraga; Moreira; Pereira, 2021, p. 175). Contudo, a aplicação de metodologias ativas de maneira eficaz necessita ocorrer paralelamente a fatores como formação inicial e continuada, apoio da gestão escolar, entendimento da mudança de papel do professor e do aluno, planejamento adequado, entre outros.

Desse modo, as escolas sempre devem auxiliar os professores a desenvolver projetos para a implementação de ideias na sala de aula, bem como proporcionar-lhes formação contínua, uma vez que educadores naturalmente necessitam estar preparados para explorar estratégias de ensino. Por outro lado, as instituições devem investir em suas estruturas focando nas necessidades dos alunos, tendo em vista que inovações metodológicas de ensino exigem um ambiente propício para de fato se concretizarem, tais como salas de aula com isolamento acústico, projetores e estruturas de ventilação (Anjos, 2023).

Diesel, Baldez e Martins (2017) colocam que o docente, ao comportar-se como um facilitador da aprendizagem, propõe-se “a fazer o aluno ter mais controle do seu processo de ensino-aprendizagem, tendo uma postura ativa, se tornando crítico e construtor do conhecimento através da problematização e reflexão da realidade” (Diesel; Baldez; Martins, 2017, p. 277).

Franco (2022) declara que os métodos de ensino que levam à aprendizagem passiva entre os alunos ainda são implementados por professores que não estão dispostos a pluralizar o processo de ensino-aprendizagem de maneira eficiente e duradoura. Os recursos tecnológicos e os métodos utilizados podem ser instrumentos valiosos para facilitar

a aprendizagem. Sequências de aulas cuidadosamente planejadas e, sempre que possível, a utilização de tecnologias de comunicação e informação nos sistemas educativos são cada vez mais comuns no discurso docente.

Portanto, os professores precisam empregar os melhores métodos e materiais de ensino possíveis. Segundo Silva (2019), como resultado, os alunos devem perceber a necessidade de uma correta análise e compreensão da Física, como também serem capazes de compreender os fenômenos físicos que ocorrem em seu entorno.

Moreira (2021) aborda que ensinar e aprender Física engloba conceitos e conceitualização, amostra e modelagem, uso de experimentos, habilidades científicas, circunstâncias que exerçam sentido na aprendizagem, diálogo, engenhosidade e interesse, elementos que, apesar de não serem novos, se constituem em desafios para o ensino da Física.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada teve como objetivo geral compreender as maiores dificuldades que os alunos do ensino médio encontram no processo de ensino e estudo de Física. A educação no país tem muitos pontos a melhorar, e não é diferente no ensinamento de Física. Em todas as áreas da educação existem problemas de ensino, conteúdo, comportamento e história.

A pesquisa evidencia que as dificuldades no aprendizado de Física nas escolas públicas são ampliadas por uma série de razões. A falta de metodologias adequadas, de materiais nas escolas para o ensino prático, a forma como muitos alunos veem a matéria e como ela foi ensinada ao longo do tempo, mediante a resolução de exercícios preparatórios para vestibulares, são alguns fatores que levaram ao estado atual.

A discussão dos resultados mostra que a Física, por ser uma disciplina da área de exatas, requer uma boa orientação, utilizando-se metodologias ativas que estimulem a aprendizagem dos alunos de forma crítica e reflexiva. A Física é uma disciplina que se beneficia de uma abordagem interativa. Situações de aprendizagem que envolvem experimentação, resolução de problemas e atividades práticas promovem uma compreensão mais profunda dos seus conceitos. O diálogo aberto entre alunos e professores e o uso de recursos visuais melhoram a compreensão e o interesse dos alunos pela disciplina.

No processo de pesquisa e preparação, reconhecemos que os professores, além de

entender a matéria, também precisam de paciência, sensibilidade, conhecimentos didáticos-pedagógicos e muita criatividade para lidar com as diversas situações que surgem no dia a dia escolar. A motivação dos alunos e a sua percepção da relevância prática do conteúdo influenciam diretamente o sucesso da aprendizagem.

Em última análise, no contexto geral, o ensino da Física dispõe de entrelinhas que dificultam o pleno desenvolvimento da disciplina, o que influi diretamente no desempenho dos alunos na sala de aula. A disciplina demanda correlação de conceitos matemáticos e físicos com os acontecimentos do cotidiano. Dessa maneira, o ensino de Física necessita urgentemente de uma reestruturação, com o propósito de que não seja obsoleto e ineficaz para o desenvolvimento da independência dos alunos, a fim de suprir os interesses da atualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. A.; COSTA, S. S. C. O uso de simulações computacionais para o ensino de óptica no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 2, p. 18-29, 2006.
- ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. São Paulo: Atlas, 2010.
- ANJOS, E. S. *et al.* **Dificuldades no ensino e aprendizagem da física para alunos da 1^a série do ensino médio**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.
- BARRETO, A. V. P.; HONORATO, C. F. **Manual de sobrevivência na selva acadêmica**. Rio de Janeiro: Objeto Direto, 1998.
- BARROS, A. J. P.; SOUZA, N. A. **Fundamentos de Metodologia**. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ciências Naturais, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 1996.
- CAVALCANTE, K. A Importância da Matemática do Ensino Fundamental na Física do Ensino Médio. **Canal do Educador, Estratégia de Ensino, Física**, [s.l.], 2010.
- DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S.; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. Lajeado: **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.
- FERNANDES, E. F. **As dificuldades de compreender Física dos alunos do ensino médio das escolas públicas de IGUATU – CE**. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Iguatu, 2016.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UECE, 2002. (Apostila.)

FONSECA, Géssica Fabiely; SOARES, Mariane de Araújo; MAGALHÃES, Rita de Cássia Barbosa Paiva. Concepções de ensino e aprendizagem de alunos de licenciatura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte: um estudo exploratório. **Research, Society and Development**, v. 1, n. 2, p. 168-181, 2016.

FRAGA, V. M.; MOREIRA, M. C. A.; PEREIRA, M. V. Uma proposta de gamificação do processo avaliativo no ensino de física em um curso de licenciatura. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 174-192, 2021.

FRANCO, Donizete Lima. O uso de metodologias adequadas no ensino de Física. **Ensino em Perspectivas**, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, SP: Atlas, 2002.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **RAE-Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 20-29, 1995.

HAYDT, R. C. C. **Curso de didática geral**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2006.

Kochan, K.A.; Stacheski, G.C. **Dificuldades de aprendizagem em Física**. Repositório Uninter, 2022. Disponível em: < <https://repositorio.uninter.com/handle/1/1128> >. Acesso em: 22 de nov. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo, SP: Atlas 2003.

LIBÂNEO, José Carlos. O ensino da Didática, das metodologias específicas e dos conteúdos específicos do ensino fundamental nos currículos dos cursos de Pedagogia. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 91, n. 229, set/dez 2010.

LUCKESI, Cipriano Carlos. **Filosofia da educação**. São Paulo: Cortez, 2015.

MINAYO, M. C. de S. [et al.] (Org.) **Pesquisa social**: teoria, método e criatividade. 2. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 1994.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da Física na educação contemporânea. *In: CICLO DE PALESTRAS DOS 50 ANOS DO INSTITUTO DE FÍSICA DA UFRJ, 2014. Anais.* Rio de Janeiro: UFRJ 2014.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021.

NÓVOA, A. Firmar a posição como professor, afirmar a profissão docente. **Cadernos de pesquisa**, v. 47, n. 166, p. 1106-1133, 2017.

OLIVEIRA, L. **Interação Professor-Aluno**: elemento chave do processo de ensino-aprendizagem. 2010. Artigo (Licenciatura em Letras) – Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2010.

PERRENOUD, P. Construir competências é virar as costas aos saberes. **Pátio** – Revista Pedagógica, Porto Alegre, n. 11, p. 15-19, 1999.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

PROCOPIO, M. V. R.; PROCOPIO, L. V. F. C.; FREITAS, R. A. M. M. Diálogo sobre a aprendizagem da física sob o olhar das considerações de Vygotsky. **Revista Internacional de Formação de Professores**, v. 5, p. e020016-e020016, 2020.

RUIZ, J. A. 2009; 2013. **Metodologia Científica: guia para eficiência nos estudos**. São Paulo, Atlas, 180 p.

SILVA, J. M. A. As dificuldades enfrentadas por estudantes do ensino médio na aprendizagem da física. **Revista Conedu**, 2019.

SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, 2021.

CAPÍTULO 9

UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE A IMPORTÂNCIA DO LABORATÓRIO DE FÍSICA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Dyennat Lima Ferreira
Egressa do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: dyennatlf99@gmail.com

Diana Elizabette Lima do Amaral
Professora do IFCE *campus* Tianguá
E-mail:diana.amaral@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

O ensino da Física é uma atividade relevante que se dedica a mediar o contato entre os princípios e conceitos fundamentais dessa disciplina e os alunos. Nesse processo, o laboratório é uma parte essencial, pois proporciona aos discentes a prática dos conceitos teóricos estudados em sala.

Nesse contexto, o laboratório do curso de Licenciatura em Física do IFCE *Campus* Tianguá disponibiliza equipamentos destinados à experimentação de fenômenos das áreas de mecânica, ondulatória, termodinâmica e eletromagnetismo, facilitando o processo de pesquisa e a construção do conhecimento. Trata-se de um laboratório didático destinado a subsidiar a conciliação da teoria estudada em sala de aula com as atividades práticas que a Física, como ciência essencialmente experimental, exige. Assim, seu objetivo é proporcionar aos alunos a vivência da Física Experimental, para verificar de forma empírica os principais fenômenos e leis naturais que fundamentam a Física Clássica.

Nessa conjuntura, o laboratório de Física é fundamental, uma vez que é um espaço de trabalho em que alunos, pesquisadores e profissionais da área podem realizar experimentos e testes para investigar princípios físicos e fenômenos naturais.

Além de oferecer teoria e prática, o laboratório de Física também é importante por propiciar o desenvolvimento de habilidades, experiência, preparação para a carreira profissional e descoberta de novos conhecimentos. Desta forma, é fundamental investir na reflexão, na discussão, na análise e em ações práticas voltadas ao laboratório de Física, com vistas a identificar a sua relevância substancial na formação de futuros docentes.

Segundo Hodson (1988) e Kauark e Comarú (2017), o laboratório também se mostra relevante porque o seu uso proporciona o desenvolvimento da capacidade de observação crítica e argumentativa. Nessa perspectiva, esse ambiente é um espaço de aprendizado ativo, onde os estudantes podem não apenas consolidar conceitos teóricos por meio da experimentação prática, mas também aprimorar suas habilidades analíticas e de raciocínio. Através da observação direta e da avaliação crítica dos resultados obtidos, os alunos podem desenvolver um entendimento mais profundo dos conceitos abordados, ao mesmo tempo que aprendem a formular argumentos sólidos, com base em evidências concretas.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), no artigo 35, inciso IV, destaca: “É essencial a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina”

O objetivo geral desta pesquisa é verificar, de forma abrangente e sistemática, o papel do laboratório de Física no processo de ensino-aprendizagem dos licenciandos, abordando sua evolução histórica, relevância educacional, objetivos pedagógicos, metodologias aplicadas e impacto na compreensão dos conceitos teóricos pelos alunos. Para atingir esse objetivo, os objetivos específicos desta revisão são: analisar a evolução histórica do uso do laboratório de Física no ensino; compreender a importância do laboratório de Física no processo de ensino-aprendizagem; investigar os objetivos específicos do laboratório de Física; explorar as metodologias utilizadas no laboratório de Física.

O presente estudo foimeticulosamente realizado por meio de uma revisão sistemática da literatura científica, empregando-se uma abordagem metodológica rigorosa, com o propósito de investigar a profunda relevância do laboratório no processo de ensino-aprendizagem da Física.

REFERENCIAL TEÓRICO

A experimentação no ensino de Física tem sido uma estratégia legitimada por diversos estudiosos e investigadores do ensino da ciência. Segundo Rosa (2003, p. 96): “A experimentação sempre esteve presente como coadjuvante no processo evolutivo da Física, mostrando ao longo da história o seu status de ciência da experiência”. Isso significa que, historicamente, a Física se desenvolveu e progrediu através de experimentos e observações. Essa abordagem prática não apenas validou teorias e leis físicas, mas também contribuiu para uma compreensão mais profunda dos conceitos, constituindo-se em uma estratégia pedagógica valiosa para o ensino da Física.

De acordo com Silva (2010, p. 904), a experimentação é utilizada como “uma forma do aluno entrar em contato com a realidade, com a intenção de comprovar modelos ou teorias, ou ainda com o objetivo de motivar o aluno e despertar seu interesse pelo tema”. A experimentação educacional, portanto, desempenha um papel crucial no processo de aprendizagem, visto que permite aos alunos aplicar conceitos teóricos em situações práticas, fortalecendo assim sua compreensão e envolvimento com o assunto. Além disso, a abordagem experimental pode estimular a curiosidade e a participação ativa dos alunos, tornando o aprendizado mais envolvente e significativo.

Grandini e Grandini (2004) defendem a importância do laboratório experimental e o destacam como instrumento que induz a curiosidade do aluno, a fim de estimular seu interesse pelo mundo científico:

O laboratório didático propicia aos alunos uma vivência e manuseio de instrumentais, que lhes permitem conhecer diversos tipos de atividades, podendo estimular-lhes a curiosidade e a vontade em aprender a vivenciar ciência. O laboratório deve incentivar o aluno a conhecer, entender e aprender a aplicar a teoria na prática, dominando ferramentas e técnicas que poderão ser utilizadas em pesquisa científica (Grandini; Grandini, 2004, p. 2).

É evidente a importância dos laboratórios didáticos como recurso educacional essencial. Esses ambientes oferecem aos alunos a oportunidade de se envolverem ativamente com instrumentos e experimentos práticos, o que pode despertar sua curiosidade e desejo de explorar a ciência. Além disso, os laboratórios capacitam os alunos a adquirirem habilidades e técnicas relevantes para pesquisas científicas futuras.

Segundo Moura (2011), valorizar um ambiente como o laboratório de Física é de suma importância, visto que ele propicia a oportunidade de colocar em prática o que foi aprendido nas aulas. Dessa forma, as aulas de laboratório são cruciais para complementar a teoria ensinada, uma vez que proporcionam uma experiência concreta de princípios teóricos que ajuda os estudantes a compreenderem os conceitos de maneira mais profunda.

Para Carvalho *et al.* (2018), é importante ressaltar que, para a utilização do laboratório como uma ferramenta inovadora no ensino de Física, é necessário que professores adotem posturas não habituais, que fujam do tradicionalismo:

As aulas de laboratório que visam alcançar os objetivos de uma enculturação científica, em que os alunos têm um engajamento efetivo, pensando e tomando suas próprias decisões, e construindo suas argumentações sobre os fenômenos estudados, somente acontecem quando os professores reformulam o seu papel: de transmissor do conhecimento já estabelecido para um orientador de seus alunos,

ajudando-os na construção de seus novos conhecimentos (Carvalho *et al.*, 2018, p. 60-61).

Dessa forma, o laboratório se destaca como um método ativo de aprendizado, colocando os alunos no cerne do processo educacional. Diferentemente das aulas tradicionais de transmissão de conhecimento, o laboratório oferece aos alunos uma experiência envolvente, na qual eles podem explorar, experimentar, observar e descobrir conceitos científicos de forma independente. Essa abordagem ativa não só facilita a compreensão profunda dos temas estudados, mas também promove habilidades cruciais, como pensamento crítico, resolução de problemas e tomada de decisões. Além disso, permite que os alunos cometam erros, aprendam com eles e refinem suas abordagens, enriquecendo ainda mais sua aprendizagem e preparando-os para o sucesso tanto na educação quanto em suas carreiras futuras.

Através dessa base teórica sólida estabelecida para o assunto em análise, é possível perceber a relevância da pesquisa e reflexão acerca do laboratório de Física no processo de ensino-aprendizagem. De acordo com Ausubel (1982), a teoria da aprendizagem significativa defende que o aprendizado é mais efetivo quando o conteúdo está relacionado com os conhecimentos prévios do aluno, permitindo assim que o aluno estabeleça conexões entre o novo conhecimento e o que já sabe.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é um estudo bibliográfico. Segundo Marconi e Lakatos (2015), a pesquisa bibliográfica ou de fontes secundárias consiste no levantamento completo de toda a bibliografia já publicada em livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita.

A pesquisa bibliográfica é um processo que compreende várias etapas, as quais foram adaptadas das propostas por Gil (2017) para a elaboração deste trabalho e incluem a definição do tema, levantamento bibliográfico preliminar, localização e identificação de fontes.

A escolha de pesquisar sobre a importância do laboratório de Física no processo de ensino-aprendizagem foi motivada pela crescente importância do uso de laboratórios de ciências no processo educacional.

Conforme Gil (2017), o levantamento bibliográfico preliminar é um estudo exploratório que visa proporcionar ao aluno a familiarização com a área de estudo de seu interesse, bem

como delimitá-la. Essa familiaridade é considerada essencial para a formulação clara e precisa do problema de pesquisa.

Para realizar o levantamento bibliográfico preliminar do tema, foram utilizados recursos de localização de fontes. Segundo Gil (2017), ela pode ser feita através de bases de dados e sistemas de busca. Isto posto, neste trabalho foram utilizados a base de dados do portal Google Acadêmico e o Catálogo de Teses e Dissertações da Capes.

Segundo Gil (2017), a identificação das fontes é uma etapa fundamental da pesquisa bibliográfica. Ela consiste em localizar as fontes de informação que sejam relevantes para o tema de pesquisa. Os critérios de inclusão deram-se pela seleção de produções científicas que abordassem o laboratório de ensino de Física no processo de ensino-aprendizagem e que estivessem alinhadas aos objetivos da pesquisa, sendo destacadas as suas principais contribuições.

Foram utilizados descritores e palavras-chave relacionados ao tema, como: "laboratório de Física", "ensino de Física", "experimentação", "metodologias ativas", "importância do laboratório", entre outros. A busca foi realizada de forma sistemática, selecionando-se as publicações mais relevantes e recentes, bem como aquelas que apresentaram maior rigor metodológico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após conduzir a pesquisa bibliográfica, foram identificadas várias publicações que atenderam aos critérios de seleção propostos na metodologia. Em seguida, os resumos dessas publicações foram lidos e nove foram selecionadas com base em sua relevância para o estudo em questão. As características dessas publicações estão resumidas no Quadro 1:

Quadro 1 – Produções incluídas no estudo.

Tipo de Produção	Autor(es)	Título	Ano de publicação
Dissertação	BRAZ, D. H. O.	Práticas em laboratório: uma estratégia de ensino	2018
Dissertação	CAETANO, S. M.	A utilização do laboratório didático na visão dos alunos do curso de licenciatura em Física da UFC: uma análise em representações sociais	2010

Artigo	BLOSSER, P. E.	Matérias em pesquisa de ensino de Física: o papel do laboratório no ensino de ciências	1988
Artigo	MAIA, L. S. P. CIPRIANO, J. F. SILVA, F. R. O.	Estudo de caso sobre o uso do laboratório de Física e sua importância no aprendizado significativo na escola de ensino médio Adauto Bezerra	2021
Artigo	FEIX, E. C. SARAIVA, S. B. KIPPER, L. M.	A importância da Física experimental no processo ensino-aprendizagem	2012
Artigo	GRANDINI, N. A. GRANDINI, C. R.	Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do curso de Licenciatura em Física da UNESP-Bauru	2004
Artigo	BORGES, A. T.	Novos rumos para o laboratório escolar de ciências	2002
Artigo	SOUZA, N. C. TAUCHEN, G.	O laboratório didático na formação inicial de professores	2017
Artigo	NASCIMENTO, E. O. OLIVEIRA, L. N.	Identificação das concepções dos estudantes de cursos técnicos sobre as atividades experimentais de ensino de Física.	2017

Fonte: elaborado pelas autoras (2023).

Os trabalhos observados indicam uma miscelânea de pesquisas e práticas que evidenciam a relevância da utilização efetiva de laboratórios no ensino de Física e Ciências. Analogicamente, eles se equiparam a partes de um enigma, cada um colaborando como um elemento essencial para a percepção geral do assunto.

Assim como um laboratório de Física reúne instrumentos variados para conduzir experimentos e analisar fenômenos, esses estudos trazem uma diversidade de abordagens para avaliar a eficácia do ensino prático e experimental. Eles destacam a importância de

alinhar a teoria com a prática para melhorar a qualidade do ensino de Física, seja através de estudos de caso, seja por meio de pesquisas longitudinais, seja por intermédio de ações de laboratório, e ressaltam o valor do engajamento dos alunos, observando como atividades práticas podem inspirar a curiosidade e promover uma aprendizagem mais eficaz, semelhante à maneira como um experimento revela verdades ocultas na ciência.

Portanto, esses estudos fornecem contribuições valiosas para a melhoria contínua do ensino de Física e Ciências, destacando a importância do equilíbrio entre teoria e prática, bem como a necessidade de motivar os alunos a se tornarem exploradores e questionadores em seu aprendizado, criando, assim, um ambiente propício ao crescimento do conhecimento científico.

Entre os estudos selecionados, constatou-se que há pesquisas tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos que visam entender como os laboratórios de ensino de Física (LEF) funcionam e se desenvolvem nas instituições de ensino, investigando sua aplicação desde o ensino fundamental até o ensino superior. As pesquisas afirmam que o laboratório de Física é uma ferramenta pedagógica de grande importância no processo de ensino-aprendizagem da área. Sua utilização permite aos alunos uma maior compreensão dos conceitos teóricos, possibilitando uma aprendizagem mais significativa e duradoura, além de desenvolver habilidades experimentais e críticas.

Conforme destacado por Braz (2018), a aprendizagem significativa atinge seu apogeu quando ocorre uma integração sólida entre a teoria e a prática. Nesse contexto, as palavras de Caetano (2010) ressoam, já que ele advoga pelo emprego de aulas experimentais em conjunto com as aulas convencionais. Dessa forma, a combinação desses dois enfoques pedagógicos pode enriquecer a experiência de aprendizado, proporcionando aos alunos a oportunidade não apenas de absorver conceitos teóricos, mas também de vivenciá-los na prática, consolidando seu entendimento e aplicabilidade.

Araújo e Abib (2003) enfatizam a importância de utilizar diferentes metodologias experimentais, tais como demonstração, verificação e investigação, a fim de estabelecer um ambiente propício para o aprendizado de conceitos científicos. Nesse contexto, a diversificação das abordagens pedagógicas torna-se crucial, pois permite que os alunos tenham uma compreensão mais abrangente e sólida dos princípios científicos.

Comber e Keeves (1973) *apud* Blosser (1988) evidenciam que as escolas que utilizam observações e experimentações no ensino apresentam um nível de desempenho maior do que as escolas que não praticam essas atividades. Assim sendo, a incorporação de práticas

experimentais não apenas enriquece o processo de aprendizagem dos alunos, mas também tem o potencial de impactar positivamente o seu desempenho acadêmico

Os estudos realizados por Maia, Cipriano e Silva (2021) e Feix, Saraiva e Kipper (2012) reforçam de maneira consistente a importância dos laboratórios de Física no contexto educacional. Ao proporcionar aos estudantes a oportunidade de vivenciar a aplicação prática das teorias abordadas em sala de aula, esses espaços não apenas enriquecem o aprendizado, mas também fomentam um entendimento mais profundo dos conceitos científicos. Além disso, os resultados observados por Feix, Saraiva e Kipper (2012) sugerem que a experiência em laboratório contribui para o desenvolvimento de habilidades críticas e a formação de indivíduos mais conscientes, sensíveis e capacitados para enfrentar desafios e deixar um impacto positivo na sociedade.

Em conjunto, essas perspectivas respaldam a relevância contínua da incorporação de laboratórios de Física no processo de ensino, destacando seus benefícios tanto para o conhecimento técnico quanto para a formação integral dos estudantes.

Nesse contexto, segundo Grandini e Grandini (2004), o laboratório didático vem cumprindo um importante papel ao desenvolver habilidades práticas nos alunos, familiarizá-los com instrumentos e técnicas de medida, treiná-los em observação, relatórios escritos e aspectos de projeto experimental e ilustrar o material ensinado nas aulas teóricas. Além disso, o laboratório ajuda a transpor a barreira entre teoria e prática, infunde confiança no método científico, estimula o interesse dos alunos no estudo de Física e incentiva-os a fazer pesquisa na área.

No entanto, para que as atividades práticas sejam efetivas em facilitar a aprendizagem, Borges (2002) ressalta a importância de um planejamento criterioso. Ao considerar os objetivos almejados, os recursos à disposição e o conhecimento prévio dos estudantes sobre o tema, é possível criar um ambiente de aprendizado mais engajador e personalizado. Isso não apenas promove uma compreensão mais profunda, mas também aumenta o impacto positivo dessas atividades no processo educacional.

Os laboratórios de ciências e as práticas experimentais podem ser efetivados e disseminados entre os professores na rede de ensino, visto que possuem a capacidade de aumentar a interação, contextualização do conhecimento, motivação e engajamento dos estudantes, proporcionando uma formação de qualidade (Souza; Tauchen, 2017). Ao disseminar essas abordagens entre os professores na rede de ensino, é possível ampliar o impacto positivo na aprendizagem dos alunos, assegurando um ambiente educacional mais envolvente e eficaz.

A análise apresentada reforça inegavelmente a relevância dos laboratórios de ensino de Física (LEFs). Os autores destacam de maneira persuasiva que esses espaços vão além da contribuição para o conhecimento acadêmico, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento pessoal e social dos licenciandos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura evidencia a relevância da utilização do laboratório de Física no processo de ensino-aprendizagem dessa disciplina.

A história do laboratório de Física mostra que ele surgiu como uma forma de complementar o ensino teórico, proporcionando uma experiência prática aos alunos. Com o tempo, o laboratório passou a ser reconhecido como uma parte integrante do ensino de Física, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades e competências dos alunos, como a capacidade de observação, análise, síntese e resolução de problemas.

As evidências encontradas na literatura destacam a importância do laboratório de Física na promoção da aprendizagem ativa e na construção do conhecimento pelos alunos. O uso do laboratório viabiliza uma abordagem mais contextualizada dos conceitos teóricos, permitindo aos alunos uma melhor compreensão da relação entre a teoria e a prática.

Os objetivos do laboratório de Física são amplos e variam de acordo com o nível de ensino e as características dos alunos. Em geral, ele busca complementar a abordagem teórica da disciplina, estimular a curiosidade e o interesse dos alunos, desenvolver habilidades experimentais, promover a interação e a colaboração entre os alunos e incentivar a criatividade e a capacidade de resolver problemas.

A literatura examinada sugere que a metodologia utilizada no laboratório de Física envolve a realização de experimentos, simulações e observações, acompanhados de registros escritos, gráficos e relatórios.

Uma das melhores finalidades da utilização do laboratório de Física como ferramenta pedagógica é o estímulo à participação ativa dos alunos na resolução de problemas e na exploração de novas ideias. Nessa abordagem, o aluno é o protagonista de seu próprio processo de aprendizagem, enquanto o professor atua como mediador, fornecendo orientações e estímulos para que os alunos possam construir seus próprios conhecimentos.

A implementação dessas práticas no ensino de Física pode trazer diversas implicações positivas para a teoria e prática educacional. Ao permitir que os alunos sejam protagonistas do processo de aprendizagem no laboratório, é possível desenvolver

habilidades, competências e conhecimentos, além de fomentar a curiosidade, a criatividade e o pensamento crítico. Essa abordagem também contribui para a formação de cidadãos mais participativos e críticos em relação à ciência e tecnologia.

Diante do exposto, o laboratório de Física na formação de licenciandos em Física é de fundamental relevância, pois a prática laboratorial não apenas aprimora a compreensão dos conceitos teóricos, mas também desenvolve habilidades essenciais para os futuros professores. Através da realização de experimentos, simulações e observações, os licenciandos em Física adquirem não só expertise prática, mas também a capacidade de projetar, conduzir e avaliar atividades experimentais que tornem o aprendizado mais envolvente e tangível para seus alunos.

Além disso, a prática laboratorial proporciona aos licenciandos a oportunidade de entender os desafios que os alunos podem enfrentar durante experimentos e atividades práticas, permitindo-lhes desenvolver estratégias eficazes de ensino e intervenção. Ao experimentar pessoalmente a importância da colaboração, observação atenta e resolução de problemas, os futuros professores estarão mais bem preparados para transmitir essas habilidades aos seus alunos, capacitando-os não apenas como estudantes de Física, mas também como cidadãos críticos e engajados.

A prática laboratorial também promove a conexão entre teoria e aplicação, capacitando os licenciandos a contextualizar os conceitos abstratos em situações do mundo real. Ao integrar experiências práticas ao currículo, os futuros professores podem despertar o interesse e a curiosidade dos alunos, estabelecendo uma ligação duradoura entre o conhecimento adquirido na sala de aula e sua aplicação prática.

Em última análise, a ênfase na prática laboratorial durante a formação de licenciandos em Física contribui para um ensino mais dinâmico, interativo e eficaz. Isso resulta em uma geração de professores capacitados a inspirar e preparar os estudantes para os desafios da ciência e das tecnologias modernas, além de fomentar uma apreciação mais profunda pela disciplina e seu impacto na sociedade. Portanto, a integração contínua da prática laboratorial no processo formativo dos licenciandos em Física é uma pedra angular para uma educação de qualidade e para a promoção do pensamento crítico e da participação cidadã na ciência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, J. P. et al. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista.** 2000. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, 2003. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_176.pdf. Acesso em: 5 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/IEC Guia 2:** normalização e atividades relacionadas: vocabulário geral. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

BARBOSA, M. R. Alexandre Koyré e a Revolução Científica do século XVII: formulação de um novo conceito para a ciência experimental. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA.* 26., 2011, São Paulo. **Anais.** São Paulo: Associação Nacional de História, 2011, p. 1-14.

BLOSSER, P. E. Matérias em pesquisa de ensino de Física: O papel do laboratório no ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 74-78, 1988.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio.** Brasília, DF: MEC, 1999.

BRAZ, D. H. O. **Práticas em laboratório: uma estratégia de ensino.** 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2018.

CAETANO, S. M. **A utilização do laboratório didático na visão dos alunos do Curso de Licenciatura em Física da UFC: uma análise em representações sociais.** 2010. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Ensino de Física.** reimpr. da 1.ed. de 2010. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2018.

FEIX, E. C.; SARAIVA, S. B.; KIPPER, L. M. A importância da Física experimental no processo ensino-aprendizagem. *In: SALÃO DE ENSINO E DE EXTENSÃO*, 3., 2012, Santa Cruz do Sul. **Anais.** Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRANDINI, N. A.; GRANDINI, C. R. Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do curso de Licenciatura em Física da UNESP-Bauru. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, p. 251-256, 2004.

HODSON, D. Experimentos na ciência e no ensino de ciências. Tradução: Paulo A. Porto. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, p. 53-63, 1988. Título original: Experiments in science and science teaching. Disponível em: <http://www.iq.usp.br/palporto/TextoHodsonExperimentacao>. Acesso em: 10 de nov. 2022

KAUARK, F. S.; COMARÚ, M. W. (orgs). **Ensinar e ensinar ciências: reflexões para docentes em formação**. Vitória: Edifes, 2017.

KOHN, K.; MORAES, C. H. O impacto das novas tecnologias na sociedade: conceitos e características da Sociedade da Informação e da Sociedade Digital. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO*, 30., 2007, Santos. **Anais**. Santos: Intercom, 2007. p. 1-13.

MAIA, L. S. P.; CIPRIANO, J. F.; SILVA, F. R. O. Estudo de caso sobre o uso do laboratório de Física e sua importância no aprendizado significativo na escola de ensino médio Adauto Bezerra. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 34709-34720, 2021.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 2015.

MATTAR NETO, J. A. **Metodologia científica na era digital**. São Paulo: Saraiva, 2017.

MOURA, C. S. **Física para o Ensino Médio**: gravitação, eletromagnetismo e física moderna. Dados eletrônicos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.

NASCIMENTO, E. O.; OLIVEIRA, L. N. Identificação das concepções dos estudantes de cursos técnicos sobre as atividades experimentais de ensino de Física. **Revista Espaço Acadêmico**. v. 16, n. 191, 106-116, 2017.

ROSA, C. W. Concepções Teóricas-Metodológicas no Laboratório Didático de Física na Universidade de Passo Fundo. **Ensaio**, v. 5, n. 2, p. 13-27, 2003.

SANTOS, A. R. **Metodologia Científica: a construção do conhecimento**. 6. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2004.

SILVA, M. N. M.; ROCHA FILHO, J. B. **O papel atual da experimentação no ensino de Física**. XI Salão de Iniciação Científica – PUCRS, 2010.

SOUZA, N. C.; TAUCHEN, G. O laboratório didático na formação inicial de professores. **Areté - Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, Manaus, v. 10, n. 22, p. 216-230, jan.-jun. 2017.

FÍSICA GERAL

CAPÍTULO 10

COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES ANALÍTICA E NUMÉRICA DE UMA PARTÍCULA SUBMETIDA A UMA FORÇA CONSTANTE NO CONTEXTO DA RELATIVIDADE RESTRITA

Ana Carolina Portela Silva
Discente do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: carolinaporteela@gmail.com

Felipe Moreira Barboza
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: felipebarboza@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A física dedica-se à interpretação das leis fundamentais que governam os fenômenos naturais, cuja validade se estende desde o nível microscópico (ou subatômico) até as maiores escalas cosmológicas. Por meio de suas teorias e experimentos, ela oferece as ferramentas para compreender e descrever o comportamento de sistemas diversos, como, por exemplo, o movimento de objetos.

No despontar do século XX, a física passou por uma revolução significativa. Fenômenos que a mecânica clássica não conseguia elucidar impulsionaram o surgimento de novas teorias, culminando na designação de física moderna. A teoria da relatividade, proposta por Albert Einstein, ilustra essa virada fundamental. Segundo Serway e Jewett (2014, p. 2), ela “[...] descreve corretamente o movimento de objetos à velocidade comparável à da luz, além de mostrar que a velocidade da luz é o limite superior da velocidade de um objeto e que massa e energia são relacionadas”. A implicação de que nada pode exceder a velocidade da luz no vácuo transformou radicalmente nossa compreensão de espaço e tempo, confrontando a intuição comum.

Nesse contexto, este trabalho propõe-se a analisar o movimento de uma partícula submetida a uma força constante sob a ótica da mecânica relativística. Será investigado como a descrição relativística se reduz à mecânica newtoniana no limite não relativístico ($v \ll c$), permitindo uma comparação direta dos resultados. Posteriormente, será realizada uma comparação entre a solução analítica e a obtida pelo método numérico de Euler para as equações diferenciais decorrentes do problema.

A análise está entre o contexto da mecânica clássica e o da mecânica relativística, sendo realizada considerando-se que a partícula está em movimento em referenciais inerciais. No entanto, a validade das leis da mecânica clássica, “[...] são aplicáveis aos movimentos usuais de objetos macroscópicos, mas deixam de valer para velocidades comparáveis com a velocidade da luz, quando aparecem efeitos relativísticos” (Nussenzveig, 2013, p. 19).

REFERENCIAL TEÓRICO

A física é o braço da ciência relacionado ao estudo das leis básicas da natureza, e suas concepções estão relacionadas com os diferentes fenômenos naturais. Também é chamada de “ciência fundamental”, porque dialoga com todos os outros campos importantes das ciências. Na perspectiva de Alonso e Finn (1972), a importância da física está ligada à análise de alguns princípios básicos, suas implicações e limitações.

Parafraseando Taylor (2013), a primeira lei de Newton ou lei da inércia afirma que, na ausência de forças, uma partícula se move com velocidade constante, e a segunda lei de Newton diz que, para uma partícula qualquer de massa m , a força resultante \vec{F} sobre ela é sempre igual à massa m multiplicada pela aceleração da partícula. Portanto:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Para partículas que se movimentam com velocidade muito próxima à velocidade da luz, a massa passa a depender da sua velocidade, passa consequentemente a não ser mais uma constante na análise do movimento. De acordo com Nussenzveig (2013, p. 97), na relatividade restrita, “verifica-se que m de fato depende da velocidade da partícula. Entretanto, este efeito é desprezível enquanto a partícula não atinge velocidades comparáveis à velocidade da luz no vácuo”.

Todavia, para Tipler e Llewellyn (2014), a maioria das teorias físicas da mecânica clássica não sobreviveram ou pelo menos não ficaram ilesas aos experimentos atualizados com o passar do tempo, de modo que apresentaram algumas rupturas, entre elas alguns limites de validade das leis descritas por Newton. Para Feynman, Leighton e Sands (2008, p. 15), “a primeira vez em que se descobriu um erro nessas leis, o caminho de corrigi-lo também foi descoberto. Ambos, o erro e sua correção, foram descobertos por Einstein em 1905”.

A massa de um corpo aumenta com a velocidade. Feynman, Leighton e Sands (2008)

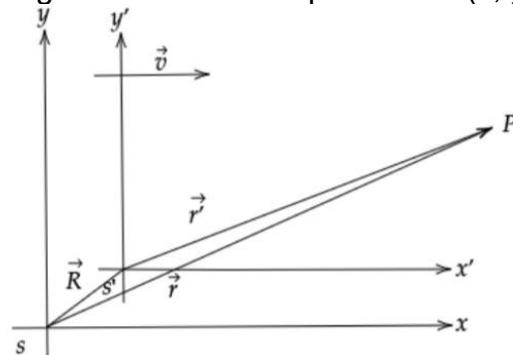
mostram que na equação de Einstein a massa tem o valor diferente da equação de Newton, vista nesta mesma seção, onde a massa de repouso representa a massa de um corpo que não está se movendo para um dado referencial.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Qualquer par de referenciais inerciais, independentemente da velocidade relativa entre eles, concorda sobre o intervalo entre qualquer par de eventos. Para isso, podemos descrever e localizar eventos sem o uso de sistemas de referência, entretanto os humanos gostam de estabelecê-los porque são úteis para nossas necessidades práticas.

Nesse sentido, a Figura 1 apresenta um referencial S, com as coordenadas x e y, e um referencial S', com as coordenadas x' e y', que se move com velocidade \vec{v} em relação ao referencial S. Temos S' andando para a direita, um ponto P com um vetor posição \vec{r} originado em S, sendo o referencial inercial original, um vetor posição \vec{r}' originado no referencial em movimento S' e um vetor posição \vec{R} originado em S' medido em S.

Figura 1 – Gráfico experimental (x, y).



Fonte: elaborada pelos autores, criado em Matcha.

É possível tirar algumas conclusões do gráfico plotado. De início, nota-se que, se o vetor \vec{r} é a soma de dois vetores, ao calcular, tem-se que a derivada do vetor \vec{r} será exatamente a soma das derivadas:

$$\vec{r} = \vec{R} + \vec{r}'$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{R}}{dt} + \frac{d\vec{r}'}{dt}$$

Ainda conforme a Figura 1, tem-se de fato e por definição que $\frac{d\vec{r}}{dt}$ será a velocidade do

ponto P medida no referencial inercial S , $\frac{d\vec{R}}{dt}$ será a velocidade de S' em relação a S , e $\frac{d\vec{r}'}{dt}$ será a velocidade do objeto que está no ponto P relativamente ao referencial S' .

$$\vec{v} = \vec{V} + \vec{v}'$$

Ou seja, se não houver força nenhuma agindo no objeto, a velocidade será constante; se a força resultante for zero, a velocidade será constante. Em nosso exemplo, se v é constante, V e v' também serão constantes.

De acordo com Serway e Jewett (2014), através de um argumento geométrico, e tratando-se de dois sistemas inerciais, o tempo no qual um determinado evento ocorre para um observador em um referencial S é o mesmo para um evento em S' . Podem-se observar coordenadas espaciais para a posição e o tempo pelas equações:

$$x' = x - vt; y' = y; z' = z; t' = t.$$

Sabe-se que “a transformação de Galileu não afeta as distâncias entre partículas nem a massa, também não afeta uma força F que só dependa dessas distâncias” (Nussenzveig, 1998, p. 176). Com isso a lei fundamental da dinâmica não muda, portanto se comprehende que

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}; \vec{F}' = m' \cdot \vec{a}'; m' = m.$$

As transformações de Galileu reiteram que as leis da Física são as mesmas para todos os observadores em movimento retilíneo uniforme em relação a um referencial inercial, ou melhor, um referencial no qual as leis da Física são as mesmas em todas as direções e a velocidade é constante.

No entanto, quando as velocidades envolvidas se aproximam da velocidade da luz, as transformações de Galileu falham em descrever corretamente os fenômenos observados e devem ser substituídas pelas transformações de Lorentz, as quais consideram os efeitos relativísticos.

Como uma parte fundamental da teoria da relatividade especial de Einstein, nas transformações de Lorentz, “o intervalo de tempo entre dois acontecimentos não é o mesmo

para dois observadores em movimento relativo" (Alonso; Finn, 2014, p. 148). Com isso, para que a velocidade da luz fosse invariante, as transformações de Galileu deveriam ser substituídas, pois as medidas de espaço e tempo dependiam do sistema de referência em que eram feitas.

Serway e Jewett (2014) expõem que, em determinado evento que seja descrito por dois observadores, um estando em repouso no referencial S e outro em movimento em um referencial S' , se movendo para a direita com velocidade v , para um as coordenadas espaço-tempo serão x, y, z, t , e para o outro as coordenadas serão x', y', z', t' , logo $x = x'$.

As transformações descritas acima, para Nussenzveig (1998), devem atender a algumas condições: o movimento retilíneo uniforme em relação a S deve ser igual em S' ; a velocidade de S'' em relação a S deve ser nula, ou seja, $V = V \hat{x}$; e a frente de onda deve se propagar com velocidade c em ambos os referenciais se um sinal luminoso é enviado de $O = O'$ em $t = t' = 0$.

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \quad x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0$$

Partindo desses pressupostos, as transformações de Lorentz surgiram para elucidar a aparente contradição entre as leis da Física, principalmente em relação à constância da velocidade da luz. Considerando-se que a força que age sobre uma carga elétrica em um campo eletromagnético é invariante nas transformações de Lorentz, "isso sugere a relação $x' = k(x - vt)$, sendo k uma constante a ser determinada. Podemos admitir que $t' = a(t - bx)$ " (Alonso; Finn, 2014, p. 149). Com $k = a = 1$ e $b = 0$, segundo as transformações de Galileu, após as substituições nas equações, tem-se uma nova transformação compatível com a invariância da velocidade da luz, descrita por:

$$x' = k(x - vt) = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = k(t - bx) = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Sabe-se que a velocidade da luz no vácuo é representada por c . Quando a velocidade de um objeto em relação a um observador é muito menor do que a velocidade da luz, ou seja, $v \ll c$, as transformações de Lorentz se reduzem às transformações de Galileu; “sob o ponto de vista teórico, a transformação de Lorentz representa uma mudança conceitual muito profunda, especialmente com relação ao espaço e ao tempo” (Alonso; Finn, 2014, p. 150).

O fator de Lorentz descreve como o tempo e o espaço são afetados quando um objeto está se movendo em relação a um observador com velocidade próxima à velocidade da luz.

MATERIAIS E MÉTODOS

O ponto de partida para o estudo desenvolvido no presente trabalho foi o problema extraído do livro *Um curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica*, de H. Moysés Nussenzveig, volume 4, capítulo 6, problema 14, onde se pode constatar a limitação da segunda lei de Newton: *Uma partícula de massa de repouso m_0 , em repouso na origem para $t = 0$, é submetida a uma força constante F_0 até o instante t . (a) Calcule a posição $x(t)$ da partícula. (b) Calcule o limite não-relativístico do resultado e mostre que concorda com a previsão da mecânica newtoniana. (c) Calcule $x(t)$ no limite de tempos muito longos.*

Partindo da abordagem de Serway e Jewett (2014, p. 298), “um corpo cuja velocidade se aproxima de c em relação a um observador em S também tem uma velocidade próxima de c , em relação a um observador em S' , independentemente do movimento relativo de S e S' ”. Com isso, entende-se que a velocidade da luz é c em todos os referenciais inerciais.

Quando uma partícula é submetida a uma força, sua aceleração é diretamente proporcional a ela e inversamente proporcional à massa da partícula. Sabe-se que “a variação do momento é proporcional à força impressa, e tem a direção da força” (Nussenzveig, 2013, p. 98). Ante determinada situação-problema, tem-se $\frac{d\vec{P}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$, que corresponde à segunda lei de Newton. Assim, calcula-se a posição $x(t)$ da partícula, sabendo-se que a força constante e o momento linear não variam:

$$F_0 = \frac{dP}{dt}$$

$$F_0 \cdot t = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\begin{aligned}
 F_0 \cdot t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} &= m_0 \cdot v \\
 F_0^2 \cdot t^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) &= m_0^2 \cdot v^2 \\
 F_0^2 \cdot t^2 &= v^2 \left(m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}\right) \\
 v^2 &= \frac{F_0^2 \cdot t^2}{\left(m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}\right)}
 \end{aligned}$$

Sabe-se que, para encontrar a posição da partícula, é necessário calcular a velocidade, o que pode ser feito por:

$$v(t) = \frac{F_0 \cdot t}{\sqrt{m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}}}$$

Reescrevendo a velocidade como uma derivada, pode-se observar que

$$\frac{d(x(t))}{dt} = \frac{F_0 \cdot t}{\sqrt{m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}}}$$

Integrando ambos os lados da equação anterior com a integral fornecendo $x(t)$ diretamente, temos:

$$\int \frac{d(x(t))}{dt} dt = \int \frac{F_0 \cdot t}{\sqrt{m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}}} dt$$

Chamando o que está dentro da raiz de u :

$$u = m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}$$

$$du = 2 \cdot t \cdot \frac{F_0^2}{c^2} dt$$

$$F_0 \cdot t \cdot dt = \frac{1}{2} \frac{c^2}{F_0} du$$

Assim:

$$x(t) = \int \frac{1}{\sqrt{u}} \cdot \frac{1}{2} \frac{c^2}{F_0} du$$

$$x(t) = \frac{1}{2} \frac{c^2}{F_0^2} (2\sqrt{u} + k)$$

$$x(t) = \frac{1}{2} \frac{c^2}{F_0^2} \left(2 \sqrt{m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}} + k \right)$$

Sabe-se que a partícula encontrava-se na origem em $t = 0$, ou seja, $x(0) = 0$, assim:

$$x(0) = \frac{c^2}{F_0} \sqrt{m_0^2 \left(1 + \frac{F_0^2 \cdot (0)^2}{m_0^2 \cdot c^2} \right)} + \frac{c^2}{F_0} \cdot k$$

$$0 = \frac{c^2}{F_0} m_0 \sqrt{1 + \frac{c^2}{F_0^2} \cdot k}$$

$$\frac{-c^2}{F_0} m_0 = \cancel{k} \frac{c^2}{F_0} \cdot \cancel{k}$$

Ao considerar que $k = -m_0$, diz-se que a posição da partícula é:

$$x(t) = \frac{c^2}{F_0} m_0 \sqrt{1 + \left(\frac{F_0 \cdot t}{m_0 \cdot c} \right)^2} - \frac{c^2}{F_0} \cdot m_0$$

$$x(t) = \frac{c^2}{F_0} m_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{F_0 \cdot t}{m_0 \cdot c} \right)^2} - 1 \right]$$

Para melhor compreensão do resultado obtido, considera-se relevante realizar a

análise dimensional. Os símbolos utilizados para designar as dimensões de comprimento, tempo e massa são L , T e M , respectivamente. Sendo assim:

$$[x(t)] = \frac{[c^2]}{[F \cdot 0] \cdot t}$$

$$[x(t)] = \frac{\frac{L^2}{T^2}}{\frac{ML}{T^2}} M \cdot t$$

$$[x(t)] = L$$

O resultado acima corrobora a natureza física da grandeza posição.

Partindo do referencial teórico do presente trabalho, sabe-se que o limite não relativístico refere-se a situações em que as velocidades envolvidas são muito menores do que a velocidade da luz. Assumindo que $v \ll c$, por meio da expansão binomial $(1-x^2)^{-1/2} \approx 1 + \frac{1}{2}x^2 + \dots$, para $x \ll 1$, onde as potências de ordem superior a x são desprezadas na expansão, o fator de Lorentz fica:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \dots$$

Considerando essa aproximação, observa-se pela derivada que:

$$\frac{d(x(t))}{dt} = \frac{F_0 \cdot t}{m_0}$$

Integrando a equação:

$$\int \frac{d(x(t))}{dt} dt = \int \frac{F_0 \cdot t}{m_0} dt$$

$$x(t) = \frac{F_0 \cdot t^2}{2 \cdot m_0}$$

Ainda com base na contextualização feita pelos autores citados em seções anteriores, para calcular $x(t)$ para tempos muito longos, ou seja, para $t \rightarrow \infty$:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F_0 \cdot t}{\sqrt{m_0^2 + \frac{F_0^2 \cdot t^2}{c^2}}}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F_0 \cdot t}{\sqrt{t^2 \left(\frac{m_0^2}{t^2} + \frac{F_0^2}{c^2} \right)}}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F_0}{\sqrt{\left(\frac{m_0^2}{t^2} + \frac{F_0^2}{c^2} \right)}}$$

Com $t \rightarrow \infty$, pode-se notar que $\frac{m_0^2}{t^2} \rightarrow 0$:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F_0}{\sqrt{\frac{F_0^2}{c^2}}}$$

$$\frac{dx}{dt} = c$$

Integrando ambos os lados da equação:

$$\int \frac{dx}{dt} dt = \int c dt$$

$$x(t) = c \cdot t$$

A equação $x(t) = \frac{F_0 \cdot t^2}{2 \cdot m_0}$ apresenta o resultado obtido para a posição $x(t)$ da partícula.

Pode-se perceber que ela concorda com a mecânica newtoniana no regime não relativístico. Por outro lado, nota-se que, para tempos muito longos ($t \rightarrow \infty$), a equação $x(t) = c \cdot t$ evidencia que a partícula se afasta infinitamente da origem com movimento retilíneo uniforme.

No contexto do problema, as variáveis de entrada são: a massa de repouso da partícula m_0 , a força constante que age sobre o sistema F_0 , a velocidade da luz no vácuo c , o instante final t_n e o número de passo N .

A aplicação do método de Euler, para a solução do referido problema, envolve algumas etapas. Inicialmente, considerando-se que a aceleração do sistema possui a forma $a = f(v)$, sendo $v(t)$ e $x(t)$ as funções desconhecidas, para um determinado intervalo de tempo entre t_{n+1} e t_n , uniformemente dividido por intervalos finitos Δt 's, tem-se:

$$n = \frac{t_n}{\Delta t}, n = 0, 1, 2, \dots, N$$

Um segundo aspecto diz respeito ao cálculo da equação diferencial que será realizado em cada ponto:

$$\frac{dv}{dt} = f(v_n, t_n), n = 0, 1, 2, \dots, N$$

Considerando-se que a forma de f é conhecida, pode-se definir a aceleração do sistema.

Não obstante, é necessário substituir as derivadas por diferenças finitas quando Δt é muito pequeno, assim:

$$\frac{dv(t_n)}{dt} \approx \frac{v_{n+1} - v_n}{\Delta t}$$

A partir das equações anteriores, tem-se:

$$\frac{v_{n+1} - v_n}{\Delta t} = f(v_n, t_n) \quad \square$$

Observando a equação acima, é possível perceber que, para um v_n conhecido, pode-se obter v_{n+1} , tal que:

$$v_{n+1} = v_n + \Delta t \times f(v_n, t_n)$$

Obtendo $v(t)$, uma equação semelhante à anterior pode ser utilizada para o cálculo de $x(t)$:

$$x_{n+1} = x_n + \Delta t \times g(x_n, t_n)$$

Contudo, para as soluções serem obtidas, é preciso conhecer as condições iniciais v_0 e x_0 . Além disso, devem-se criar dois vetores (*arrays*) nulos, por meio do método `zeros()`, para armazenar os valores das soluções. Por exemplo, utiliza-se a equação $v_{n+1} = v_n + \Delta t \times f(v_n, t_n)$ para calcular primeiro v_1 a partir de v_0 , depois v_2 de v_1 , v_3 de v_2 , e assim por diante, armazenando-se esses valores no *array* `v_solucao`. De uma forma resumida, as soluções numéricas serão realinhadas por meio das equações a seguir:

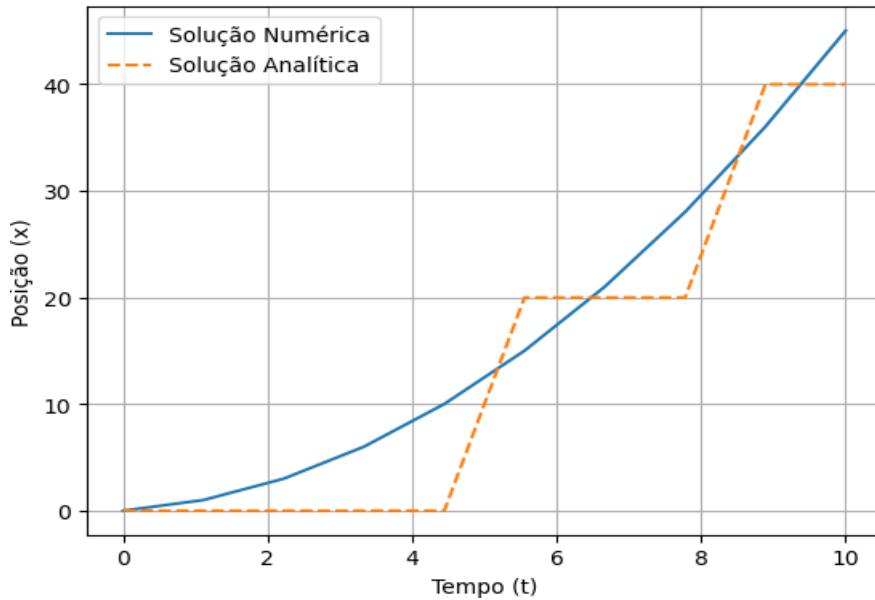
$$v_{n+1} = v_n + \Delta t \times f(v_n, t_n), v_0, n=0,1,2,\dots,N-1 \quad \square$$

$$x_{n+1} = x_n + \Delta t \times g(v_n, t_n), x_0, n=0,1,2,\dots,N-1 \quad \square$$

Para realizar esse procedimento de maneira a obter todas as soluções desejadas, é necessário introduzir uma estrutura *for loop*.

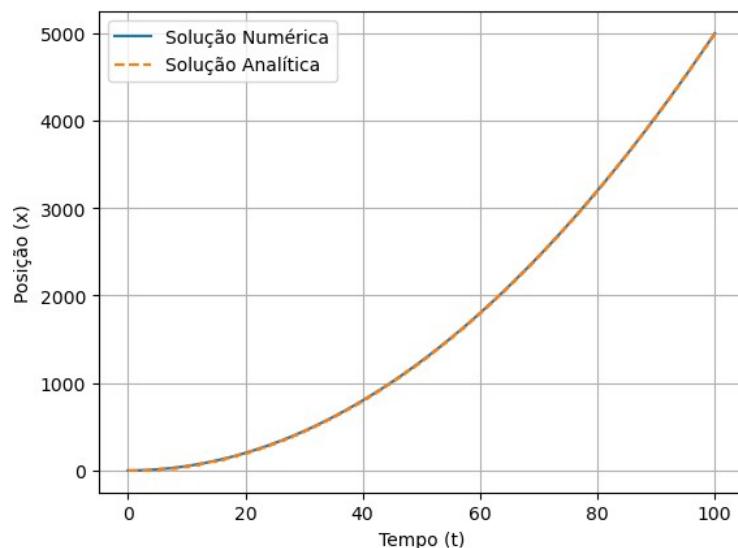
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como uma primeira tentativa para obter a solução numérica, atribui-se $t_n = 10s$ e $\Delta t = 1s$, o que implica $N = 10$. A Figura 2 mostra o resultado. A linha sólida refere-se à solução analítica, enquanto a linha tracejada ilustra a solução numérica. Nota-se uma clara discrepância no ajuste entre as duas curvas. De fato, o número de pontos calculados não é suficiente para o resultado fazer sentido.

Figura 2 – Gráfico da posição para o caso em que $t_n = 10s$ e $\Delta t = 1$.

Fonte: elaborada pelos autores.

E se os valores de $t_n = 100s$ e $\Delta t = 0.1$ forem inseridos? Nesse caso, $N = 1000$, logo, examinando a Figura 3, é possível verificar que o comportamento do resultado numérico se ajusta muito bem ao resultado exato.

Figura 3 – Gráfico da posição para o caso em que $t_n = 100s$ e $\Delta t = 0.1$.

Fonte: elaborada pelos autores.

Tomando em conta que os cálculos numéricos apresentam limitações, como proceder para verificar a coerência do que foi realizado? Um método que permite estudar diz respeito

a estabelecer uma comparação entre a solução analítica e a solução numérica implementada. Para isso, espera-se que o valor absoluto da diferença entre as soluções esteja em uma tolerância muito pequena. Diante do ensejo, considera-se que determinar um valor tolerável para o erro depende das necessidades e requisitos específicos do problema analisado. Nesse caso, como a discussão tem cunho puramente didático, atribui-se como limite de tolerância o valor 1×10^{-15} s. O resultado dessa implementação mostra a mensagem "A solução numérica está dentro da tolerância".

O problema em discussão neste trabalho propõe verificar o limite não relativístico ($v \ll c$). Espera-se que a solução obtida seja da forma da equação $v \cdot m_0 = P$, de maneira que seja interessante definir uma função de ajuste: $f_{ajuste}(t) = at^2 + bt + c$. O problema se resume a procurar os parâmetros a , b e c . Dessa forma, escolhendo-se um $\Delta t = 0.01$, com o intuito de utilizar mais pontos ($N = 10^4$) e chegar a um resultado mais preciso.

O resultado do procedimento acima leva aos parâmetros $a = 0.49990000502141707$, $b = 0.004999497409222843$, $c = 2.261512190791476 \times 10^{-8}$. Considerando-se a aproximação de duas casas decimais, nota-se que a função de ajuste é representada por:

$$f_{ajuste}(t) \approx at^2$$

Assim, $a = \frac{F_0}{2m_0} = 0.5$, logo o valor encontrado para o parâmetro é adequado ao

esperado. Nota-se que o comportamento está associado ao fato de que a solução analítica apresenta rápidas variações da posição ao longo do tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resolução do problema permitiu investigar o movimento de uma partícula submetida a uma força constante. No limite não relativístico, confirmou-se que a velocidade da partícula permanece muito menor que a velocidade da luz, em total concordância com as previsões da mecânica newtoniana. Contudo, ao analisar o comportamento para tempos muito longos, observou-se que, devido aos efeitos relativísticos, a velocidade da partícula tende assintoticamente para a velocidade da luz (c), sem nunca a exceder. Consequentemente, mesmo sob a ação contínua da força, a aceleração da partícula diminui à medida que ela se aproxima de c , mas a partícula continua a afastar-se indefinidamente da origem com o passar do tempo.

O estudo forneceu uma análise comparativa entre a solução analítica e a numérica para a posição da partícula, evidenciando a consistência da mecânica newtoniana no regime não relativístico, o que é fundamental para a descrição de muitas funcionalidades das leis que regulam o movimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física**: um curso universitário. São Paulo: Blucher, 2014.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física**: The feynman lectures on physics. ed. definitiva. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 1.

NUSSENZVEIG, H. M. **Um curso de física básica**: ótica, relatividade e física quântica. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1998. v. 4.

NUSSENZVEIG, H. M. **Um curso de física básica**: mecânica. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios da física**: mecânica clássica e relatividade. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TAYLOR, J. R. **Mecânica clássica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CAPÍTULO 11

CÁLCULO DOS MODOS QUASINORMAIS DE BURACOS NEGROS DE SCHWARZSCHILD UTILIZANDO LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON

Carlos Alex da Silva
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: carlos.alex@ifce.edu.br

Lucas Freitas Campos
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: lucas.campos@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

Um buraco negro consiste em uma solução das equações de Einstein da relatividade geral, podendo ser definido como uma região do espaço-tempo em que a velocidade de escape é maior do que a velocidade da luz. Nesses objetos, existem vibrações semelhantes a sistemas mecânicos oscilatórios. Essas oscilações são denominadas de modos quasinormais (Chirenti, 2021).

No que se refere à dinâmica dos buracos negros, pequenas perturbações neles podem ocasionar a geração de ondas gravitacionais propagando-se no espaço-tempo. As ondas gravitacionais perdem sua energia por oscilarem em torno de seu ponto de equilíbrio e tendem a cair no horizonte de eventos ou serem dissipadas pelo infinito. Independentemente da perturbação, pode-se descrever a oscilação como a soma de funções senoidais exponenciais amortecidas, que são denominadas modos quasinormais. Por meio dessa modelagem matemática, é possível compreender a natureza física dos buracos negros.

Não existe uma forma geral de obter os modos quasinormais. A forma da métrica do espaço-tempo e as condições de contorno devem conduzir à determinação desses modos. A metodologia numérica é empregada em alguns casos para obter os resultados. A utilização de uma linguagem de programação pode ser necessária, pois a resolução das equações diferenciais pode ser complexa à medida que mais condições físicas são inseridas em um problema de buracos negros.

No que tange ao cálculo de modos quasinormais de buracos negros, a linguagem Python tem se mostrado interessante e foi escolhida para o desenvolvimento deste trabalho,

uma vez que pode ser considerada de alto nível, possui uma sintaxe mais simples e conta com diversas bibliotecas disponíveis para os mais diversos tipos de aplicação. Além disso, tem uma comunidade ativa, o que propicia o esclarecimento de dúvidas relacionadas a implementações.

O objetivo geral deste projeto é calcular os modos quasinormais de buracos negros de Schwarzschild por meio da aplicação do método de aproximação Wentzel-Kramers-Brillouin (WKB). Para isso, busca-se, primeiramente, apresentar os conceitos fundamentais relacionados à física de buracos negros, com ênfase na solução de Schwarzschild das equações de campo da Relatividade Geral. Em seguida, é realizada uma descrição quantitativa das propriedades desse tipo de buraco negro, abordando suas características geométricas e físicas. Também são explorados os modos quasinormais, com o intuito de compreender sua relevância na dinâmica de perturbações em buracos negros. Por fim, os valores desses modos são determinados utilizando-se o método WKB, com a implementação dos cálculos feita em linguagem de programação Python, a fim de facilitar a análise e visualização dos resultados obtidos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Buracos negros são, provavelmente, uma das mais fantásticas e enigmáticas estruturas do universo. Como foi dito, podem ser definidos como regiões do espaço-tempo em que a velocidade de escape é maior do que a velocidade da luz. Neles existe uma região de limite do espaço-tempo da qual nenhum corpo celeste pode escapar, denominada horizonte de eventos. Essa região pode ser comparada a uma membrana de única direção, de modo que todos os objetos que caem nela não podem mais voltar pelo mesmo caminho.

Uma das características importantes é sua massa. De acordo com ela, os buracos negros podem ser classificados no tipo P, quando possuem aproximadamente de 20 até 30 massas solares, ou G, chamados de buracos negros supermassivos, quando possuem milhões ou bilhões de massas solares.

Em 1915, Karl Schwarzschild (Schwarzschild, 1916) publicou as primeiras soluções exatas para as equações da teoria da relatividade geral de Einstein pouco tempo antes de falecer de uma doença contraída enquanto servia ao exército alemão durante a Primeira Guerra Mundial. A métrica de Schwarzschild é definida como:

$$ds^2 = c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (1)$$

onde:

- G é a constante de gravitação universal;
- M é a massa do objeto;
- $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$ é o ângulo sólido;
- $r_s = \frac{2GM}{c^2}$ é o raio de Schwarzschild.

Essa solução é definida para um buraco negro estático, com simetria esférica e ausência de momento angular e carga. Considerando-se um corpo esférico de raio R e a coordenada radial r , as seguintes condições físicas podem ser observadas:

- a solução é válida para $r > R$;
- a existência de um buraco negro é caracterizada para $r < R$;
- quando $r = R$, é possível determinar o campo gravitacional tanto dentro quanto fora do buraco negro;
- se $M \rightarrow 0$ ou $r \rightarrow \infty$, então a métrica de Schwarzschild converge para a métrica de Minkowski.

A métrica de Schwarzschild é obtida mediante a equação de Einstein, por meio de uma solução no vácuo para um campo gravitacional simetricamente esférico. Para um elemento de linha $ds^2 = e^\nu dt^2 - e^\lambda dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2\theta d\phi^2$, calculando-se os símbolos de Christoffel nesse elemento, bem como os elementos do tensor de Einstein, e integrando-se as equações de campo para um campo gravitacional esférico e simétrico no vácuo, obtém-se o tensor métrico covariante:

$$g_{\mu\nu} = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) 0000 - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1} 0000 - r^2 0000 - r^2(\theta). \quad (2)$$

O tensor contravariante é dado por

$$g^{\mu\nu} = \left(\left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1} 0000 - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) 0000 - r^{-2} 0000 - r^{-2}(\theta)\right). \quad (3)$$

Equação dos modos quasinormais

Os modos quasinormais podem ser uma resposta matemática para o entendimento de aspectos importantes relacionados aos buracos negros, tais como a existência do horizonte de eventos, singularidades e ondas gravitacionais (Oliveira, 2021). Eles são um tema bastante relevante no meio acadêmico, sobre os quais se podem citar alguns exemplos de trabalhos: Dadam (2011); Zhydenko (2009); Franchi, Reis e Neto (2014).

Uma perturbação de um buraco negro pode ocasionar uma onda gravitacional em torno de um ponto de equilíbrio. Desta forma, a onda perde a sua energia, sendo consumida pelo horizonte de eventos ou dissipada ao infinito. Essa oscilação é dada pela soma de funções seno exponencialmente amortecidas, denominadas modos quasinormais. Esses modos são as frequências naturais que descrevem as propriedades do buraco negro.

Em termos matemáticos, um modo quasinormal é representado por um número complexo. A parte real nos fornece a frequência de oscilação e a parte imaginária representa a componente amortecida da perturbação (Cruz; Brito; Silva, 2020).

A equação dos modos é descrita por equações semelhantes ao do problema de espalhamento próximo a um potencial de barreira. Diante disso, em Iyer e Will (1987), foi proposto um método semianalítico para solucionar equações diferenciais com coeficientes tendo variação no espaço.

Nas proximidades do horizonte de eventos, pode-se utilizar a equação de Klein-Gordon, a qual é a versão relativística da equação de Schrödinger. Considerando um sistema de coordenadas de Schwarzschild, a equação das perturbações próximas de um buraco negro é dada por Zhydenko (2009):

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial r_i^2} + V(r) \right) \Psi(t, r) = 0. \quad (4)$$

O termo $V(r)$ é denominado potencial de Regge-Wheeler. Ele possui características semelhantes a um potencial barreira, estudado na Mecânica Quântica, e será útil para a obtenção do método de cálculo dos modos. Ele depende de constantes M e l , que representam respectivamente os valores da massa de um objeto e multipolos de radiação. A expressão do potencial é dada por

$$V(r) = \left(1 - \frac{2}{M}\right) \left[\frac{l(l+1)}{r^2} - \frac{6M}{r^3} \right]. \quad (5)$$

MATERIAIS E MÉTODOS

Método WKB

Existem alguns métodos para determinar os valores dos modos quasinormais. Podem-se destacar o método dos potenciais invertidos, método das frações contínuas e o método WKB (Dadam, 2005). Neste trabalho, fez-se uso do último método citado, devido a sua menor dificuldade de implementação, comparado aos dois métodos anteriores.

O método WKB desenvolvido por Iyer e Will (1987), com versão modificada no trabalho de Cruz, Silva e Brito (2019), será utilizado no cálculo dos modos quasinormais de buracos negros de Schwarzschild. Os quadrados das frequências são dados pela seguinte equação, com $\forall n \in N, \alpha = n + 0.5$:

$$\omega^2 = V_0 + \Delta - i \left[(\alpha) \left(-2V_0^{(2)} \right)^{0.5} (1 + \Omega) \right] \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{1}{8} \left[\frac{V_0^{(4)}}{V_0^{(2)}} \right] \left(\frac{1}{4} + \alpha^2 \right) - \frac{1}{288} \left(\frac{V_0^{(3)}}{V_0^{(2)}} \right)^2 (7 + 60\alpha^2) \quad (7)$$

$$P_1 = \frac{5}{6912} \frac{(V_0^{(3)})^4}{(V_0^{(2)})^4} (77 + 188\alpha^2) \quad (8)$$

$$P_2 = \frac{-1}{384} \frac{(V_0^{(3)})^2 V_0^{(4)}}{(V_0^{(2)})^3} (51 + 100\alpha^2) \quad (9)$$

$$P_3 = \frac{1}{2304} \left(\frac{V_0^{(4)}}{V_0^{(2)}} \right)^2 (65 + 68\alpha^2) \quad (10)$$

$$P_4 = \frac{1}{288} \left(\frac{V^{(3)} V^{(5)}}{V_0^{(2)}} \right) (19 + 28\alpha^2) \quad (11)$$

$$P_5 = \frac{-1}{288} \left(\frac{V_0^{(6)}}{V_0^{(2)}} \right) (5 + 4\alpha^2) \quad (12)$$

$$\Omega = \frac{-1}{V_0^{(2)}} (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) \quad (13)$$

Neste método, V_0 representa o valor de máximo do potencial, sendo $\alpha = n + 0.5$ e $n = 0, 1, 2, \dots$

A métrica de Schwarzschild possui singularidades no horizonte de eventos ($r = 2M$) e no centro do buraco negro ($r = 0$). É possível minimizar o problema escolhendo um novo sistema de coordenadas, definido como coordenada *tortoise*. Uma variável r_i relaciona-se com r por meio da seguinte equação de transformação:

$$r_i = r + 2M \ln \left| \frac{r}{2M} - 1 \right| \quad (14)$$

Observa-se que, quando $r \rightarrow \infty$, a coordenada r_i tende a r ; por outro lado, quando $r \rightarrow 2M$, $r_i \rightarrow -\infty$, refletindo o comportamento assintótico próximo ao horizonte de eventos de um buraco negro de Schwarzschild.

Linguagem de programação

Um programa foi desenvolvido para determinar os valores desses modos, com o valor de M variando de 0 até um valor desejado, e / variando de 2 também até um valor desejado.

Foram utilizados os seguintes passos para a construção do algoritmo:

- determinou-se o ponto de máximo do potencial;
- substituiu-se o valor do ponto de máximo;
- utilizou-se o potencial em termo da coordenada *tortoise* por meio da função de Lambert;

- determinaram-se com esse novo potencial os termos das equações descritas;
- determinaram-se os valores dos modos para $M = 1$, $n = 0, 1, 2, 3$ e $= 2, 3, 4$;
- utilizou-se a fórmula de Abraham de Moivre para o cálculo de potências de complexos.

Processo de desenvolvimento do algoritmo

Durante o processo de desenvolvimento do algoritmo, foram utilizadas as seguintes bibliotecas do Python:

1. biblioteca NumPy: para cálculos de funções;
2. biblioteca SymPy: para trabalhar com programação simbólica (cálculo de derivadas, otimizações e simplificações);
3. biblioteca SciPy: para trabalhar com a função logaritmo do produto, a fim de expressar em função da coordenada *tortoise*;
4. biblioteca Pandas: para trabalhar com *dataframes*, oferecendo uma melhor visualização dos resultados obtidos;
5. biblioteca Matplotlib: para a criação dos gráficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do cálculo dos modos quasinormais de buracos negros estão expressos na Tabela 1. O algoritmo implementado em Python gerou os resultados com seis casas decimais.

Tabela 1 – Resultados do cálculo dos modos quasinormais.

n	$ l=2$	$ l=3$	$ l=4$
0	0,3731669772 -0,0875621727 i	0,5994807792 -0,0921260082 i	0,8092943064 -0,0937431282 i
1	0,3401496049 -0,2625011278 i	0,582830511 -0,276813268 i	0,7975449486 -0,2814649595 i
2	0,2849500177 -0,4458526731 i	0,5566105851 -0,4652003937 i	0,7788619211 -0,4712618249 i
3	0,2166354685 -0,6385810525 i	0,5253720242 -0,6583168732 i	0,756306098 -0,6648585573 i

Fonte: próprios autores.

Os resultados apresentados por Cruz (2015) estão expressos na Tabela 2:

Tabela 2 – Resultados apresentados por Cruz (2015).

n	l=2	l=3	l=4
0	0,3731077743-0,08899009911i	0,5992476055 -0,09261516057 i	0,8090899525-0,09410349710i
1	0,3456384197-,2744383876i	0,5822144716 -0,2811157931 i	0,79664328299 -0,2841812650 i
2	0,3022607897 -0,4706309237 i	0,5528894322 -0,4763235963 i	0,7734757541 -0,4787150773 i
3	0,2466397843 -0,6725958069 i	0,5152927928 -0,6770832114 i	0,7430526525-0,6780155556i

Fonte: Cruz; Brito; Silva, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modos quasinormais são uma resposta matemática crucial para entender aspectos importantes relacionados aos buracos negros, como a existência de horizontes de eventos, singularidades e ondas gravitacionais.

Neste trabalho, foi aplicada a metodologia WKB, com o auxílio da linguagem de programação Python, para calcular os modos quasinormais de buracos negros de Schwarzschild. Os resultados obtidos são considerados relevantes, especialmente quando comparados com os da literatura, embora alguns modos não tenham alcançado uma convergência satisfatória. Isso indica a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre as aproximações feitas pela linguagem utilizada.

O desenvolvimento de uma aplicação acessível à comunidade acadêmica, de forma geral, pode gerar boas perspectivas para futuras investigações. Para trabalhos futuros, espera-se a utilização do Python no cálculo dos modos de outros tipos de buraco negro, além de explorar diferentes métodos para a obtenção desses modos. O tema é de grande relevância, tanto no contexto teórico quanto computacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHIRENTI, C. Buracos negros, modos quasinormais e ondas gravitacionais, **Cadernos de Astronomia**, Vitória, v. 2, n. 2, p. 71, ago. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astronomia/article/view/35941/23729>. Acesso em: 9 jul. 2023.

CRUZ, M.; BRITO, F.; SILVA, C. Polar gravitational perturbations and quasinormal modes of a loop quantum gravity black hole. **Physical Review D**, APS, v. 102, n. 4, p. 044063, 2020. Disponível em: <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.102.044063>. Acesso em: 25 jun. 2023.

CRUZ, M.; SILVA, C.; BRITO, F. Gravitational axial perturbations and quasinormal modes of loop quantum black holes. **The European Physical Journal C**, Springer, v. 79, p. 1-10, fev. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1140/epjc/s10052-019-6565-2>. Acesso em: 28 jul. 2023.

CRUZ, M. de B. **Ondas Gravitacionais a partir de Buracos Negros Auto-duais em Gravidade Quântica de Laços**. 2015. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

DADAM, F. **Oscilações de buracos negros**. 2005. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Universidade de Campinas, Campinas, 2005.

DADAM, F. **Soluções do tipo wormhole: espalhamento, estabilidade e modos quase-normais**. 2011. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

DIAS, I. P. L. **Introdução à mecânica quântica relativística: a equação de Klein-Gordon**. Universidade Federal de São Carlos, 2021.

FERNANDES, T. A termodinâmica de buracos negros. **Cadernos de Astronomia**, v. 4, n. 1, p. 78-90, 2023.

FRANCHI, C.; REIS, R.; NETO, M. B. Breve História dos buracos negros, **Revistas Científicas Unilago**, v. 11, n. 1, p. 41-53, jan-dez 2012.

IYER, S.; WILL, C. M. Black-hole normal modes: A WKB approach. I. Foundations and application of a higher-order WKB analysis of potential-barrier scattering. **Physical Review D**, APS, v. 35, n. 12, p. 3621, 1987.

MACHADO, R.; TORT, A. Michell, Laplace e as estrelas negras: uma abordagem para professores do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 38, n. 2, p. e2314, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sf3PwZCcX8Myn8WMjtLqSxC/?lang=pt>. Acesso em: 5 jul. 2023.

OLIVEIRA, R. **Sobre cálculos dos modos quasinormais e deflexão de luz devido a wormholes e buracos negros**. 2021. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/61138/7/2021_tese_r oliveira.pdf. Acesso em: 12 jul. 2023.

SCHWARZSCHILD, K. Über das gravitationsfeld eines massenpunktes nach der einsteinschen theorie. **Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften**. Berlim, p. 189-196, 1916.

SILVA, C. A. S. **Campos tensoriais anti-simétricos de matéria em espaços curvos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/1070>. Acesso em: 3 ago. 2023.

SOUZA, H. R. **O princípio de equivalência**. 2010. TCC (Licenciatura Plena em Física) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2010.

WÜRZ, G. Buracos negros de Schwarzschild e de Kerr: uma abordagem usando o Python, **Physicae Organum**, Brasília-DF, v. 8, n. 2, p. 93-117, 2022. Disponível em:

<https://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/45723/34962>. Acesso em: 16 ago. 2023.

ZHYDENKO, O. **Perturbações lineares de buracos negros: estabilidade, modos quase-normais e caudas**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-17082009-092359/publico/tese.pdf>. Acesso em: 5 maio 2023.

CAPÍTULO 12

PROBLEMA DE CONDUÇÃO DO CALOR

Antonio Francisco Angelo da Silva
Egresso do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: antoniofranciscoangelo41@gmail.com

José Lucas Ferreira Machado
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: lucas.machado@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

O estudo sobre equações diferenciais (EDs) teve início com a invenção do cálculo diferencial e integral no século XVII. Inicialmente, os fenômenos físicos eram muito bem representados por equações diferenciais ordinárias (EDOs), e isso estimulou os estudiosos das áreas de matemática e física do século XVIII a buscarem modelos para problemas da mecânica do contínuo e de outros ramos da física, de modo que os fenômenos físicos fossem representados em termos de equações diferenciais parciais (EDPs).

Entre as mais importantes que surgiram nessa época, podemos citar a equação do calor, desenvolvida por Fourier (Figueiredo, 2018):

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, t) = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, t)$$

Jean Baptiste Joseph Fourier foi um notável matemático francês que em 1807 apresentou à Academia de Ciências da França um artigo sobre o problema da condução do calor em barras, chapas e sólidos metálicos. De acordo com Eves (2011), no desenvolvimento desse estudo, foi feita a surpreendente afirmação de que toda função definida num intervalo finito por um gráfico arbitrário pode ser escrita através de uma soma de funções seno e cosseno. Isso significa que uma função qualquer definida em $[-\pi, \pi]$ pode ser representada no intervalo em questão por uma série trigonométrica:

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)], \quad (1)$$

denominada série de Fourier, onde a_n e b_n são valores reais.

A afirmação que Fourier fez foi encarada com muito ceticismo por Laplace, Lagrange e Legendre, de modo que o trabalho em questão foi rejeitado. No entanto, Fourier continuou suas pesquisas sobre o calor e em 1822 publicou o seu grande clássico da matemática, denominado *Théorie Analytique de la Chaleur* (Fourier, 1822). Em tal obra, Fourier estudou o problema de condução do calor em uma barra finita de comprimento $L > 0$ com as extremidades mantidas a temperatura nula.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar resultados de existência e unicidade para o problema de condução do calor em uma barra finita.

REFERENCIAL TEÓRICO

Após o trabalho de Fourier (1822), a difusão térmica tem sido estudada por diversos cientistas ao longo do tempo, incluindo Maxwell, Einstein e Taylor, que contribuíram significativamente para a compreensão desse fenômeno (Narasimhan, 1999). Destacam-se os estudos sobre convergência da séries de Fourier e existência de solução para equação do calor.

As constantes a_n e b_n em (1) são os coeficientes de Fourier da função, os quais são definidos por integrais. Desse modo, é necessário que tal função seja integrável e absolutamente integrável. As funções com tais propriedades são denotadas por L^1 . As definições formais dos coeficientes e da série de Fourier de uma função f são apresentadas abaixo.

Definição 1 (Série de Fourier). Seja $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ uma função periódica de período $2L$ e L^1 no intervalo $[-L, L]$. Então a série de Fourier de f é designada por $S[f]$, a qual é expressa na forma

$$S[f] = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right],$$

onde a_n e b_n são os coeficientes de Fourier de f , os quais são dados por

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx, \quad \text{para } n \geq 0;$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx, \quad \text{para } n \geq 1.$$

Uma função f definida em um intervalo fechado é de quadrado integrável se f e $|f|$ são integráveis. As funções que possuem essas propriedades são designadas pela nomenclatura L^2 . De acordo com Schmidt (2019), uma relação importante entre uma função L^2 periódica de período $2L$ e a soma dos quadrados de seus coeficientes de Fourier é a identidade de Parseval, a qual é expressa na forma

$$\frac{a_0^2}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2) = \frac{1}{L} \int_{-L}^L |f(x)|^2 dx.$$

Naturalmente surge o questionamento sobre a relação entre f e $S[f]$. A igualdade entre uma função e sua série de Fourier não se verifica para uma função f arbitrária. Desse modo, uma resposta mais precisa é fornecida pelos teoremas a seguir, os quais se encontram, respectivamente, em Churchill (1963, p. 90) e Figueiredo (2018, p. 72).

Teorema 1 (Fourier): *Seja $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ uma função seccionalmente diferenciável com período $2L$. Então, $S[f]$ converge pontualmente para a média aritmética dos limites laterais, ou seja,*

$$S[f] = \frac{1}{2} [f(x+0) + f(x-0)].$$

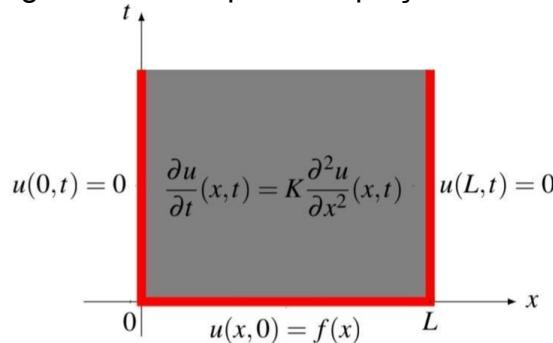
Teorema 2 (Convergência Uniforme da Série de Fourier): *Seja f uma função periódica de período $2L$, seccionalmente contínua, e tal que f' seja uma função L^2 . Então, $S[f]$ converge uniformemente para f em todo intervalo fechado onde não há descontinuidades de f .*

O problema de condução do calor em uma barra homogênea com temperatura nula nas extremidades é modelado pela equação do calor e por condições inicial e de fronteira:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t}(x, t) = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, t), & \text{em } R = (0, L) \times (0, \infty), \\ u(0, t) = u(L, t) = 0, & \text{para } t > 0, \\ u(x, 0) = f(x), & \text{para } 0 \leq x \leq L, \end{cases} \quad (2)$$

onde K é a constante de difusão térmica e a função f representa a distribuição de temperatura na barra em $t = 0$. O sistema (2) é chamado de problema de valores inicial e de fronteira (PVIF). Estas condições são representadas na Figura 1.

Figura 1 – PVIF para a equação do calor.



Fonte: autoria própria.

Uma função que satisfaz as três relações do PVIF (2) não é necessariamente uma solução desse problema. Por exemplo, considerando $f(x) = 2025$ e uma função $u(x, t) = 0$ para $t > 0$, com $u(x, 0) = 2025$, observa-se que esse comportamento não corresponde ao esperado para a temperatura da barra. Assim, é fundamental estabelecer definições precisas para o PVIF (2). Considere $R = [0, L] \times [0, \infty]$.

Definição 2 (Solução sentido (I)). Uma função $u : R \rightarrow \mathbb{R}$ é uma solução do PVIF (2), se for contínua em R , possuir derivadas parciais $\frac{\partial u}{\partial t}$ e $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ em R e satisfizer as relações em (2).

O fato de u ser contínua em R implica que $f(x)$ deve ser contínua e que $f(0) = f(L) = 0$. Porém, há casos em que isso não acontece, por exemplo: numa barra constituída de duas partes com temperaturas diferentes, no ponto de contato entre as partes, tem-se uma descontinuidade. Desse modo, faz-se necessária outra definição de solução mais ampla.

Definição 3 (Solução sentido (II)). Considere $\hat{R} = [0, L] \times (0, \infty)$. Uma função contínua $u : \hat{R} \rightarrow \mathbb{R}$ é uma solução do PVIF (2), se satisfaz (2)₁, (2)₂ e

$$\lim_{t \rightarrow 0} \int_0^L u(x, t) \varphi(x) dx = \int_0^L f(x) \varphi(x) dx, \quad (3)$$

para toda função $\varphi(x)$ seccionalmente contínua em $[0, L]$.

Se uma função u é solução do PVIF (2) no sentido (I), então u também é solução no sentido (II). De fato, basta considerar φ contínua, pois ela é seccionalmente contínua, e então se pode considerar uma partição do intervalo $[a, b]$. Dessa forma, a função $u(x, t)\varphi(x)$ é uniformemente contínua em $[0, L] \times [0, 1]$, de modo que o limite e a integral em (3) podem ser invertidos.

A condição inicial (3) é satisfeita em um sentido médio, tendo em vista que é mais comum referir-se à temperatura média na vizinhança V de um ponto x do que propriamente à temperatura em x .

Figueiredo (2018, p. 108) apresenta o teorema a seguir, que garante a existência de solução no sentido (II) para o PVIF (2) quando a função f é L^2 :

Teorema 3 (Existência de solução no sentido (II)). *Seja f uma função L^2 em $[0, L]$. Então (5) define uma função em \hat{R} que é solução do PVIF (2) no sentido (II).*

Um resultado equivalente com solução no sentido (I) é encontrado em Figueiredo (2018, p. 72):

Teorema 4. *Seja $f: [0, L] \rightarrow \mathbb{R}$ uma função contínua com $f(0) = f(L) = 0$, tal que f' exista em $[0, L]$ e seja L^2 . Então, a expressão (5) define uma função contínua em \mathbb{R} , que é solução do PVIF (2) no sentido (I).*

Pesquisas mais modernas continuam a explorar tanto as propriedades teóricas quanto as aplicações práticas da equação do calor. Adomian (1986) emprega o “método de decomposição”, originalmente desenvolvido para obter soluções aproximadas, precisas e computacionalmente convergentes de equações de operadores estocásticos não lineares, aplicando-o de forma inovadora à resolução da equação do calor. Aquino *et al.* (2016) fornecem soluções para a equação de difusão de calor em sistemas unidimensionais e homogêneos quando submetidos a certas condições de contorno.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como pesquisa teórica, com abordagem qualitativa, voltada ao aprofundamento e desenvolvimento de conceitos matemáticos

relacionados ao problema de condução do calor em uma barra homogênea com temperatura nula nas extremidades.

Para resolver o PVIF (2), aplica-se o método de Fourier (Boyce; DiPrima, 2015), o qual consiste inicialmente em escrever $u(x, t) = F(x)G(t)$. Em seguida, substituindo essa expressão na equação do calor, obtém-se as EDOs

$$F''(x) - \sigma F(x) = 0 \quad \text{para } 0 < x < L \quad \text{e} \quad G'(t) - \sigma K G(t) = 0,$$

onde σ é uma constante. A partir das soluções gerais dessas EDOs, consideram-se as condições de fronteira do PVIF (2), obtendo-se a expressão

$$u_n(x, t) = e^{-n^2 \pi^2 K t / L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right),$$

a qual é solução do problema em questão somente se a condição inicial for uma função da forma $f_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$. Entretanto, a equação do calor é linear, então, pelo princípio da superposição (Zill; Cullen, 2008), se a condição inicial for $f = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_N$, a solução correspondente terá a forma

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^N b_n e^{-n^2 \pi^2 K t / L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right).$$

Quando $f(x)$ puder ser expressa em uma série da forma

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right), \quad (4)$$

o candidato à solução do PVIF (2) será

$$\sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{-n^2 \pi^2 K t / L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right). \quad (5)$$

A função f do PVIF (2) está definida somente no intervalo $[0, L]$. Então, estendendo-a para toda a reta \mathbb{R} , de modo que essa extensão seja uma função ímpar e periódica de período $2L$, tem-se que os valores de c_n devem ser os coeficientes de Fourier de f , ou seja,

$$c_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx. \quad (6)$$

A expressão em (5) é de fato solução do PVIF (2). Para verificar isto, são necessários os lemas a seguir. O primeiro é consequência do teste M de Weierstrass, e o segundo pode ser encontrado em Lima (2012).

Lema 1. Seja $f : [0, L] \rightarrow \mathbb{R}$ uma função L^1 , e considerando as séries

$$\sum_{n=1}^{\infty} \square c_n n^p e^{-\alpha n^2 t} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad \text{e} \quad \sum_{n=1}^{\infty} \square c_n n^p e^{-\alpha n^2 t} \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right),$$

onde $p \in \mathbb{N}$, α é uma constante positiva e c_n é dado por (6). Então, essas séries convergem uniformemente em qualquer sub-retângulo de \hat{R} da forma:

$$\underline{R}_{t1} = \{(x, t) : 0 \leq x_1 \leq x \leq x_2 \leq L, 0 < t_1 \leq t \leq t_2 < \infty\}.$$

Lema 2. Seja $\sum_{n=1}^{\infty} \square u_n(x, t)$ uma série de funções continuamente diferenciáveis em um retângulo $\underline{R}_{12} = \{(x, t) : x_1 \leq x \leq x_2, t_1 \leq t \leq t_2\}$, tal que essa série converja para uma função $u(x, t)$, e tal que a série $\sum_{n=1}^{\infty} \square \frac{\partial u_n(x, t)}{\partial x}$, obtida através da derivação termo a termo, converja uniformemente para uma função $v(x, t)$. Então, $\frac{\partial u}{\partial x}$ existe e é igual a $v(x, t)$.

O Método de Fourier é utilizado para demonstrar o Teorema 3. De fato, aplicando o Lema 1, para $p = 0$ e $\alpha = \pi^2 K/L^2$, tem-se que a série (5) converge uniformemente em sub-retângulos da forma \underline{R}_{t1} para qualquer $t_1 > 0$. Desse modo, definindo uma função $u(x, t)$ contínua em \underline{R}_{t1} . Como $t_1 > 0$ é arbitrário, então a função contínua está definida em \hat{R} . Calculando a derivada primeira em relação a t e a derivada segunda em relação a x na série e aplicando novamente o Lema 1, para $p = 2$ e $\alpha = \pi^2 K/L^2$, a série das derivadas convergem uniformemente em \underline{R}_{t1} . Logo, pelo Lema 2, em \underline{R}_{12} obtém-se

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, t) = -K \frac{\pi^2}{L^2} \sum_{n=1}^{\infty} n^2 c_n e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

(7)

e

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, t) = -\frac{\pi^2}{L^2} \sum_{n=1}^{\infty} n^2 c_n e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right).$$

(8)

Devido à arbitrariedade de t_1 positivo, as expressões em (7) e (8) são válidas em \hat{R} . Logo, $u(x, t)$ é uma solução da equação do calor em \hat{R} . Além disso, facilmente se verifica que tal função também satisfaz às condições de fronteira do PVIF (2).

O objetivo agora é mostrar que $u(x, t)$ satisfaz a relação (3)₃. Estendendo $\varphi(x)$ como uma função ímpar e periódica de período $2L$, seus coeficientes de Fourier são dados por

$$b_n = \frac{2}{L} \int_0^L \varphi(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx. \quad (9)$$

Aplicando a identidade de Parseval às funções φ , f e $f + \varphi$, e utilizando (6) e (9), obtém-se

$$\sum_{n=1}^{\infty} b_n^2 = \frac{2}{L} \int_0^L |\varphi(x)|^2 dx, \quad \sum_{n=1}^{\infty} c_n^2 = \frac{2}{L} \int_0^L |f(x)|^2 dx$$

e

$$\sum_{n=1}^{\infty} c_n b_n = \frac{2}{L} \int_0^L \varphi(x) f(x) dx. \quad (10)$$

Por outro lado, para $t > 0$, tem-se que

$$\begin{aligned} \int_0^L u(x, t) \varphi(x) dx &= \int_0^L \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \varphi(x) dx \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^L c_n e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \varphi(x) dx, \end{aligned} \quad (11)$$

onde, para inverter a integral com a série, usa-se o fato de que, para todo t positivo fixado, a série converge uniformemente em x . Logo, relacionando (9) e (11), obtém-se

$$\int_0^L u(x, t) \varphi(x) dx = \frac{L}{2} \sum_{n=1}^{\infty} c_n b_n e^{-n^2 \pi^2 K t / L^2}, \quad (12)$$

e ao aplicar a desigualdade de Young e a identidade de Parseval na série em (12), pelo teste M de Weierstrass (Guidorizzi, 2007), obtém-se a convergência uniforme para $t \geq 0$ da série de funções, e, assim, tal série define uma função contínua de t . Portanto, tomando o limite em (12), conclui-se usando (10).

O fenômeno de condução do calor é altamente regularizador ou suavizador. Isso significa que a distribuição de temperatura em uma barra, dada por uma função arbitrária, tende com uma velocidade infinita a se uniformizar e ser representada por uma função C^∞ , pois, derivando em relação a x na série, obtém-se que as derivadas de qualquer ordem têm expressão similar a (9), e, ao aplicar o Lema 1 e o Lema 2, tais funções são iguais às derivadas de $u(x, t)$ em relação a x , daí segue que $u(x, t)$ é infinitamente diferenciável para t positivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sob determinadas hipóteses para a condição inicial, a solução do PVIF (2) é única, e também se pode melhorar o resultado de existência no sentido (I). O princípio do máximo e mínimo (Figueiredo, 2018) será aplicado na obtenção do resultado de unicidade da solução no sentido (I).

Será mostrado a seguir que, quando a função f é contínua, a solução do PVIF (2) é única.

Teorema 5 (Unicidade de solução no sentido (I)). *Seja f uma função contínua em $[0, L]$. Então, a solução do PVIF (2) no sentido (I), caso exista, é única.*

Demonstração. Supondo que $u_1(x, t)$ e $u_2(x, t)$ sejam duas soluções do PVIF (2) no sentido (I), então, para provar a unicidade de solução, é suficiente mostrar que $u_1 = u_2$.

Considere-se a função $v = u_2 - u_1$, a qual é contínua em \underline{R} . Então, aplicando o princípio do máximo e mínimo, conclui-se que tanto o máximo quanto o mínimo de v são nulos. Portanto, $v = 0$ em \underline{R} e consequentemente $u_1 = u_2$.

Outra consequência do princípio do máximo e mínimo, juntamente com a linearidade da equação do calor, é a continuidade da solução em relação aos dados iniciais, descrita no Teorema 6. O mesmo significa que pequenos erros nas medições do dado inicial não comprometem de forma significativa a solução. Este fato é importante na modelagem da difusão de calor em materiais sensíveis, tais como semicondutores eletrônicos, onde o controle preciso da temperatura é essencial para evitar falhas ou degradação do desempenho.

Teorema 6 (Continuidade da solução com os dados iniciais). *Sejam $f_1(x)$ e $f_2(x)$ funções contínuas em $[0, L]$, para as quais os PVIF*

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} & \text{em } R, \\ u(0, t) = u(L, t) = 0 & \text{para } t > 0, \\ u(x, 0) = f_i(x) & \text{para } 0 \leq x \leq L, \end{cases}$$

para $i = 1, 2$, têm soluções u_1 e u_2 no sentido (I). Então,

$$\max_{(x,t) \in \bar{R}} |u_1(x, t) - u_2(x, t)| \leq \max_{x \in [0, L]} |f_1(x) - f_2(x)|. \quad (13)$$

O resultado obtido no Teorema 4 ainda é válido, mesmo sem a hipótese de f ser uma função diferenciável.

Teorema 7 (Existência de solução no sentido (I)). *Seja $f(x)$ uma função contínua em $[0, L]$ com $f(0) = f(L) = 0$. Então existe uma e somente uma solução do PVIF (2) no sentido (I).*

Demonstração. É suficiente mostrar a existência de solução, pois a unicidade segue do Teorema 5. Como f é contínua, consequentemente é uma função L^2 . Então, de acordo com o Teorema 3, o PVIF (2) possui solução no sentido (II), definida em \hat{R} e dada por (5), com

$$c_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(y) \sin \left(\frac{n\pi y}{L} \right) dy. \quad (14)$$

Considerando a série

$$\frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right), \quad (15)$$

e usando o teste da razão, obtém-se a convergência uniforme dessa série em y , para $(x, t) \in \hat{R}$ fixado. Então, multiplicando (15) por $f(y)$ e integrando, obtém-se

$$\int_0^L \left[\frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right] f(y) dy,$$

e a convergência uniforme da série permite escrever

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2}{L} \int_0^L f(y) \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right) dy \right] e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right). \quad (16)$$

Agora, usando (14) em (16) e comparando a expressão obtida com (5), para (x, t) em \hat{R} , obtém-se

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \\ &= \int_0^L \left[\frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-n^2 \pi^2 Kt/L^2} \sin\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right] f(y) dy. \\ &= \int_0^L G(x, y, t) f(y) dy. \end{aligned} \quad (17)$$

onde $G(x, y, t)$ representa a expressão entre colchetes.

A ideia central da demonstração consiste na aproximação de $f(x)$ por uma sequência de funções continuamente diferenciáveis $f_k(x)$, com $f_k(0) = f_k(L) = 0$; isso é possível pelo Teorema de Weierstrass (Figueiredo, 2018). A aproximação será feita no sentido uniforme.

Para cada k , o PVIF

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, & \text{em } R, \\ u(0, t) = u(L, t) = 0, & \text{para } t > 0, \\ u(x, 0) = f_k(x), & \text{para } 0 \leq x \leq L, \end{cases}$$

tem uma solução u_k contínua em \underline{R} . De fato, isso decorre da aplicação do Teorema 4. Nesse sentido, fazendo para u_k um processo análogo ao de obtenção de (17), tal função definida em \widehat{R} pode ser escrita na forma

$$u_k(x, t) = \int_0^L G(x, y, t) f_k(y) dy. \quad (18)$$

Aplicando o Teorema 6, obtém-se que u_k é uma sequência de Cauchy. Logo, pelo Teorema 10.1 em Lima (2012), tem-se uma convergência uniforme para uma função contínua $v(x, t)$ em \underline{R} . Aplicando o limite em (18) e sabendo que f_k converge uniformemente para f , em \widehat{R} , obtém-se

$$\begin{aligned} v(x, t) &= \lim_{k \rightarrow \infty} u_k(x, t) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \int_0^L G(x, y, t) f_k(y) dy \\ &= \int_0^L G(x, y, t) f(y) dy. \end{aligned} \quad (19)$$

Então, através de (17) e (19), obtém-se $u(x, t) = v(x, t)$ em \widehat{R} . Finalmente, para $t = 0$:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \textcolor{red}{u}_k(x, 0) = v(x, 0) \Rightarrow \lim_{k \rightarrow \infty} \textcolor{red}{f}_k(x) = v(x, 0) \Rightarrow v(x, 0) = f(x).$$

Logo, conclui-se que a função $v(x, t)$ contínua em \underline{R} é a solução do PVIF (2) no sentido (I).

No Teorema 3, provou-se que o PVIF (2) possui solução quando f é uma função L^2 . Desse modo, a seguir será mostrado que tal solução é única.

Teorema 8 (Unicidade de solução no sentido (II)). *Seja f uma função L^2 em $[0, L]$. Então, a solução do PVIF (2) no sentido (II) é única.*

Demonstração. No Teorema 3 foi provado que uma solução do PVIF (2) no sentido (II) é dada por (5). A unicidade de solução estará provada se for verificado que uma função $v(x, t)$ é igual a $u(x, t)$, se ela for solução. Para cada $t > 0$ fixado, $v(x, t)$ é contínua e derivável para x em $[0, L]$. Logo, a aplicação do teorema de Fourier garante a igualdade entre v e sua série de Fourier, isto é,

$$v(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n(t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right), \quad b_n(t) = \frac{2}{L} \int_0^L v(x, t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx. \quad (20)$$

Derivando em (20)₂ e aplicando a regra de Leibniz, tem-se

$$b'_n(t) = \frac{2}{L} \frac{\partial}{\partial t} \left[\int_0^L v(x, t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \right] = \frac{2}{L} \int_0^L \frac{\partial v}{\partial t}(x, t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx.$$

Sabendo que v satisfaz à equação do calor, então, ao integrar por partes e aplicar as condições de fronteira, obtém-se

$$b'_n(t) = -\frac{2Kn^2\pi^2}{L^3} \int_0^L v(x, t) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx. \quad (21)$$

Relacionando (20)₂ e (21), obtém-se

$$b'_n(t) + \frac{Kn^2\pi^2}{L^2} b_n(t) = 0,$$

a qual é uma EDO linear de primeira ordem, cuja solução para $t > 0$ é dada por

$$b_n(t) = \beta_n e^{-Kn^2\pi^2 t/L^2}. \quad (22)$$

Então, usando (22) em (20)₁, pode-se obter em R :

$$v(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n e^{-Kn^2\pi^2 t/L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right). \quad (23)$$

Resta mostrar que $\beta_n = c_n$. Para tal, usa-se a condição sobre o dado inicial de solução:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \int_0^L v(x, t) \varphi(x) dx = \int_0^L f(x) \varphi(x) dx, \quad (24)$$

com $\varphi(x) = \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right)$. Assim, desenvolvendo a expressão do lado esquerdo em (31):

$$\lim_{t \rightarrow 0} \int_0^L v(x, t) \varphi(x) dx = \lim_{t \rightarrow 0} \int_0^L \sum_{n=1}^{\infty} \left[\beta_n e^{-K(n\pi)^2 t / L^2} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \right] dx. \quad (25)$$

Logo, a aplicação do Teorema 2 garante que a série em (25) converge uniformemente em x , para $t > 0$ fixado. Assim, obtém-se

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow 0} \int_0^L v(x, t) \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) dx &= \lim_{t \rightarrow 0} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\beta_n e^{-Kn^2\pi^2 t / L^2} \int_0^L \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) dx \right] \\ &= \frac{1}{2} \lim_{t \rightarrow 0} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\beta_n e^{-Kn^2\pi^2 t / L^2} \int_{-L}^L \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) dx \right] \\ &= \frac{L}{2} \beta_m \lim_{t \rightarrow 0} e^{-Km^2\pi^2 t / L^2} \\ &= \frac{L}{2} \beta_m. \end{aligned} \quad (26)$$

Relacionando (24), (26) e (6), obtém-se $\beta_n = c_n$. Logo, conclui-se que $v(x, t) = u(x, t)$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo consistiu na análise do problema de condução do calor numa barra com temperatura nula nas extremidades, por meio da aplicação do método de Fourier. Após essa etapa, foi obtido o candidato à solução, desde que o dado inicial fosse expresso por uma série trigonométrica, denominada série de Fourier. Em seguida, constatou-se que o problema possui solução, e esta é única quando a condição inicial é uma função contínua ou de quadrado integrável. Além disso, tal problema é altamente regularizador e possui continuidade da solução em relação aos dados iniciais.

Em alguns casos, modificando as condições de fronteira na equação do calor, ainda é possível aplicar a teoria estudada no trabalho em questão. Considerando a situação com as condições de Neumann, ou seja, quando a barra é isolada termicamente em suas

extremidades, de modo que o fluxo de calor em ambas é nulo, com a aplicação da teoria, podem-se obter resultados similares aos contidos no presente capítulo.

Para finalizar, no problema em que uma extremidade da barra é mantida a temperatura nula e a outra apresenta fluxo de calor proporcional à diferença de temperatura com o meio ambiente, as ferramentas aqui empregadas não bastam para solucioná-lo, sendo necessária a teoria de Sturm-Liouville, não abordada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADOMIAN, G. A new approach to the heat equation—an application of the decomposition method. **Journal of mathematical analysis and applications**, v. 113, n. 1, p. 202-209, 1986.
- AQUINO, V. M. et al. Soluções da equação de difusão de calor em regime transiente: Aprendendo matemática com diferentes métodos de solução. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 37, n. 1, p. 13-22, 2016.
- BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R. C. **Equações diferenciais elementares e problemas de valores de contorno**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- CHURCHILL, R. V. **Fourier Series and Boundary Value Problems**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company, 1963.
- EVES, H. **Introdução à história da matemática**. 5. ed. São Paulo: Editora da Unicamp, 2011.
- FIGUEIREDO, D. G. **Análise de Fourier e Equações Diferenciais Parciais**. 5. ed. Rio de Janeiro: IMPA, 2018.
- FOURIER, J. B. J. **Théorie Analytique de la Chaleur**. Paris: Didot, 1822.
- GUIDORIZZI, H. L. **Um curso de Cálculo**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. v. 4.
- LIMA, E. L. **Curso de Análise**. 14. ed. Rio de Janeiro: IMPA, 2012. v. 1.
- NARASIMHAN, T. N. Fourier's heat conduction equation: History, influence, and connections. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 1, p. 151-172, 1999.
- SCHMIDT, R. A. **Estudo Introdutório da Equação do Calor Unidimensional**. Orientadora: Dra. Fabiana Travessini De Cezaro. 2019. 84 f. TCC (Bacharelado em Matemática Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.
- ZILL, D. G.; CULLEN, M. R. **Equações diferenciais**. vol. 1. São Paulo: Pearson Makron Books, 2008.

CAPÍTULO 13

A EQUAÇÃO DO CALOR: UMA ABORDAGEM PELOS MÉTODOS DAS DIFERENÇAS FINITAS

Antonio Rocha Araújo
Discente do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: antonio130499@gmail.com

Lucas Freitas Campos
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: lucas.campos@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

Muitos fenômenos de interesse físico são modelados por equações diferenciais, que consistem em relações envolvendo uma função e suas derivadas. Quando o problema envolve mais de uma variável, as derivadas são parciais, e a equação é denominada equação diferencial parcial (EDP). Essas equações possuem grande relevância em diversos ramos da ciência, pois, ao solucioná-las, é possível descrever matematicamente um evento e estudar o fenômeno físico associado à função-solução. Um exemplo notável é a equação da condução de calor, que é amplamente utilizada em estudos de fenômenos de difusão (Santana, 1998).

A equação da condução de calor surgiu no século XVIII, durante a Revolução Industrial, período marcado pelo avanço tecnológico e científico. Com a invenção das máquinas a vapor e o aprimoramento dos termômetros, o interesse pelos estudos relacionados ao calor cresceu consideravelmente entre os cientistas da época. Nesse contexto, destacou-se o matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier, que, em sua obra *Teoria Analítica do Calor*, desvinculou-se da mecânica predominante da época e deduziu a equação da condução de calor na forma de derivadas parciais. Fourier também desenvolveu técnicas analíticas para resolver essas equações, conhecidas como séries de Fourier, cuja relevância permanece até hoje em estudos de transferência de calor e em física matemática (Pifer; Aurani, 2015).

O presente trabalho tem como objetivo resolver a equação do calor para determinar a distribuição de temperatura em uma barra metálica em processo de aquecimento, considerando o regime transiente, no qual a temperatura sofre variações com o tempo. A

solução analítica para esse problema pode ser obtida por meio das séries de Fourier. Entretanto, na maioria dos casos práticos, em que a geometria do sistema é complexa, a obtenção de uma solução analítica torna-se inviável. Nesse cenário, surge a necessidade de utilizar metodologias numéricas, que consistem em operações aritméticas realizadas por computadores.

Com os avanços tecnológicos, os computadores modernos oferecem maior velocidade de processamento, enquanto linguagens de programação como Python se tornam cada vez mais acessíveis. Essa evolução tem ampliado o uso de abordagens numéricas para a resolução de problemas complexos em engenharia e física, especialmente em situações onde as soluções analíticas são inviáveis (Chapra; Canale, 2011).

Nesse contexto, será adotado o método das diferenças finitas (MDF), uma técnica numérica que substitui as derivadas presentes nas equações diferenciais por aproximações baseadas na série de Taylor, as diferenças finitas. Esse procedimento transforma a equação diferencial original em uma equação algébrica, facilitando sua resolução computacional e permitindo uma análise eficiente e precisa do problema em questão (Maliska, 2004).

REFERENCIAL TEÓRICO

Condução de calor

O processo de condução de calor é caracterizado pela transferência de energia térmica entre partículas, ocorrendo do local com maior energia para aquele com menor energia. Essa transferência é impulsionada pelo movimento aleatório das partículas e ocorre devido à presença de um gradiente de temperatura no sistema, ou seja, diferenças de temperatura entre as regiões. A condução requer a presença de um meio material para se realizar e pode acontecer tanto em sólidos quanto em fluidos, desde que exista uma variação de temperatura. Esse fenômeno é descrito como a difusão de energia térmica, com o fluxo líquido de calor indo naturalmente da região mais quente para a mais fria (Incropora *et al.*, 2014).

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a transferência de calor por condução pode ocorrer em dois regimes: permanente (estacionário) ou transiente. No regime permanente, não há variação em relação ao tempo. Assim, a temperatura (ou o fluxo de calor) permanece constante ao longo do tempo, embora possa variar de uma posição para outra dentro do

meio. Já no regime transitório, o fluxo de calor é variável no tempo, o que resulta em perfis de temperatura que mudam até que o sistema alcance o equilíbrio térmico.

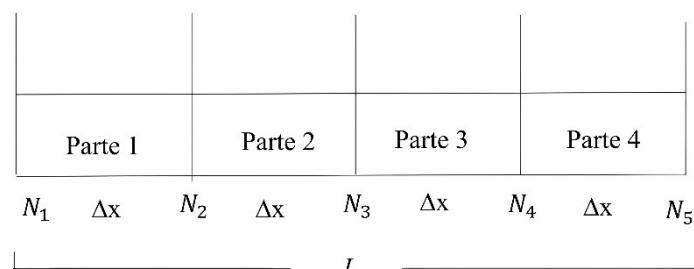
De acordo com Incropera *et al.* (2014), os problemas transitórios surgem quando há alterações nas condições de contorno de um determinado sistema. Por exemplo, na condução de calor em uma barra, se as temperaturas nos contornos forem modificadas, os perfis de temperatura ao longo do material irão se ajustar gradualmente ao longo do tempo até que uma nova condição de equilíbrio seja atingida.

A condução transitória é descrita pela equação do calor (1), cujas soluções representam a variação da temperatura em função do tempo e do espaço. O parâmetro K , conhecido como difusividade térmica, depende exclusivamente das propriedades do material. Ele pode ser interpretado como uma medida da rapidez com que o calor se propaga pelo meio (Çengel; Ghajar, 2012).

Discretização

Para Siqueira (2019, p. 42), "a finalidade da discretização é partitionar o contínuo, a fim de obter pontos para calcular aproximações da equação diferencial". Sendo assim, para obter a solução numérica da equação do calor, é necessário "discretizar" o domínio de solução. No caso da transferência de calor por condução ao longo da dimensão x de uma barra, o intervalo $[0, L]$, onde L é o comprimento total da barra, é dividido em N partes iguais. Essa discretização é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Discretização do domínio espacial.



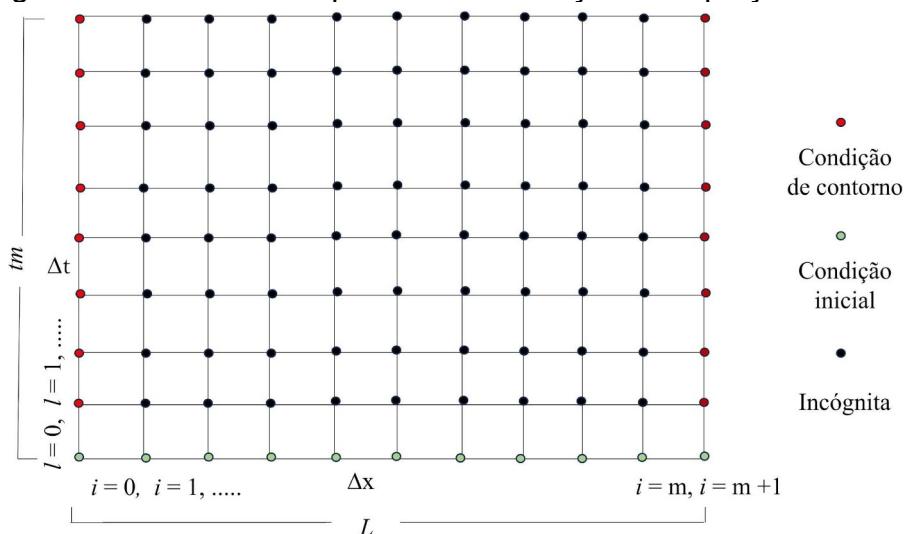
Fonte: elaborada pelos autores.

De forma análoga, o tempo, por sua vez, também é discretizado. Com isso, surge o conceito de malha, grade ou rede nodal, como ilustrado na Figura 2. Cada ponto dessa malha, chamado de nó ou ponto nodal, representa uma posição específica da barra em uma

coordenada espacial e em um instante temporal. Essa malha é utilizada para determinar o comportamento da temperatura ao longo do comprimento da barra e ao longo de um determinado período. Ao resolver a equação diferencial para cada nó, é possível prever a evolução da temperatura no sistema, dadas as condições do problema (Çengel; Ghajar, 2012).

Quanto maior for o número de nós na malha, mais próxima será a solução numérica da solução analítica. O refinamento da malha consiste em adicionar mais pontos a ela, o que, por sua vez, aumenta o custo computacional.

Figura 2 – Grade usada para obter a solução da equação do calor.



Fonte: elaborada pelos autores.

A série de Taylor

Suponha que desejamos determinar o valor de uma função desconhecida em um ponto específico. Se conhecermos o valor da função e de suas derivadas em um ponto dado, podemos aproximar o valor real da função no ponto de interesse utilizando um polinômio baseado nessas informações.

$$f(x_o + h) \approx f(x_o) + f'(x_o)h + f''(x_o)\frac{h^2}{2!} + \dots + f^n(x_o)\frac{h^n}{n!} \quad (1)$$

Na prática, quando se busca um valor aproximado de uma função f em um ponto x arbitrário, realiza-se uma expansão em série de Taylor em torno de um ponto x_0 conhecido. Essa abordagem permite representar $f(x)$ como uma soma de termos envolvendo as derivadas de f em x_0 , oferecendo uma aproximação cada vez mais precisa conforme incluímos termos de ordens superiores na expansão. Quanto menor for o passo h , a distância entre x_0 e x , melhor será a aproximação.

Nas aproximações feitas por meio da série de Taylor, é inevitável que, em algum momento, interrompamos a soma dos termos. Como resultado, surge um erro associado à exclusão dos termos subsequentes, conhecido como erro de truncamento. Esse erro diminui significativamente com a adição dos primeiros termos, de modo que, em geral, não é necessário incluir muitos termos para obter uma resposta satisfatória (Chapra; Canale, 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos das diferenças finitas

"Nos métodos de diferenças finitas, as derivadas que aparecem na equação diferencial são substituídas por aproximações obtidas, mediante manipulações adequadas, da expansão em série de Taylor da função incógnita" (Santana, 1998, p. 12).

Método explícito

Para resolver numericamente a equação do calor, é necessário utilizar aproximações para as derivadas que a constituem, pois estamos lidando com domínios discretos em vez de contínuos. Na formulação explícita, a equação do calor assume a seguinte forma:

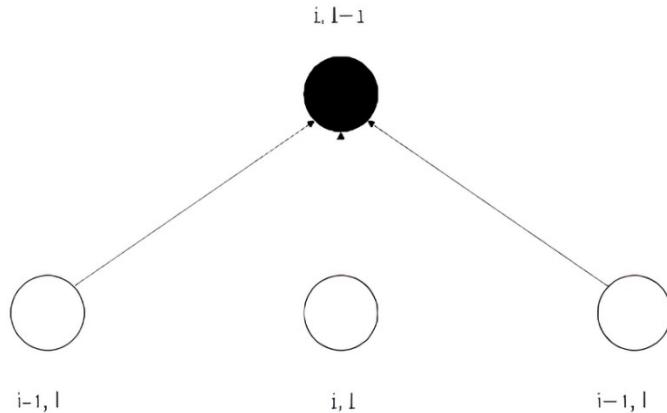
$$K \frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2} = \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} \quad (2)$$

A equação (2) pode ser manipulada de modo a permitir a determinação da temperatura em um ponto futuro com base nas temperaturas dos pontos no instante presente:

$$T_i^{l+1} = T_i^l + \lambda (T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l) \quad (3)$$

com o parâmetro $\lambda = K \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$.

Figura 3 – Conexão entre os pontos no método explícito.



Fonte: adaptada de Maliska (2004, p. 32).

Podemos resolver a equação (3) para todos os pontos no interior de uma grade, como ilustrado na Figura 2. Dessa forma, é possível prever o comportamento dos perfis de temperatura futuros, considerando as condições de contorno e uma condição inicial previamente estabelecida, conforme representado na Figura 3.

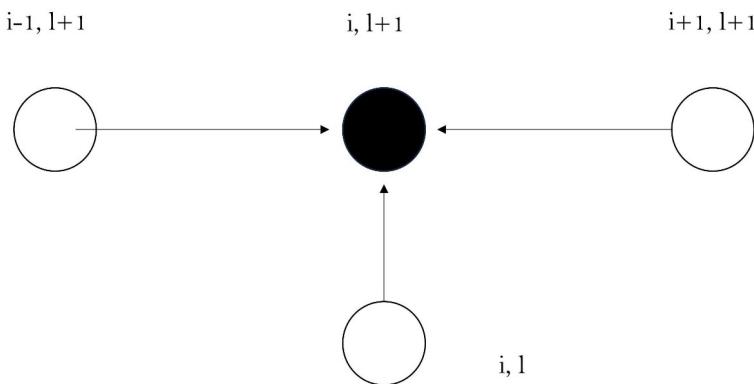
Método implícito

Segundo Chapra e Canale (2011), a formulação implícita supera o problema de instabilidade presente no método explícito. A principal diferença dessa abordagem está no instante em que a derivada espacial é avaliada. No método implícito, a derivada espacial é calculada em um nível de tempo futuro. Assim, a equação assume a seguinte forma:

$$K \frac{T_{i+1}^{l+1} - 2T_i^{l+1} + T_{i-1}^{l+1}}{\Delta x^2} = \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} \quad (4)$$

A variável de interesse, isto é, a temperatura em um ponto futuro, depende das temperaturas de seus pontos vizinhos no mesmo instante de tempo.

Figura 4 – Conexão entre os pontos no método implícito.



Fonte: adaptada de Maliska (2004, p. 32).

Chegamos, assim, a um sistema de equações algébricas lineares a ser resolvido a cada passo no tempo. Esse sistema é totalmente resolvível, pois, juntamente com as condições, temos um número de equações compatível com o número de incógnitas, que correspondem às temperaturas em cada nó para um determinado instante de tempo. Além disso, trata-se de um sistema tridiagonal, o que facilita a resolução do problema (Chapra; Canale, 2011).

$$\begin{bmatrix} 1+2\lambda & -\lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda & -1+2\lambda & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & 1+2\lambda & -\lambda \\ 0 & \dots & 0 & -\lambda & 1+2\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1^{l+1} \\ T_2^{l+1} \\ \vdots \\ T_{m-1}^{l+1} \\ T_m^{l+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1^l + \lambda T_1 \\ T_2^l \\ \vdots \\ T_{m-1}^l \\ T_m^l + \lambda T_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

O sistema a ser resolvido é simplesmente $AT^{l+1} = T^l$, onde A é a matriz dos coeficientes, que permanece constante durante todo o processo de resolução. T^l é atualizado a cada passo de tempo, permitindo assim a determinação de um novo valor de T^{l+1} , que representa a temperatura da barra no respectivo estágio temporal.

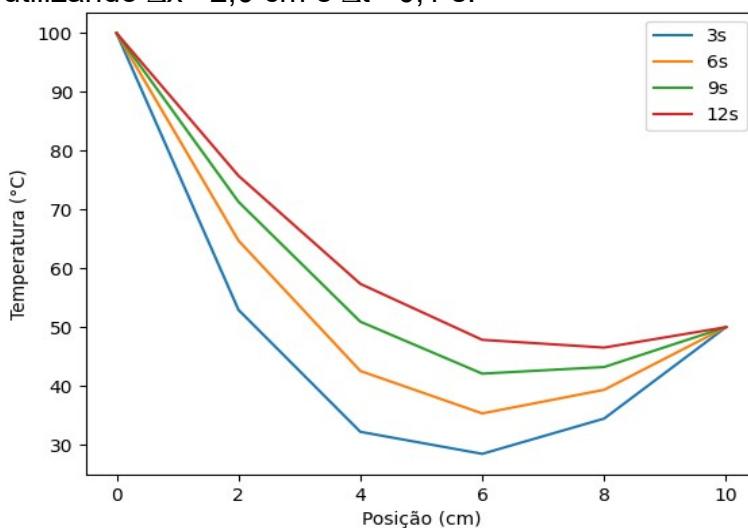
Vale destacar que esse processo funciona de maneira análoga ao método explícito, com “marchas” no tempo, mas agora resolvendo um sistema linear a cada passo. A cada iteração no tempo, é possível determinar a temperatura de todos os nós envolvidos, no mesmo nível temporal. Além disso, o método é incondicionalmente estável, ou seja, os tamanhos dos passos de tempo e espaço não afetam a estabilidade do método (Chapra; Canale, 2011).

As formulações explícita e implícita foram implementadas na linguagem de programação Python e estão disponíveis *online* no seguinte endereço: <https://github.com/antonioroch/Solucao-numerica-equacao-do-calor.git>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulação numérica utilizando o método explícito

Figura 5 – Distribuição de temperatura em uma barra metálica de alumínio, obtida pelo método explícito utilizando $\Delta x = 2,0$ cm e $\Delta t = 0,1$ s.

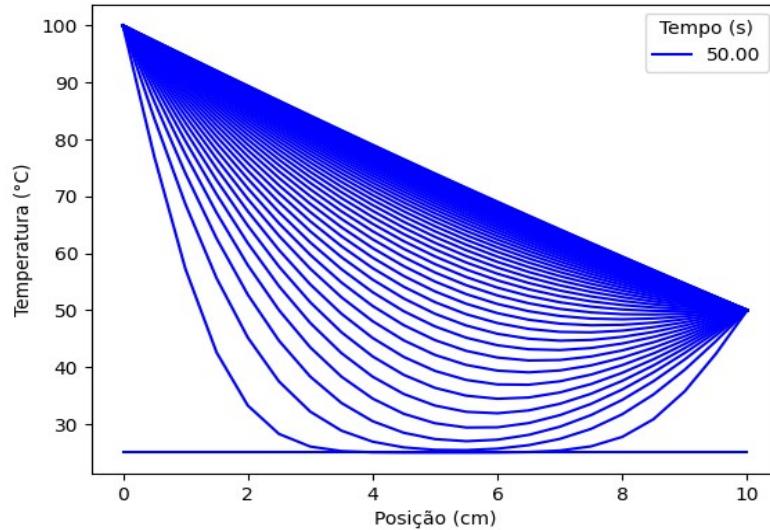


Fonte: elaborada pelos autores.

Utilizando os parâmetros $L = 10$ cm, $T_1 = 100$ °C, $T_2 = 50$ °C e $T_0 = 25$ °C, a simulação computacional apresentou um resultado fisicamente consistente. Durante o processo, ocorre a condução de calor ao longo da barra devido à aplicação de diferentes temperaturas em suas extremidades, gerando um gradiente térmico. Como consequência, a temperatura em cada ponto da barra aumenta progressivamente ao longo do tempo.

Conforme a Figura 6, a simulação mostrou que a distribuição de temperatura atingiu o chamado regime estacionário ou permanente, no qual não há mais variações de temperatura ao longo do tempo. Essa condição reflete o estado de equilíbrio térmico, no qual a temperatura passa a depender exclusivamente da posição ao longo da barra.

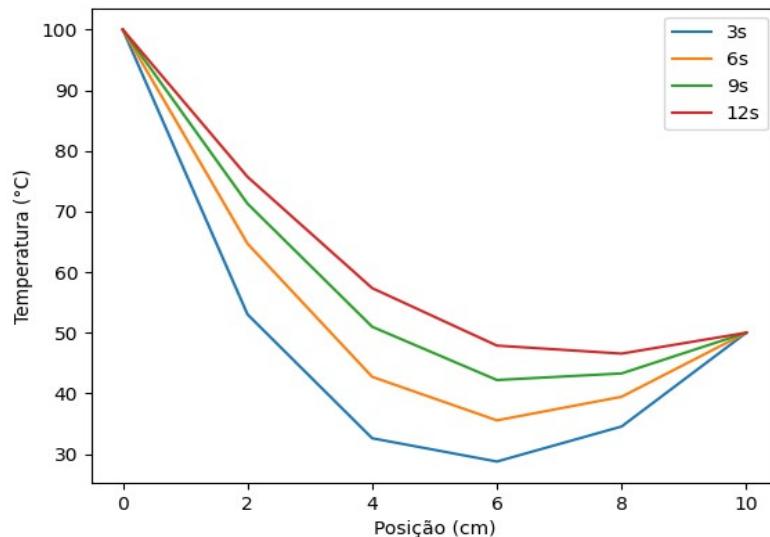
Figura 6 – Distribuição de temperatura em uma barra metálica de alumínio, obtida pelo método explícito utilizando $\Delta x = 0,5$ cm e $\Delta t = 0,1$ s.



Fonte: elaborada pelos autores.

Simulação numérica utilizando o método implícito

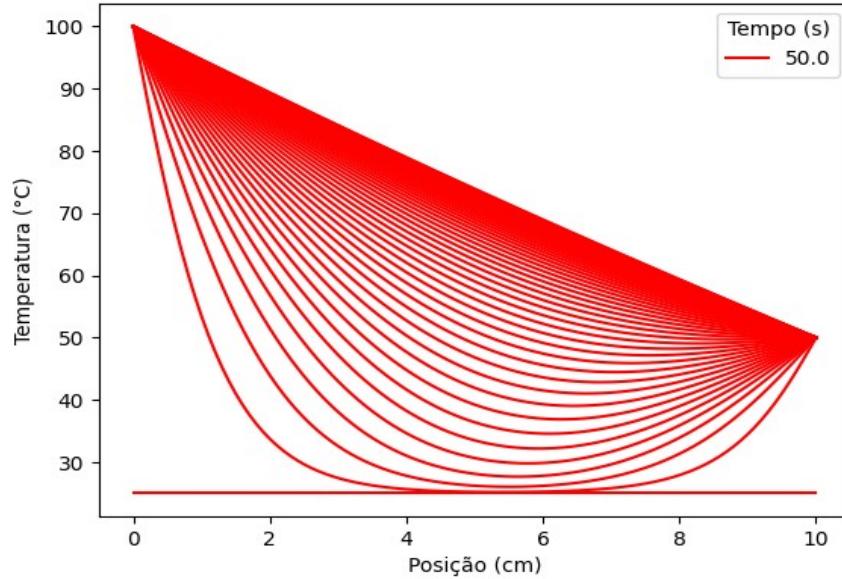
Figura 7 – Distribuição de temperatura em uma barra metálica de alumínio, obtida pelo método implícito utilizando $\Delta x = 2,0$ cm e $\Delta t = 0,1$ s.



Fonte: elaborada pelos autores.

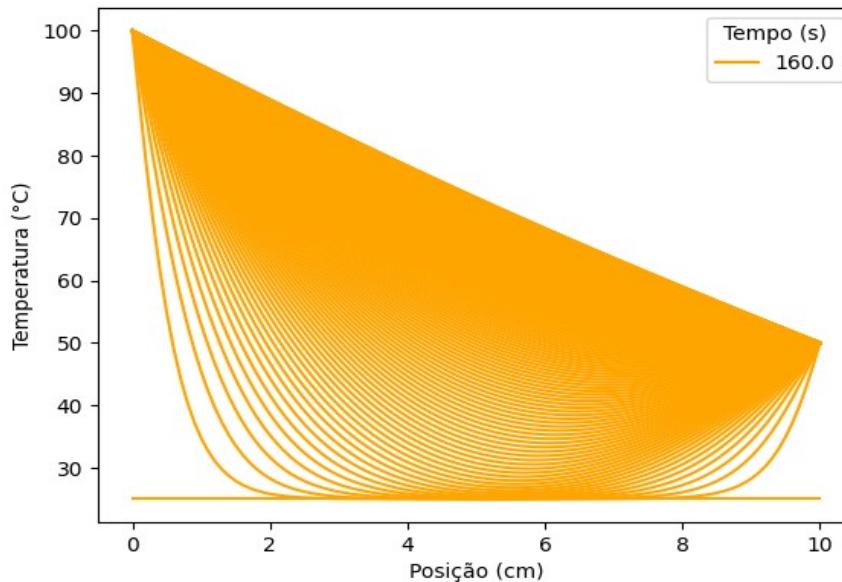
Com base nas Figuras 8 e 9, conclui-se que a constituição do material influencia diretamente o tempo necessário para atingir o equilíbrio térmico. Por exemplo, uma barra de ferro, que apresenta uma difusividade térmica inferior à de uma barra de alumínio, $K = 0,23 \text{ cm}^2/\text{s}$, requer aproximadamente 160 segundos para alcançar o regime permanente.

Figura 8 – Distribuição de temperatura para uma barra metálica de alumínio, obtida pelo método implícito utilizando $\Delta x = 0,1$ cm e $\Delta t = 0,5$ s.



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 9 – Distribuição de temperatura para uma barra metálica de ferro, obtida pelo método implícito utilizando $\Delta x = 0,1$ cm e $\Delta t = 0,5$ s.



Fonte: elaborada pelos autores.

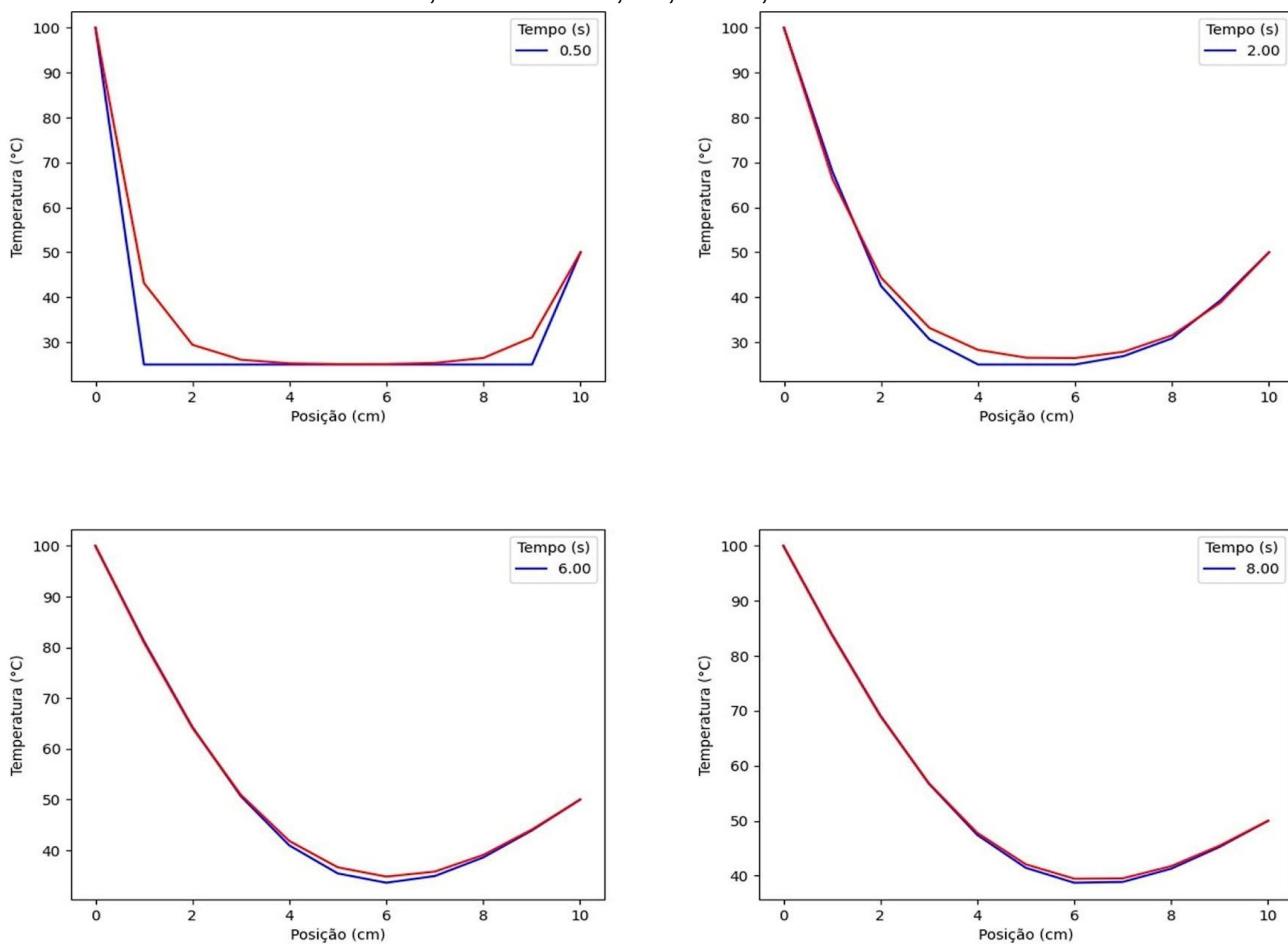
Ademais, as soluções obtidas pelo método implícito são consistentes com aquelas fornecidas pelo método explícito. Quando corretamente implementados, ambos os métodos devem produzir resultados equivalentes, caracterizando o mesmo comportamento térmico do sistema.

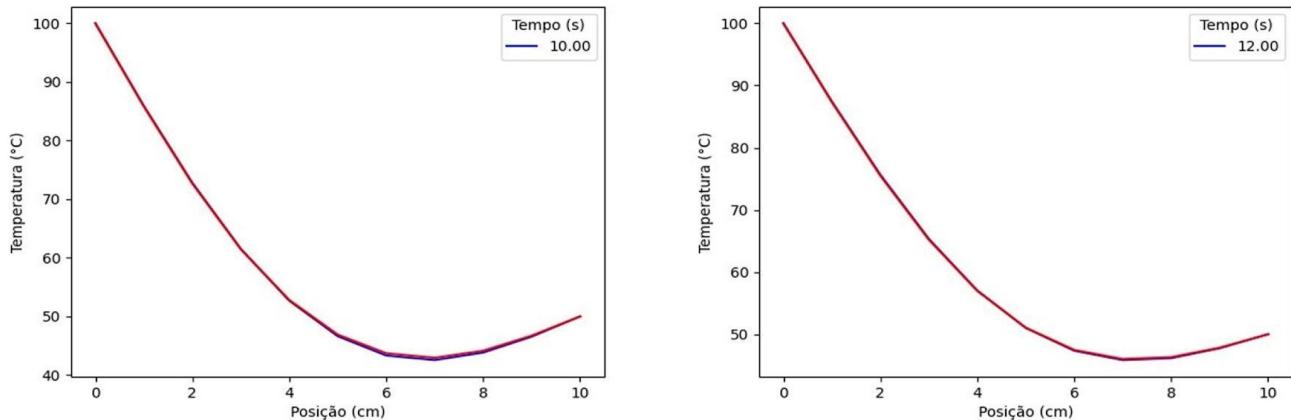
Método explícito x método implícito

Conforme a Figura 10, observa-se que a variação da temperatura nos contornos se propaga mais rapidamente no método implícito do que no método explícito. No entanto, ambos os métodos convergem para os valores finais do regime estacionário em tempos equivalentes. Assim, do ponto de vista físico, o método implícito oferece uma descrição mais precisa do fenômeno de difusão de calor no interior da barra, especialmente nos instantes iniciais.

A principal vantagem do método implícito, destacada na Figura 11, é sua estabilidade. Esse método permite maior flexibilidade na escolha dos passos de tempo e no refinamento da malha, sem a preocupação com possíveis divergências no cálculo.

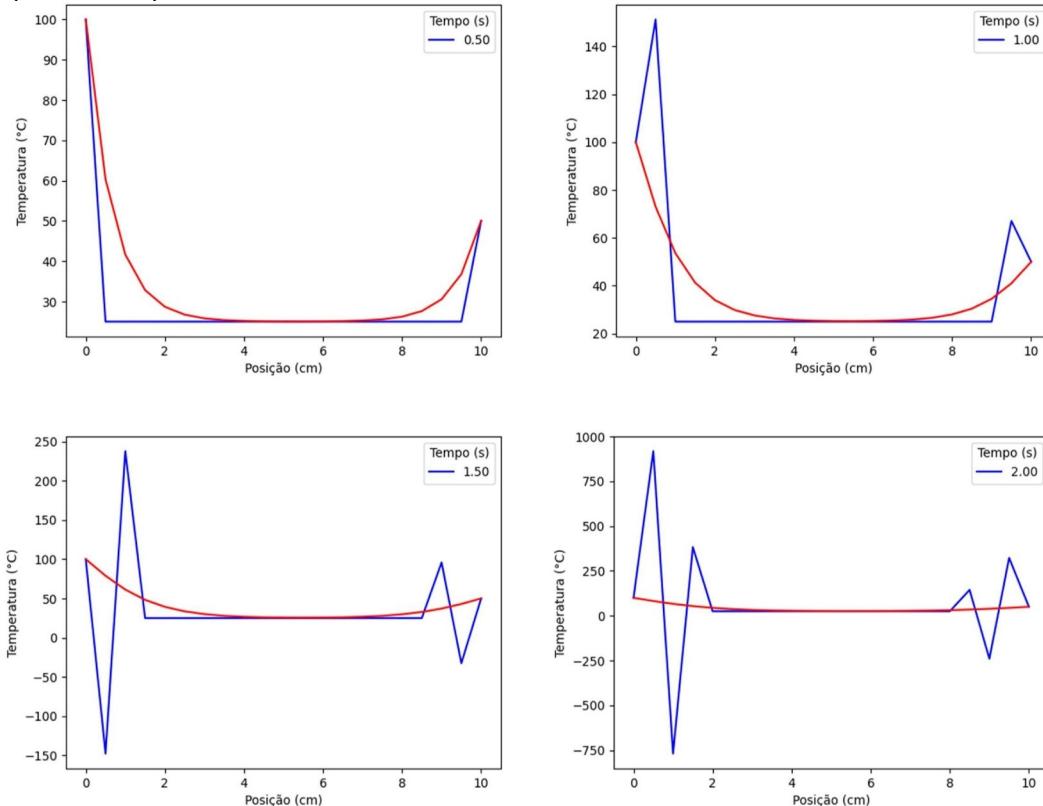
Figura 10 – Comparação entre os métodos explícito (azul) e implícito (vermelho) utilizando $\Delta x = 1,0$ cm e $\Delta t = 0,5$ s, $K = 0,8418 \text{ cm}^2/\text{s}$.





Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 11 – Comparação entre os métodos explícito (azul) e implícito (vermelho) utilizando $\Delta x = 5,0$ cm e $\Delta t = 0,5$ s, $K = 0,8418 \text{ cm}^2/\text{s}$.



Fonte: elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste trabalho, foi possível compreender os conceitos fundamentais da transferência de calor e sua relação com a termodinâmica, aplicando-os na resolução de um problema de condução térmica. A solução da equação do calor foi obtida, permitindo determinar a distribuição de temperatura em regime transiente para uma barra metálica

homogênea (densidade constante), longa e fina (calor distribuído de maneira uniforme sobre a transversal), isolada nas laterais (sem perda de calor para o ambiente). Observou-se que essa distribuição evolui para um estado permanente, assumindo um perfil linear.

Além disso, foi adquirida uma visão geral sobre os métodos numéricos e a metodologia de resolução de problemas utilizando-se o método das diferenças finitas. Foram analisados os resultados obtidos pelas formulações explícita e implícita, constatando-se que ambas fornecem resultados equivalentes. No entanto, o método implícito demonstrou superioridade em termos de eficiência e estabilidade, além de capturar com maior precisão o fenômeno de difusão de calor das extremidades para o interior da barra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Métodos Numéricos para Engenharia**. . Porto Alegre: AMGH, 2011.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: fundamentos e aplicações**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. 2. ed. [s.l.]: LTC, 2004.
- PIFER, A.; AURANI, K. M. A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2015.
- SANTANA, A. A. **Programas em MATLAB para implementação de exemplos em discretização de equações diferenciais parciais**. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- SIQUEIRA, B. A. **Discretização de equações diferenciais**: uma abordagem na equação do calor. 60 p. Monografia (Licenciatura em Matemática) — Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

CAPÍTULO 14

ANALISANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS RAIOS DE EXOPLANETAS EM TRÂNSITO DO SATÉLITE KEPLER

Francisco Jardel Oliveira Cunha
Discente do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: prof.jardell.fisica@gmail.com

Francisco Jânio Cavalcante
Professor do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: janio.cavalcante@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A busca por exoplanetas é um desafio antigo que remonta à Grécia Antiga, quando filósofos como Aristóteles e Epicuro ponderavam sobre a multiplicidade do cosmo. Giordano Bruno, no século XVI, avançou ainda mais ao sugerir que as estrelas distantes também poderiam ter sistemas planetários.

Embora a possibilidade de planetas além do Sistema Solar tenha sido discutida desde a Antiguidade, foi apenas na década de 1990 que os primeiros exoplanetas foram confirmados, a partir dos avanços tecnológicos. Desde então, mais de cinco mil exoplanetas foram descobertos (NASA, 2022), proporcionando um panorama diversificado de sistemas planetários e levantando questões fundamentais sobre sua formação e evolução.

A missão Kepler, lançada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) em 2009, desempenhou um papel fundamental nessa busca, sendo projetada especificamente para determinar a frequência de planetas do tamanho da Terra localizados na zona habitável (ZH) de suas estrelas. Essa região é definida como aquela em que um planeta rochoso poderia manter água líquida em sua superfície, condição essencial para a vida como conhecemos (Borucki, 2016).

Por vários anos, o telescópio Kepler monitorou de forma contínua uma região específica do céu, observando uma vasta quantidade de estrelas, identificando inúmeros candidatos a exoplanetas e consolidando a missão como uma das mais bem-sucedidas na busca por mundos além do Sistema Solar.

Os exoplanetas podem ser classificados de acordo com diversos critérios, sendo o raio um dos mais relevantes. Essa classificação os divide em quatro grupos principais:

planetas terrestres ou rochosos (raios inferiores a 1,5 vez o da Terra), super-Terras (1,5 a 2 raios terrestres), sub-Netunos (2 a 4 raios terrestres) e gigantes gasosos (raios superiores a 4 raios terrestres). No entanto, ao analisar a distribuição dos tamanhos desses planetas, astrônomos identificaram uma anomalia: há uma escassez significativa de planetas com raio entre 1,5 e 2 vezes o da Terra. Esse fenômeno, conhecido como *lacuna dos raios* ou *vale dos raios*, sugere a existência de mecanismos físicos que afetam a evolução planetária e limitam a ocorrência de exoplanetas nesse intervalo de tamanho.

A principal hipótese para explicar essa lacuna envolve o processo de fotoevaporação, no qual a radiação estelar intensa remove as camadas gasosas de planetas pequenos, deixando para trás núcleos rochosos menores. Estudos como o de Fulton e Petigura (2018) indicam que esse efeito pode ser determinante na diferenciação entre super-Terras e sub-Netunos. No entanto, outras hipóteses, como erosão por colisões e variações na composição inicial dos planetas, também são investigadas para compreender essa distribuição peculiar.

Este estudo tem como objetivo investigar a lacuna dos raios dos exoplanetas utilizando dados observacionais coletados pelo satélite Kepler. Para isso, serão analisadas as distribuições de raio e massa dos exoplanetas confirmados, comparando-as com previsões teóricas. Além disso, serão discutidas as implicações dessa lacuna para a formação e evolução dos sistemas planetários, bem como sua relevância na busca por planetas potencialmente habitáveis.

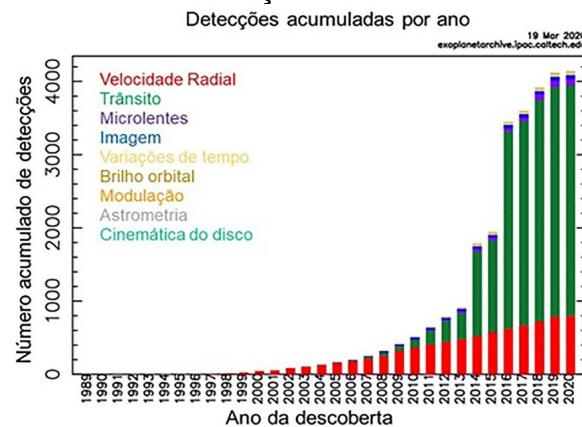
A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, baseada na análise de dados disponíveis em repositórios científicos como o NASA Exoplanet Archive e o The California-Kepler Survey (CKS). A metodologia inclui a interpretação estatística das características dos exoplanetas detectados, contrastando-as com modelos físicos de evolução planetária.

REFERENCIAL TEÓRICO

A descoberta de exoplanetas tem sido uma das grandes conquistas da astronomia nas últimas décadas. Atualmente, mais de cinco mil planetas extrassolares foram detectados em nossa galáxia, a Via Láctea (NASA, 2022). Entre as várias técnicas utilizadas, o método de trânsito planetário se destaca como um dos mais bem-sucedidos e populares, sendo atualmente o mais importante método de detecção de exoplanetas (Silveira Júnior, 2021).

Esse método contribuiu com 77% de todas as descobertas (Figura 1). A maioria delas foi detectada pela missão Kepler (Borucki *et al.*, 2010), que permanece como a pesquisa de exoplanetas mais próspera até o momento.

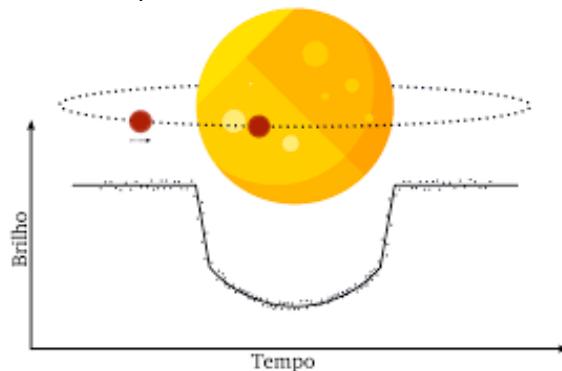
Figura 1 – Distribuição dos exoplanetas identificados utilizando diferentes técnicas de detecção.



Fonte: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0131>.

O trânsito planetário ocorre quando um exoplaneta passa à frente de sua estrela hóspedeira, causando uma redução no brilho observado, devido ao bloqueio parcial da radiação da estrela. Esse fenômeno, conhecido como eclipse primário, pode indicar a presença de um planeta, mas também pode ser causado por outros objetos celestes.

Figura 2 – Representação do trânsito planetário mostrando o brilho da estrela (eixo vertical) em função do tempo (eixo horizontal).



Fonte: Farias (2019).

A diminuição de brilho, chamada *profundidade de trânsito*, está relacionada à proporção entre os diâmetros da estrela e do planeta, sendo crucial para a análise. O método de trânsito planetário permite, com boa precisão, determinar o tamanho do planeta e estimar a duração do trânsito a partir da curva de luz, além de fornecer dados sobre o exoplaneta e

seu sistema, como raio, período, distância e inclinação orbital. Para isso, são necessários telescópios de grande porte para medir a luminosidade com alta precisão.

O método de trânsito planetário se baseia na geometria e na física do sistema estelar. Quando um planeta transita pela face de uma estrela, ele bloqueia uma fração da luz que chega ao observador. Essa fração depende da razão entre as áreas do disco do planeta e da estrela, ou seja, do quadrado da razão entre os raios do planeta (R_p) e da estrela (R_\star). Assim, a profundidade do trânsito (ΔF) é dada por:

$$\Delta F = \left(\frac{R_p}{R_\star} \right)^2 \quad (1)$$

O raio do exoplaneta (R_p) pode ser estimado a partir da profundidade do trânsito (ΔF), que é a fração de luz da estrela que é bloqueada pelo exoplaneta durante o trânsito. A profundidade do trânsito depende da razão entre as áreas do exoplaneta e da estrela (R_\star), ou seja:

$$\Delta F = \frac{F_\star - F}{F_\star} \approx \left(\frac{R_p}{R_\star} \right)^2 \quad (2)$$

onde F_\star é o fluxo da estrela fora do trânsito e F é o fluxo da estrela durante o trânsito. A aproximação vale para o caso em que o exoplaneta é muito menor que a estrela e não possui atmosfera significativa. Assim, isolando o raio do exoplaneta, temos:

$$R_p \approx \sqrt{\Delta F R_\star} \quad (3)$$

Para calcular o raio do exoplaneta, precisamos conhecer o raio da estrela, que pode ser obtido a partir de modelos teóricos ou de observações espectroscópicas, e a profundidade do trânsito, que pode ser medida a partir da curva de luz.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção aborda os procedimentos de aquisição e processamento dos dados utilizados nesta pesquisa. A metodologia adotada baseou-se na análise dos dados do estudo *The California Kepler Survey VII, Precise Planet Radii Leveraging Gaia DR2 Reveal the Stellar Mass Dependence of the Planet Radius Gap* (Fulton; Petigura, 2018), que utiliza

dados das missões Gaia e Kepler para investigar a distribuição dimensional de planetas pequenos e a lacuna que os diferencia.

Os resultados indicam variações na lacuna conforme a massa da estrela e a distância do planeta, sendo a fotoevaporação o principal mecanismo evolutivo. O estudo aponta duas categorias distintas de planetas de pequeno porte: super-Terras rochosas e sub-Netunos gasosos (Fulton; Petigura, 2018).

Os dados foram extraídos do artigo mencionado e tratados utilizando-se a linguagem Python no ambiente Jupyter Notebook. Esse processo foi desenvolvido para atender às necessidades metodológicas deste estudo, com o objetivo de gerar os diagramas apresentados na próxima seção. A análise permitiu uma comparação com os resultados da literatura, contribuindo para a validação e interpretação dos achados nesta pesquisa.

Seleção da amostra

A seleção das estrelas hospedeiras de planetas na amostra CKS (Fulton; Petigura, 2018) iniciou-se com o California-Kepler Survey (CKS), um projeto para medir propriedades precisas de planetas e suas estrelas hospedeiras descobertas pela missão Kepler da NASA. A amostra CKS é composta por 1.305 espectros de Objetos de Interesse Kepler (KOIs), que hospedam 2.025 candidatos a planeta. O objetivo principal do CKS foi obter espectros de alta resolução para todos os KOIs com magnitude Kepler (K_p) $< 14,2$ usando o HIRES no Observatório WM Keck.

A amostra foi construída selecionando-se KOIs brilhantes com $K_p < 14,2$ mag. KOIs são estrelas-alvo do Kepler que exibem escurecimentos fotométricos periódicos indicativos de trânsitos planetários. Durante o projeto, foram incluídos alvos adicionais para cobrir diversas populações de planetas, como hospedeiros com múltiplos candidatos, períodos ultracurtos e potenciais zonas habitáveis (Fulton; Petigura, 2018).

A amostra CKS foi cruzada com o catálogo Gaia DR2, selecionando-se fontes Gaia dentro de 1 segundo de arco das coordenadas KIC. Em casos raros, quando mais de uma fonte Gaia foi detectada dentro desse limite, foi escolhida a fonte com a menor diferença entre as magnitudes G e K_p . No total, foram cruzados 1.257 alvos (Fulton; Petigura, 2018).

A partir dessa amostra, foram analisados 2.025 planetas candidatos, orbitando 1.059 estrelas hospedeiras, com critérios como período orbital menor que 100 dias, raio planetário entre 0,5 e 16 raios terrestres e sinal de trânsito com pelo menos 7,1 sigma de significância. Planetas com sinais de falsos positivos foram excluídos. A coleta de dados refinados utilizou

as paralaxes de Gaia, a fotometria de Kepler e as temperaturas espectroscópicas do CKS para estimar com maior precisão os raios das estrelas hospedeiras e dos planetas candidatos, além das massas das estrelas com base em relações empíricas de temperatura, metalicidade e gravidade superficial (Fulton; Petigura, 2018).

Raio estelar

No presente estudo, a estimativa do raio estelar foi realizada a partir de dados de fotometria e paralaxes, que permitem determinar com precisão a luminosidade e a distância das estrelas hospedeiras. Os valores apresentados na Tabela 1 representam os parâmetros essenciais para a separação dos exoplanetas, os quais foram selecionados de acordo com as propriedades das suas estrelas.

Tabela 1 – Propriedades de Estrelas e Planetas

Parâmetro	Valor médio	Incerteza mediana
T_{eff}	5698 K	60 K
m_k	12.24 mag	0.02 mag
A_k	0.011 mag	0.004 mag
π	1.5 mas	1.3 %
μ	9.26 mag	0.01 mag
BC	-1.46 mag	0.03 mag
R_*	1.1 R_{\odot}	2.7%
R_p/R_*	1.7%	4.1%
R_p	2.1 R_{\oplus}	5.2%

Fonte: Adaptado de Fulton e Petigura (2018).

Dessa forma, a classificação dos exoplanetas foi efetuada com base nos raios estelares obtidos, permitindo uma análise detalhada das dimensões e características físicas dos sistemas planetários. Esses dados são fundamentais para comparar os resultados observacionais com os modelos teóricos, contribuindo para a compreensão dos processos de formação e evolução dos exoplanetas.

Fotometria

A seleção dos dados para este estudo fundamentou-se em medidas fotométricas na banda K, escolhida devido à menor influência da extinção de poeira no infravermelho (Fulton; Petigura, 2018). Os dados foram obtidos a partir do levantamento 2MASS (Two Micron All-

Sky Survey) (Skrutskie *et al.*, 2006 *apud* Fulton; Petigura, 2018), apresentando uma precisão mediana de 0,02 mag para a magnitude K (mK) das estrelas-alvo, o que se traduz em um erro de aproximadamente 1% na determinação do raio estelar (R_{e}). Essa abordagem, utilizando exclusivamente a banda K, visa minimizar as incertezas associadas à temperatura efetiva (T_{eff}), que, quando derivadas de cores de banda larga, podem ser fortemente afetadas pelo avermelhamento.

A espectroscopia proporciona medições de temperatura mais precisas e menos influenciadas por efeitos de avermelhamento, permitindo reduzir significativamente as incertezas associadas a esses parâmetros. Dado que as incertezas na determinação de T_{eff} frequentemente dominam a precisão final na estimativa do raio estelar, optou-se por restringir a análise à magnitude K.

Adicionalmente, o lançamento dos dados do Gaia DR2 deverá aprimorar significativamente a compreensão da distribuição tridimensional de poeira na Via Láctea, contribuindo para a redução das degenerações entre avermelhamento e T_{eff} para as estrelas do campo de Kepler. Contudo, a modelagem detalhada da poeira encontra-se além do escopo do presente trabalho.

Paralaxes

No presente estudo, utilizamos as paralaxes do Gaia DR2 para estimar as distâncias das estrelas. Para assegurar a precisão, selecionamos apenas medidas com incerteza inferior a 10%, resultando em uma precisão mediana de 1,3% para as 1.189 estrelas consideradas, contribuindo com 1,3% para o erro final no raio estelar (R_{e}) (Fulton; Petigura, 2018).

Além disso, seguindo a recomendação da equipe do Gaia, aplicou-se um erro sistemático de 0,1 miliarcosegundo para acomodar desvios de zero e correlações espaciais. Análises recentes indicam que as paralaxes do Gaia no campo de Kepler apresentam uma subestimação de aproximadamente 0,053 miliarcosegundo. Diante disso, aplicamos uma correção desse valor às paralaxes, assegurando maior precisão nas medidas adotadas neste estudo.

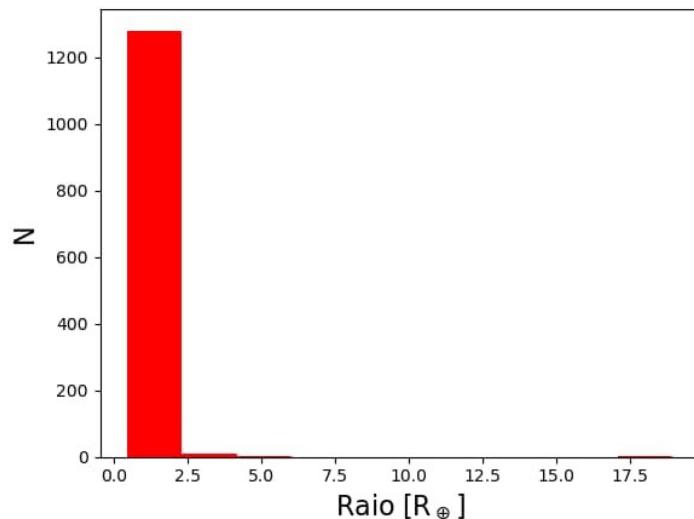
Distribuição dos planetas em trânsito

O estudo da distribuição de planetas considerou fatores que influenciam a seleção dos alvos da pesquisa CKS, a probabilidade de observação de trânsitos planetários e a qualidade dos dados. A metodologia seguiu Petigura *et al.* (2017) e aplicou critérios rigorosos para definir a amostra:

1. **Brilho estelar** – estrelas com magnitude $K_p < 14.2$ foram selecionadas para facilitar a análise.
2. **Raio estelar** – apenas estrelas anãs foram consideradas, limitando-se por uma relação entre temperatura efetiva e raio estelar.
3. **Temperatura efetiva** – estrelas na faixa de 4700–6500 K foram incluídas para garantir consistência nos dados.
4. **Paralaxe de isócronas** – foram excluídas estrelas cuja paralaxe medida pelo Gaia divergisse significativamente da estimada.
5. **Diluição estelar (Gaia e imagens)** – estrelas próximas que poderiam afetar medições foram analisadas e algumas removidas.
6. **Falsos positivos** – planetas candidatos identificados como falsos positivos foram descartados.
7. **Trânsitos rasantes** – sistemas com trânsitos de pastoreio ($b > 0,9$) foram excluídos devido a incertezas na determinação do raio planetário.

Esses critérios garantem uma amostra confiável para a análise da distribuição real de planetas.

Figura 3 – Distribuição dos planetas em função do raio.



Fonte: elaborada pelos autores.

O diagrama analisado revela uma concentração significativa de planetas com raios entre 1 e 2,5 raios terrestres, indicando a predominância de corpos planetários de tamanho semelhante ao da Terra. A escassez de planetas em outros intervalos sugere possíveis influências na formação planetária ou limitações nas técnicas de detecção.

A análise seguiu critérios rigorosos de seleção da subamostra de planetas CKS, conforme proposto por Fulton e Petigura (2018), garantindo maior precisão e confiabilidade nos resultados apresentados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

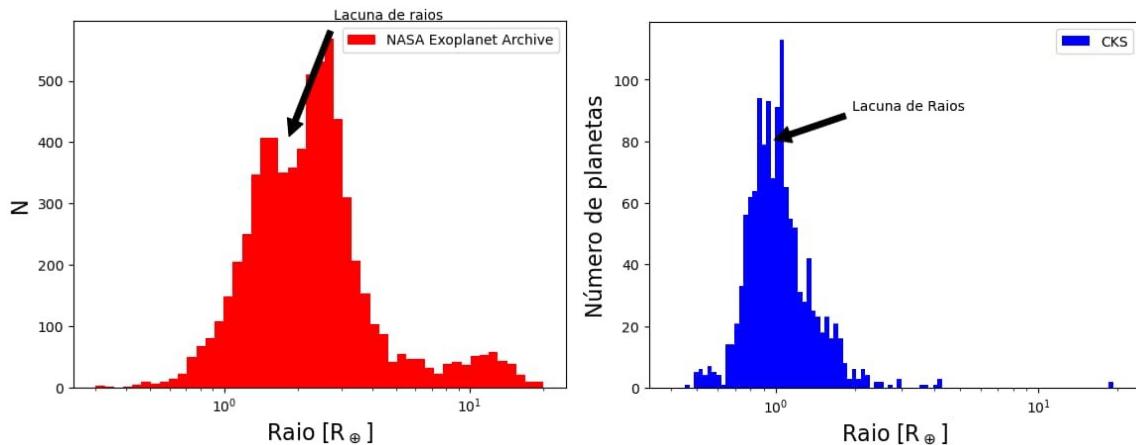
Análise da distribuição dos raios

Este estudo investiga as causas e implicações da discrepância observada na distribuição dos raios de exoplanetas, adotando uma abordagem rigorosa baseada em dados observacionais e modelos teóricos. O objetivo é reforçar a existência de um intervalo de raios planetários, conhecido como *gap* (Fulton; Petigura, 2018), localizado entre 1,5 e 2 R_{\oplus} , utilizando investigações e dados empíricos como suporte.

A pesquisa examina um catálogo abrangente e criteriosamente estruturado para analisar a separação entre duas classes de exoplanetas: as super-Terras, predominantemente rochosas, e os sub-Netunos, compostos majoritariamente por gás. A reavaliação da lacuna de raio de Fulton e Petigura (2018), com base nos dados CKS e no catálogo NASA Exoplanet Archive, confirma a existência desse *gap* com medições

planetárias mais precisas e independentes. Ao contrário de hipóteses anteriores, os novos dados indicam que essa lacuna não é plana nem subestimada, mas parcialmente preenchida.

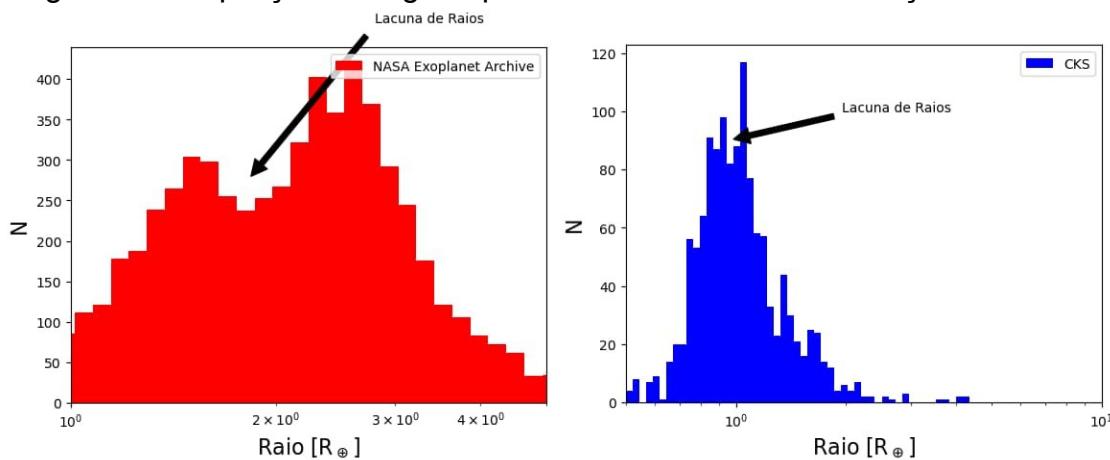
Figura 4 – Identificação da lacuna na distribuição de raios de exoplanetas em duas bases de dados distintas.



Fonte: elaborada pelos autores.

A comparação entre as bases de dados do NASA Exoplanet Archive e do CKS revela uma concordância significativa na existência da lacuna de raios em exoplanetas. O histograma da NASA mostra essa ausência de corpos celestes de forma clara, enquanto os dados do CKS exigem uma análise mais detalhada, pois o *gap* não é tão evidente. No entanto, a lacuna está presente em ambas as bases de dados.

Figura 5 – Ampliação da região que exibe a lacuna na distribuição dos raios.



Fonte: elaborada pelos autores.

Os gráficos apresentados na Figura 5 oferecem uma visão detalhada da lacuna na distribuição dos raios de exoplanetas, permitindo uma análise mais precisa do fenômeno. No histograma do NASA Exoplanet Archive, a lacuna se destaca por uma queda abrupta na frequência de exoplanetas em um intervalo específico, sugerindo uma região de instabilidade ou uma possível transição evolutiva na formação planetária. Já o gráfico baseado nos dados do CKS revela uma lacuna semelhante, porém com uma transição mais gradual, o que pode indicar variações na densidade de exoplanetas ou nas características observacionais que influenciam essa distribuição.

A Figura 6 ilustra um exemplo dos dados do NASA Exoplanet Archive, exibindo 10 linhas do *dataframe* original utilizado na elaboração dos diagramas deste capítulo.

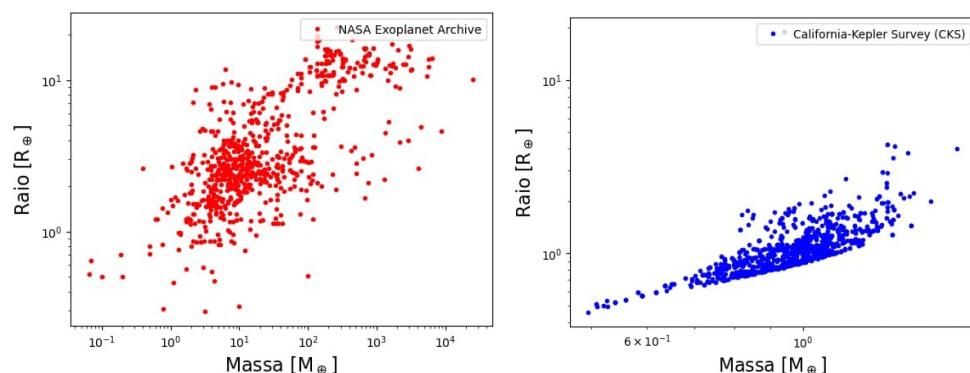
Figura 6 – Dados planetários do catálogo NASA Exoplanet Archive.

pl_name	hostname	discoverymethod	disc_year	disc_facility	soltype	pl_orbper	pl_rade	st_teff
KIC 10525077 b	KIC 10525077	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	854.083	5.5	6091.0
KIC 3558849 b	KIC 3558849	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	1322.3	6.9	6175.0
KIC 5437945 b	KIC 5437945	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	440.7813	6.4	6340.0
KIC 5437945 b	KIC 5437945	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	440.786134	6.05	6146.0
KIC 5951458 b	KIC 5951458	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	1320.1	6.6	6258.0
KIC 8540376 b	KOI-7892	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	31.8099	4.1	6474.0
KIC 8540376 c	KOI-7892	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	75.2	2.4	6474.0
KIC 9663113 b	KIC 9663113	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	572.3847	4.6	6065.0
KIC 9663113 b	KIC 9663113	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	nan	9.935	6218.0
KOI-12 b	KOI-12	Transit	2015	Kepler	Published Confirmed	17.85523009	nan	6779.23

Fonte: elaborada pelos autores*.

A análise do gráfico de dispersão dos exoplanetas detectados pelo telescópio Kepler por meio da técnica de trânsito (Figura 7) revela padrões interessantes. Há uma relação entre a massa e o raio dos exoplanetas, evidenciando uma tendência de aumento do raio conforme a massa cresce. A lacuna de raios sugere um processo evolutivo, possivelmente causado pela perda atmosférica por fotoevaporação, que reduz o tamanho de planetas menores, transformando-os em super-Terras.

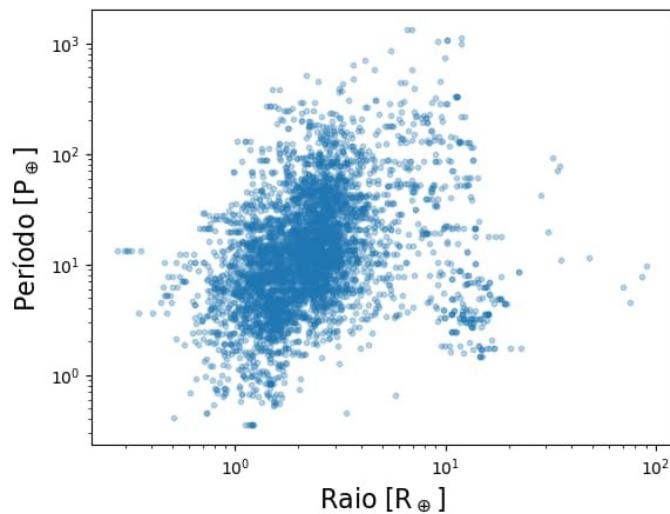
Figura 7 – Comparação dos diagramas de raio × massa nas bases de dados do estudo.



Fonte: elaborada pelos autores*.

A Figura 8 ilustra a relação entre o raio dos exoplanetas e seus períodos orbitais (dias). A maioria dos exoplanetas apresenta raios pequenos e períodos curtos, concentrando-se no canto inferior esquerdo do gráfico, o que sugere que exoplanetas menores orbitam mais rapidamente suas estrelas. Conforme os períodos aumentam, há maior dispersão, indicando a presença da lacuna de raios, que separa exoplanetas rochosos menores dos gigantes gasosos. Apesar da confirmação desse *gap*, suas causas e impacto na formação planetária ainda são debatidos, com possíveis explicações apresentadas na próxima seção.

Figura 8 – Diagrama de período x raio.



Fonte: elaborada pelos autores*.

Comparação com estudos prévios

A distribuição dos raios dos exoplanetas tem sido amplamente investigada na literatura, destacando-se os trabalhos seminais de Owen e Wu (2013), que identificaram uma discrepância significativa na faixa de 1,5 a 2 raios terrestres. Os autores propõem que a fotoevaporação, induzida pela intensa radiação estelar, representa um mecanismo fundamental na evolução dos planetas em regiões próximas às suas estrelas hospedeiras.

Em particular, planetas de baixa massa, com atmosferas predominantemente compostas por hidrogênio, são especialmente suscetíveis à erosão atmosférica por radiação de alta energia, resultando em uma distribuição bimodal dos raios planetários. Planetas menores que 2 raios terrestres, segundo esse modelo, são predominantemente núcleos

rochosos desprovidos de atmosferas, enquanto os planetas de maior raio, semelhantes a Netuno, mantêm atmosferas gasosas significativas (Owen; Wu, 2013). Adicionalmente, Owen e Wu (2017) ampliaram esta teoria, postulando que a fotoevaporação ocorre principalmente durante os primeiros 100 milhões de anos de vida do sistema planetário, período em que os fluxos estelares de alta energia são intensos e quase constantes.

Em complemento, Ginzburg, Schlichting e Sari (2016) propuseram um modelo termodinâmico que relaciona a massa planetária à capacidade de retenção de atmosferas gasosas, sugerindo a existência de uma região preferencial no plano massa-temperatura onde planetas de baixa densidade, com massas moderadas, possuem maior probabilidade de reter uma atmosfera gasosa estável. Essa abordagem fornece uma explicação adicional para a lacuna observada na distribuição de raios dos exoplanetas, onde a luminosidade do núcleo planetário, em resfriamento, pode ser um fator determinante na perda ou preservação de atmosferas mais leves, resultando na escassez de planetas de raios intermediários.

Outro mecanismo relevante para a perda de massa atmosférica é a erosão por colisões gigantes, conforme investigado por Liu *et al.* (2015). Os autores demonstraram, por meio de simulações numéricas tridimensionais, que impactos de grandes corpos podem induzir uma significativa desvolatilização das super-Terras, removendo de forma eficiente grandes quantidades de atmosferas compostas por hidrogênio e hélio, ao mesmo tempo que modificam a composição interna do planeta. Além disso, o processo de resfriamento pós-impacto, aliado à fotoevaporação, pode culminar na perda completa do envelope gasoso, especialmente em planetas situados em regiões próximas de suas estrelas. Essa combinação de processos estocásticos e físicos contribui para a dispersão observada na relação massa-raio de super-Terras e mini-Netunos.

Os estudos revisados fornecem uma compreensão abrangente dos mecanismos físicos que regem a distribuição dos raios dos exoplanetas, destacando a interação complexa entre fotoevaporação, resfriamento planetário e eventos de colisões catastróficas, os quais, de forma conjunta, determinam a morfologia e a classificação dos exoplanetas em categorias distintas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação do *gap* na distribuição dos raios de exoplanetas configura-se como um desafio científico significativo, revelando aspectos cruciais sobre a formação e evolução planetária. Os resultados deste estudo corroboram a existência da lacuna de exoplanetas de

tamanho intermediário, uma característica consistente com observações prévias e com os achados de estudos similares. Esse fenômeno destaca-se como um tópico relevante dentro da astronomia exoplanetária, sugerindo que os mecanismos subjacentes à formação e manutenção dessa lacuna merecem investigação adicional.

Embora considerável progresso tenha sido alcançado em nossa compreensão do *gap*, diversas questões permanecem em aberto, particularmente no que tange às propriedades físicas e atmosféricas dos planetas localizados dentro dessa faixa e aos mecanismos exatos que regulam sua distribuição. As inovações tecnológicas, especialmente os telescópios espaciais como Kepler e TESS, juntamente com o emprego de modelos computacionais sofisticados, têm sido instrumentos cruciais para a identificação e interpretação desses padrões.

O aprimoramento dos modelos teóricos bem como a realização de observações mais detalhadas e precisas são passos fundamentais para uma compreensão mais profunda desse fenômeno. A utilização de tecnologias emergentes, como o James Webb Space Telescope, oferece perspectivas promissoras para o avanço desse campo. Além disso, a colaboração entre astrônomos teóricos e observacionais, acompanhada do compartilhamento de dados e resultados, é essencial para elucidar os mecanismos subjacentes à lacuna na distribuição dos raios dos exoplanetas.

Em síntese, o estudo do *gap* na distribuição dos raios planetários continua a ser um campo de intensa relevância científica, com potencial para proporcionar avanços significativos na compreensão dos processos dinâmicos e físicos que moldam a diversidade planetária em nossa galáxia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORUCKI, W. J. *et al.* Kepler planet-detection mission: introduction and first results. *Science*, Washington, D.C.: **American Association for the Advancement of Science**, v. 327, n. 5968, p. 977-980, 2010.

BORUCKI, W. J. Kepler mission: development and overview. **Reports on Progress in Physics**, Bristol: IOP Publishing, v. 79, n. 3, p. 036901, 2016.

FARIAS, R. G. G. **Influência de características orbitais e atmosféricas na estabilidade da temperatura de exoplanetas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, 2019.

FULTON, B. J.; PETIGURA, E. A. The California-Kepler survey. VII. Precise planet radii leveraging Gaia DR2 reveal the stellar mass dependence of the planet radius gap. **The Astronomical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 156, n. 6, p. 264, 2018.

GINZBURG, S.; SCHLICHTING, H. E.; SARI, R. Super-Earth atmospheres: self-consistent gas accretion and retention. **The Astrophysical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 825, n. 1, p. 29, 2016.

SILVEIRA JÚNIOR, J. R. D. **Variabilidade estelar e o método de trânsito planetário: a busca por exoplanetas tipo Terra em estrelas frias**. 2021. Monografia (Bacharelado em Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

LIU, S.-F. *et al.* Giant impact: an efficient mechanism for the devolatilization of super-Earths. **The Astrophysical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 812, n. 2, p. 164, 2015.

NASA. **In Depth: exoplanets**. NASA Science, 2022. Disponível em: <https://science.nasa.gov/exoplanets/facts/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SKRUTSKIE, M. *et al.* The Two Micron All Sky Survey (2MASS). **The Astronomical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 131, n. 2, p. 1163, 2006.

OWEN, J. E.; WU, Y. Kepler planets: a tale of evaporation. **The Astrophysical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 775, n. 2, p. 105, 2013.

OWEN, J. E.; WU, Y. The evaporation valley in the Kepler planets. **The Astrophysical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 847, n. 1, p. 29, 2017.

PETIGURA, E. A. *et al.* The California-Kepler survey. I. High-resolution spectroscopy of 1305 stars hosting Kepler transiting planets. **The Astronomical Journal**, Bristol: IOP Publishing, v. 154, n. 3, p. 107, 2017.

CAPÍTULO 15

CRESCIMENTO DE FILMES FINOS DE CDS POR CBD

Milliane Passos da Silva Palácio
Discente do IFCE *campus* Tianguá
E-mail: millianepassos@gmail.com
ORCID: 0009-0004-7647-3055

Alexandre Gonçalves Pinheiro
Professor da Universidade Estadual do Ceará
E-mail: agopincom@gmail.com

Wellington de Queiroz Neves Silva
Professor do IFCE *campus* Fortaleza
E-mail: wellingtonqn@ifce.edu.br
ORCID: 0000-0001-6988-6346

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por fontes de energia sustentáveis tem impulsionado a busca por alternativas tecnológicas capazes de mitigar os impactos ambientais associados aos combustíveis fósseis (Blaabjerg; Ionel, 2015). Nesse cenário, os dispositivos fotovoltaicos se destacam como uma das soluções mais promissoras, promovendo a conversão direta da luz solar em eletricidade de forma limpa e renovável. O avanço dessas tecnologias está diretamente associado ao desenvolvimento e aprimoramento de materiais semicondutores, especialmente aqueles utilizados como camadas ativas ou de transporte de carga nas células solares (Bässler; Köhler, 2011).

Dentre os diversos materiais semicondutores estudados, o sulfeto de cádmio (CdS) tem se destacado por suas propriedades optoeletrônicas promissoras, como largura de banda proibida apropriada, alta transparência na região do visível e boa condutividade elétrica (Mao; Xu; Seo, 2024). Tais características tornam o CdS especialmente atrativo como camada tipo *n* em células solares de filme fino, funcionando como uma janela transparente que permite a passagem eficiente da luz até a camada fotossensível subjacente (Mahmood *et al.*, 2018). Ademais, sua elevada compatibilidade com diferentes substratos e métodos de deposição tem favorecido sua ampla aplicação em dispositivos optoeletrônicos (Li *et al.*, 2013; Oliva *et al.*, 2001).

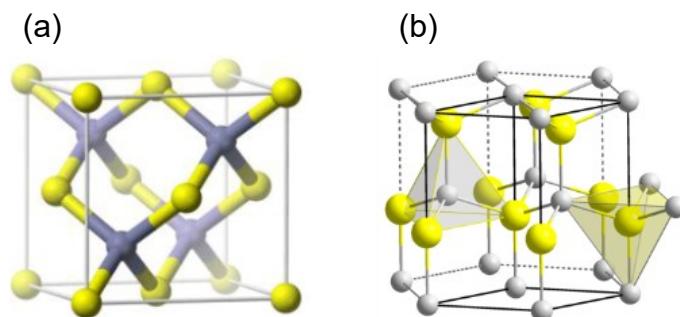
Apesar de sua longa trajetória de uso em células solares, o desempenho do CdS ainda pode ser significativamente otimizado por meio do controle de suas condições de síntese e tratamento térmico (Nie *et al.*, 2017). A estrutura cristalina, a morfologia da superfície e a distribuição de fases são fatores diretamente influenciados por esses parâmetros, os quais impactam diretamente na eficiência de conversão energética dos dispositivos. Dessa forma, compreender como variáveis como a temperatura de tratamento térmico afetam as propriedades estruturais e morfológicas do CdS é fundamental para o desenvolvimento de materiais mais eficientes e com melhor desempenho fotovoltaico.

Neste trabalho, investigam-se os efeitos da temperatura de tratamento térmico sobre filmes finos de CdS obtidos por deposição química em banho (CBD), com ênfase na caracterização estrutural por difração de raios X (DRX). O objetivo principal é produzir filmes policristalinos de CdS com estrutura hexagonal e analisar como a variação térmica afeta a formação de fases cristalinas e o crescimento orientado dos grãos. Essa investigação busca fornecer subsídios para a otimização dos processos de fabricação de dispositivos solares baseados nesse material.

REFERENCIAL TEÓRICO

O sulfeto de cádmio (CdS) é um composto semicondutor binário pertencente às famílias II B e VI A. Na natureza, pode ser encontrado sob a forma de dois minerais distintos: *greenockita*, que apresenta estrutura hexagonal do tipo *wurtzita*, e *hawleyita*, com estrutura cúbica do tipo *zinc-blende*, conforme ilustra a Figura 1 (Rami *et al.*, 1999).

Figura 1– Estruturas do sulfeto de cádmio: (a) estrutura cúbica e (b) estrutura hexagonal.



Fonte: McKay (2021, p. 10).

Na estrutura cúbica, os íons de cádmio e sulfeto se alternam em um arranjo tridimensional altamente ordenado, que confere ao CdS propriedades únicas, como um amplo *band gap* direto, tornando-o um semicondutor ideal para aplicações em dispositivos optoeletrônicos. Já a estrutura mais compacta *wurtzita* consiste de uma combinação de cristais hexagonais, sendo a estrutura mais estável termodinamicamente, e confere ao CdS propriedades ópticas e eletrônicas ligeiramente diferentes da estrutura cúbica, como um leve deslocamento no espectro de absorção.

Há anos o CdS vem sendo utilizado em faixas de sinalização viária e em processos industriais que envolvem altas temperaturas e pressões. Na indústria, é empregado como pigmento em plásticos, cerâmicas e tintas artísticas, além de já ter sido utilizado como agente retardador da degradação do PVC. Devido à sua faixa de absorção coincidir com a região do espectro solar de maior incidência na superfície terrestre (Qorbani *et al.*, 2015), sua principal aplicação atualmente está na produção de células solares (Das *et al.*, 2020) e sensores fotoelétricos (Zhai *et al.*, 2010), sendo amplamente utilizado em painéis solares.

De acordo com Zanatta (2013) e Grancharova *et al.* (1993), os filmes finos de CdS consistem em películas de área praticamente ilimitada (essencialmente bidimensionais), com espessura típica da ordem de 1 µm. Arantes (2002), com base nos estudos de Illeperuma *et al.* (1988) sobre a aplicação do CdS em células solares, destaca três técnicas principais para sua obtenção: deposição química em banho, eletrodeposição em meio aquoso e eletrodeposição em meio não aquoso.

A deposição química em banho, conhecida como *Chemical Bath Deposition* (CBD), destaca-se por permitir a obtenção de filmes com boa aderência ao substrato e crescimento uniforme. Segundo Neves (2013), a CBD possibilita a produção de filmes com qualidade comparável à de técnicas mais sofisticadas, apresentando ainda a vantagem de menor demanda energética.

A difração de raios X (DRX) é uma técnica não destrutiva fundamental para a caracterização estrutural de materiais cristalinos, especialmente filmes finos. Por meio dessa técnica, é possível obter informações detalhadas sobre a estrutura cristalina, as fases presentes, a orientação preferencial dos cristais (textura), o tamanho médio dos cristalitos, o grau de cristalinidade, bem como a presença de deformações e defeitos estruturais (Warren, 1990). Os picos observados no padrão de difração resultam da interferência construtiva de raios X monocromáticos refletidos por planos cristalinos específicos, sendo suas intensidades determinadas pela disposição dos átomos na rede cristalina. Dessa forma, o

difratograma obtido atua como uma espécie de “impressão digital” do arranjo atômico do material, possibilitando sua identificação e análise com elevada precisão (Bunaciu, 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o crescimento de filmes finos de CdS por deposição em banho químico, os reagentes foram medidos de acordo com as quantidades apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Produtos, fórmulas químicas e massas dos reagentes utilizados.

Produtos Químicos	Fórmula Química	Banho Químico (g)
Edta	$C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2.2H_2O$	0,005
Cloreto de amônia	NH_4Cl	0,0534
Sulfato de cádmio	$CdSO_4.8/3 H_2O$	0,03849
Tioureia	NH_2CSNH_2	0,22835

Fonte: próprios autores.

Os reagentes foram inicialmente colocados em um béquer com capacidade de 100 mL. Em seguida, adicionou-se água destilada (deionizada) até atingir o volume de 40 mL, e a mistura foi agitada com um bastão de vidro até a completa dissolução dos componentes. Posteriormente, foram adicionados 0,76 mL de Triton X-100 ($C_{34}H_{62}O_{11}$), e a solução foi novamente agitada até se tornar homogênea. A seguir, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL, no qual foram adicionados 2 mL de amônia. A mistura foi mais uma vez agitada para garantir a homogeneidade.

Enquanto isso, quatro lâminas de microscópio foram cuidadosamente limpas com Limpador Multiuso Concentrado LOC e papel-toalha e, em seguida, fixadas no interior de um béquer utilizando-se Tapafix. Depois, a solução foi devolvida ao béquer, que foi então colocado sobre um agitador magnético com aquecimento (marca Fisatom). Uma barra magnética foi inserida na solução para garantir uma agitação eficiente, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Béquer em cima do agitador magnético com aquecimento.



Fonte: próprios autores.

Um termômetro foi inserido no béquer para monitorar a temperatura da solução. Quando a temperatura atingiu 80 °C, o forno agitador da marca Fisatom foi desligado. A Figura 3 apresenta dois exemplos das amostras obtidas.

Figura 3 – Amostras de CdS: à esquerda, filme obtido após um banho; à direita, filme obtido após dois banhos.



Fonte: próprios autores.

As lâminas foram retiradas da solução após o processo de deposição e, em seguida, submetidas a uma lavagem com água destilada para remover quaisquer resíduos superficiais de reagentes ou impurezas. Posteriormente, uma das lâminas passou por um tratamento térmico controlado, sendo aquecida a uma temperatura de 100 °C durante o período de uma hora, utilizando a estufa de secagem mostrada na Figura 4. O filme fino obtido após esse procedimento foi identificado como amostra 1, para fins de caracterização e análise subsequentes.

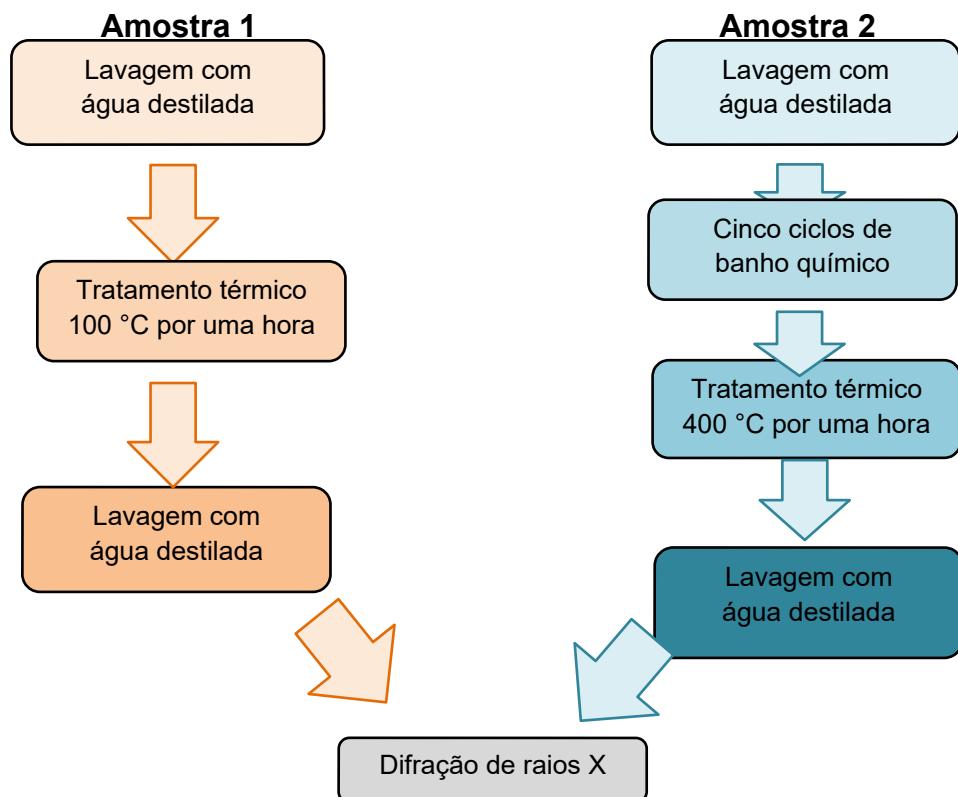
Figura 4 – Estufa de secagem e esterilização Tecnal.



Fonte: próprios autores.

A outra lâmina passou pelo processo dos reagentes mais quatro vezes, totalizando cinco banhos químicos. Em seguida, foi submetida a um tratamento térmico a 400 °C por uma hora. O filme fino resultante foi identificado como amostra 2. A Figura 5 apresenta um fluxograma da preparação das amostras.

Figura 5 – Preparação das amostras para difração de raios X.



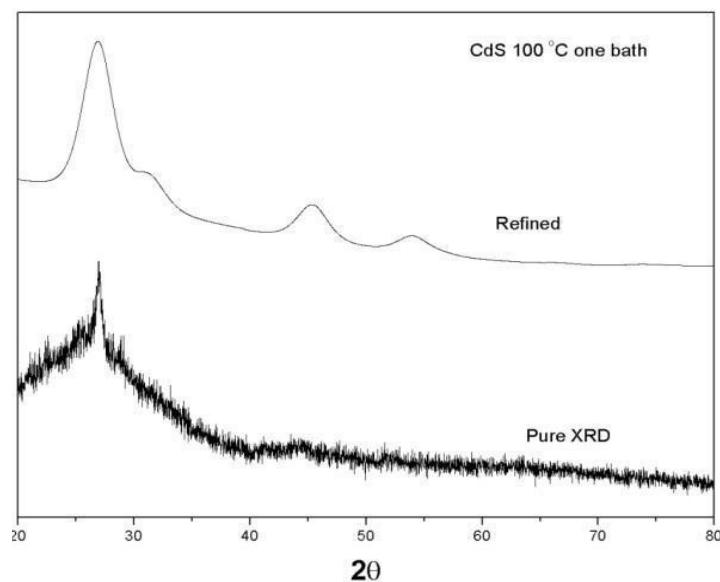
Fonte: próprios autores.

As análises de difração de raios X (DRX) foram realizadas em um difratômetro modelo X’Pert PRO MPD, da Panalytical, projetado para a caracterização de amostras policristalinas. O equipamento possui configuração de alta resolução, com goniômetro vertical, tubo de raio-X com ânodo de cobre (Cu-K α , $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), monocromador de feixe incidente e sistema de detecção com contador proporcional. As medições foram realizadas em colaboração com o Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, no Laboratório de Filmes Finos e Optoeletroquímica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 apresenta o difratograma de raios X da amostra 1. Observam-se dois picos destacados, localizados aproximadamente em $26,717^\circ$ e $31,129^\circ$ (2θ), com distâncias interplanares de $3,3340 \text{ \AA}$ e $2,8708 \text{ \AA}$, respectivamente. Esses picos correspondem aos planos cristalinos [111] e [022]. A análise indica que o crescimento do filme de CdS sob essas condições não apresenta orientação cristalina preferencial.

Figura 6 – Difratograma da amostra de filme de CdS submetida a um banho químico (amostra 1) e tratada termicamente a 100°C .



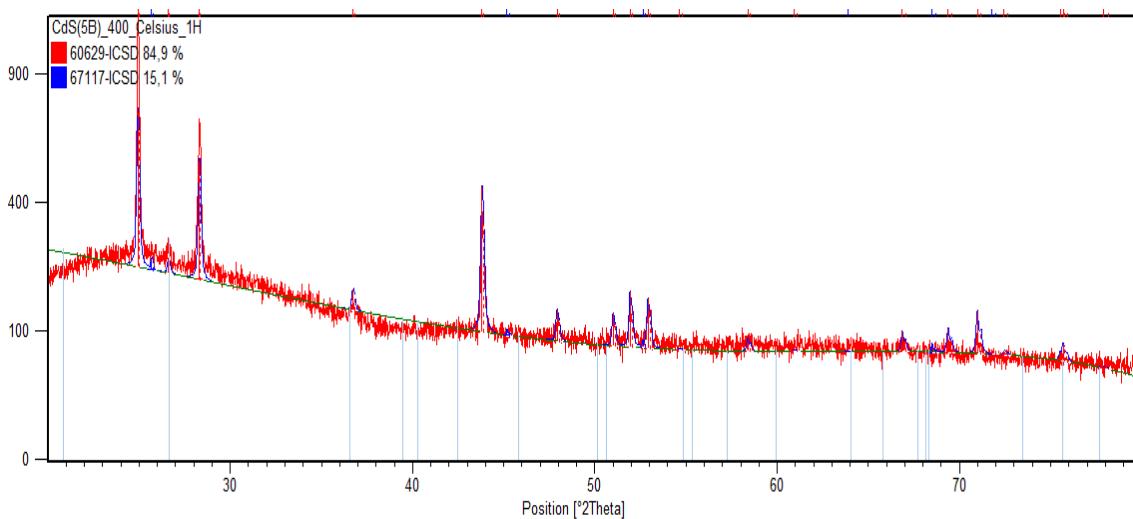
Fonte: próprios autores.

Segundo Van Vlack (1973), quanto à distribuição espacial dos íons, moléculas ou átomos, os materiais sólidos podem ser classificados em cristalinos ou amorfos. Dessa forma, verificou-se que a amostra submetida a apenas um banho químico (amostra 1) não

apresentou uma ordenação cristalina de longo alcance, por isso esse composto é amorfó, ou seja, ele não se ajusta a nenhuma estrutura atômica.

A Figura 7 apresenta o difratograma de raios X do filme fino de CdS (amostra 2), obtido por deposição química em solução (CBD) com cinco banhos químicos e tratado termicamente a 400 °C. Observam-se picos nas posições 25,005°, 28,345° e 43,842°, correspondentes às distâncias interplanares de 3,56 Å, 3,15 Å e 2,063 Å, associadas aos planos cristalográficos [010], [011] e [110], respectivamente.

Figura 7 – Difratograma de filme de CdS submetido a cinco banhos químicos e tratamento térmico a 400 °C.



Fonte: próprios autores.

Comparando os resultados com o trabalho de Rami *et al.* (1999), que identificou estrutura hexagonal em filmes policristalinos de CdS com picos de difração em 3,53 Å, 3,33 Å e 2,049 Å, observa-se que os dados obtidos estão em concordância com a literatura e com os bancos de dados International Center for Diffraction Data (ICDD) e Inorganic Crystal Structure Database (ICSD), código 00-013-0141. Assim, confirma-se que o filme de CdS apresenta estrutura hexagonal.

O difratograma apresentado na Figura 7 foi comparado com o padrão de referência ICSD 01-080-0019, utilizando o software X’Pert HighScore Plus, a fim de identificar os índices de Miller dos picos de difração. As análises confirmaram que o filme é composto por CdS com estrutura cristalina hexagonal, caracterizada por parâmetros de rede aproximados de $a = b = 4,14$ Å e $c = 6,73$ Å, pertencente ao grupo espacial $P6_3mc$. Como evidenciado na Figura 7, os três picos mais intensos estão localizados nas posições 25,1°, 28,3° e 43,8°, correspondendo, respectivamente, aos planos de difração (010), (011) e (110).

O difratograma apresentado na Figura 6 refere-se ao filme de CdS crescido sob as mesmas condições experimentais da amostra constante na Figura 7, diferenciando-se apenas pelo número de ciclos de banho químico; enquanto a amostra da Figura 6 foi submetida a um único banho, a da Figura 7 passou por cinco ciclos consecutivos. Além disso, o filme da Figura 7 foi tratado termicamente a 400 °C durante uma hora após o crescimento. Ambas as medidas foram realizadas sob as mesmas condições experimentais e com o mesmo passo de aquisição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do primeiro difratograma de raios X obtido, observou-se que o filme fino de CdS, crescido por meio da técnica CBD com apenas um ciclo e submetido a tratamento térmico a 100 °C por uma hora, não apresentou ordenação cristalina de longo alcance. Diante da ausência de picos de difração característicos, o material foi classificado como amorfo, não atendendo aos objetivos inicialmente propostos neste trabalho.

No entanto, foram produzidas diversas amostras variando-se o número de banhos químicos e as condições de tratamento térmico. Com o apoio dos pesquisadores Alexandre, Hans e Symon, da Universidade Federal do Ceará (UFC), a autora desta pesquisa obteve um filme fino de CdS com estrutura cristalina hexagonal. Essa amostra foi produzida por CBD utilizando-se cinco ciclos de banho, seguidos de tratamento térmico a 400 °C por uma hora. O difratograma de raios X revelou picos bem definidos, confirmando a formação de uma fase policristalina hexagonal.

Constatou-se, portanto, que, embora os filmes tenham sido crescidos sob condições semelhantes, as diferenças no número de ciclos e nos parâmetros do tratamento térmico foram determinantes para a estrutura final do material. A estrutura hexagonal do CdS, além de ser a forma mais estável termodinamicamente, apresenta uma faixa de absorção óptica coincidente com a região de maior incidência da radiação solar na superfície terrestre, o que reforça seu potencial para aplicações fotovoltaicas.

Como principal resultado deste estudo, foi possível obter, de forma eficiente e com baixo custo, um filme fino de CdS com estrutura hexagonal e características promissoras para aplicação em células solares. A técnica de CBD, além de simples e rápida, demonstrou-se eficaz para a produção de filmes de boa qualidade, com economia de reagentes, energia e recursos laboratoriais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá pelo apoio à realização deste trabalho, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro concedido por meio do Edital MCT/CNPq nº 10/2007, Processo nº 402561/2007-4. Agradecem, também, à Universidade Federal do Ceará (UFC) pela disponibilização do laboratório utilizado na síntese dos filmes de CdS e pelo acesso ao Laboratório de Raios X, onde foram realizadas as caracterizações estruturais. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), os autores expressam reconhecimento pelo apoio à formação da aluna Milliane Passos, por meio da concessão de bolsa do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). W. Q. Neves Silva manifesta, ainda, sua gratidão a Deus, reconhecendo que, sem Ele, nada seria possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÄSSLER, Heinz; KÖHLER, Anna. Charge transport in organic semiconductors. **Unimolecular and Supramolecular Electronics I: Chemistry and Physics Meet at Metal-Molecule Interfaces**, p. 1-65, 2011.
- BLAABJERG, Frede; IONEL, Dan M. Renewable energy devices and systems—state-of-the-art technology, research and development, challenges and future trends. **Electric Power Components and Systems**, v. 43, n. 12, p. 1319-1328, 2015.
- BUNACIU, A. A.; UDRIŞTIOIU, Elena Gabriela; ABOUL-ENEIN, Hassan Y. X-ray diffraction: instrumentation and applications. **Critical reviews in analytical chemistry**, v. 45, n. 4, p. 289-299, 2015.
- DAS, N. K. *et al.* Effect of substrate temperature on the properties of RF sputtered CdS thin films for solar cell applications. **Results in physics**, v. 17, p. 103132, 2020.
- GRANCHAROVA, K. I. *et al.* Some properties of thin films of chemically deposited cadmium sulphide. **Journal of Materials Science Letters;(United Kingdom)**, v. 12, n. 11, 1993.
- ILEPERUMA, O. A. *et al.* Comparison of CdS thin films prepared by different techniques for applications in solar cells as window materials. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, Dordrecht, v. 9, n. 5, p. 367-372, 1998.
- LI, Huiqiao *et al.* One-dimensional CdS nanostructures: a promising candidate for optoelectronics. **Advanced Materials**, v. 25, n. 22, p. 3017-3037, 2013.

MAHMOOD, Waqar *et al.* Role of Ag¹⁺ substitutional defects on the electronic and optical properties of n-type CdS thin films semiconductor for sustainable and stable window layer in solar cells technology. **Optical Materials**, v. 85, p. 143-152, 2018.

MAO, Jianbin; XU, Weiming; SEO, Soonmin. Exploring the dual phases of cadmium sulfide: synthesis, properties, and applications of hexagonal wurtzite and cubic zinc blende crystal structures. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 12, n. 35, p. 23218-23242, 2024.

McKAY, M. **Optical studies of h-BN and ErN**. 2021. Mestrado (Master of Science em Engenharia Elétrica e de Computação) – Texas Tech University, Lubbock, 2021.

NEVES, W. **Caracterização ótica e estrutural de filmes de CdS depositados por banho químico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

NIE, Qun *et al.* Interface optimization of ZnO nanorod/CdS quantum dots heterostructure by a facile two-step low-temperature thermal treatment for improved photoelectrochemical water splitting. **Chemical Engineering Journal**, v. 325, p. 151-159, 2017.

OLIVA, A. I. *et al.* Formation of the band gap energy on CdS thin films growth by two different techniques. **Thin solid films**, v. 391, n. 1, p. 28-35, 2001.

QORBANI, M. *et al.* How CdS nanoparticles can influence TiO₂ nanotube arrays in solar energy applications?. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 162, p. 210–216, 2015.

RAMI, M. *et al.* Effect of the cadmium ion source on the structural and optical properties of chemical bath deposited CdS thin films. **Solid state sciences**, v. 1, n. 4, p. 179-188, 1999.

SANFELICE, R. C. *et al.* **Introdução à nanotecnologia**. São Paulo: Blucher, 2022.

VAN VLACK, L. H. **Propriedades de Materiais Cerâmicos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

WARREN, Bertram Eugene. **X-ray Diffraction**. Courier Corporation, 1990.

ZANATTA, A. R. **Filmes Finos: fundamentos e aplicações**. São Paulo: IFSC-USP, 2013. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/29746372/filmes-finos-fundamentos-e-aplicaaues-ifsc-usp>. Acesso em: 15 ago. 2014.

ZHAI, J. *et al.* Visible-light-induced photoelectric gas sensing to formaldehyde based on CdS nanoparticles/ZnO heterostructures. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 147, n. 1, p. 234-240, 2010.

SOBRE OS AUTORES



HAMILTON VICTOR DA SILVA JUNIOR

Possui mestrado em Ensino de Física pela Universidade Estadual do Ceará, no âmbito do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física, da Sociedade Brasileira de Física, especialização em Ensino de Física pela Universidade Federal do Ceará e graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal do Ceará. Como pesquisador atua na área de Ensino de Física com o uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), mais especificamente com a utilização de Objetos de Aprendizagem. Atualmente, é professor do ensino básico, técnico e tecnológico no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4901-773X>

E-mail: hamilton.victor@ifce.edu.br



MARIA TATIELE DOS SANTOS

Possui especialização em Tendências da Educação Matemática pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (2024) e licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá (2018). Sua trajetória profissional a levou a explorar outras áreas da Educação, mas a Física permanece como uma ciência que a encanta e inspira profundamente.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7212-231X>

E-mail: tatielesantosb13@gmail.com



FRANCISCO MAURÍLIO DA SILVA RODRIGUES

Possui especialização em Metodologia do Ensino de Física e Matemática pela Faculdade Venda Nova do Imigrante, licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá e licenciatura em Matemática pela Faculdade Venda Nova do Imigrante. Foi bolsista do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Atualmente atua como professor de Matemática na rede estadual de ensino do Ceará (SEDUC-CE) e na rede privada de ensino.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2929-9140>

E-mail: mauriliiosilva777@gmail.com



FELIPE RAVI SANTOS GONÇALVES

Cursa mestrado em Física pela Universidade Federal do Ceará e possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Foi monitor de Física do projeto Ciência Itinerante, da Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior do Ceará (SECITECE). Atualmente trabalha com a análise estrutural e vibracional de novos materiais em condições extremas de temperatura e pressão no Laboratório de Altas Pressões da Universidade Federal do Ceará (LAP/UFC).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6619-9305>

E-mail: feliperavi@fisica.ufc.br



JOSÉ LUCAS FERREIRA MACHADO

Possui doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, mestrado em Matemática pela Universidade Federal do Piauí e licenciatura em Matemática pela Universidade Federal do Piauí. Tem interesse por equações diferenciais parciais, atuando principalmente nos seguintes temas: mecânica dos fluidos e teoria do controle. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5196-2902>

E-mail: lucas.machado@ifce.edu.br



ANA CAROLINA PORTELA SILVA

Cursa mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), atuando na linha de pesquisa de Ensino de Física, possui pós-graduação *lato sensu* em Matemática e Física pela Faculdade Venda Nova do Imigrante e possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Atuou no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e, como tutora presencial, no curso de Licenciatura em Física pelo Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB), na Universidade Federal do Ceará. Possui experiência profissional no Ensino Fundamental - Anos Finais, Ensino Médio e Ensino Superior, na área de Física.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1223-8096>

E-mail: ana.carolina.portela04@aluno.ifce.edu.br



FRANCISCO JARDEL OLIVEIRA CUNHA

Possui especialização em Metodologia do Ensino da Matemática e da Física pela Faculdade do Leste Mineiro, licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá e licenciatura em Matemática pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Juazeiro do Norte, por meio do Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB). Atuou no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). Durante a graduação em Física, desenvolveu pesquisa na área de caracterização e detecção de exoplanetas. Tem interesse na área de Ensino de Ciências e Matemática, com ênfase na articulação entre conteúdos científicos e práticas pedagógicas inovadoras. Atualmente é professor da rede estadual de ensino do Ceará (SEDUC-CE).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5628-9291>

E-mail: prof.jardell.fisica@gmail.com



ANTONIO FRANCISCO ÂNGELO DA SILVA

Possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Participou do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) e foi monitor das disciplinas de Matemática Elementar e Cálculo Diferencial e Integral II.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9640-7903>

E-mail: antonio.francisco.angelo06@aluno.ifce.edu.br



FRANCISCO JÂNIO CAVALCANTE

Possui doutorado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e licenciatura em Física pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Durante o período de doutorado, estudou os efeitos do freio magnético para a evolução do momento angular em estrelas do tipo solar. Atualmente, é docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Tem experiência na área de Astronomia, com ênfase em Astrofísica Estelar.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3310-5489>

E-mail: janio.cavalcante@ifce.edu.br



DIANA ELIZABETTE LIMA DO AMARAL

Possui mestrado em Planejamento e Políticas Públicas pela Universidade Estadual do Ceará, especializações em Ensino de Matemática, pela Universidade Estadual do Ceará, Educação à Distância, pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, e Gestão Escolar, pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, e graduações em Ciências Contábeis, Administração de Empresas e Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará. Atua como docente desde 2002, inicialmente em escolas públicas localizadas em Fortaleza-CE. Nesse contexto também exerceu a função de coordenadora escolar. Desde 2019, é professora de Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Tianguá* e participa do grupo de pesquisa Laboratório de Ensino e Pesquisa em Educação Matemática e Ciências (Lepemac).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4896-9753>

E-mail: diana.amaral@ifce.edu.br



MILLIANE PASSOS DA SILVA PALÁCIO

Cursa doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Federal do Ceará, com período de doutorado sanduíche realizado em Portugal, nas universidades de Aveiro e Nova de Lisboa; possui mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Federal do Ceará (2020), especialização em Metodologia do Ensino da Matemática e da Física pela Faculdade Integrada da Grande Fortaleza (2017) e licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Tianguá* (2014). Como pesquisadora, desenvolve estudos na área de materiais luminescentes, com ênfase em nanopartículas de fluoretos dopados com lantanídeos aplicadas em células solares de perovskita para melhorar sua eficiência. Atualmente, é professora substituta de Física no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Ubajara*.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7647-3055>

E-mail: millianepassos@gmail.com



WELLINGTON DE QUEIROZ NEVES SILVA

Possui doutorado (2018), mestrado (2013) e graduação (2010) em Física pela Universidade Federal do Ceará (Conceito CAPES 7). Possui experiência no ensino, tendo atuado como professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, nos *campi* de Tianguá (2010-2014), onde coordenou o curso de Licenciatura em Física (2013-2014), e Caucaia (2014-2018). Atualmente, é professor do IFCE – *Campus* Fortaleza, onde é responsável pelo Laboratório de Ondas, Óptica e Física Moderna. Sua pesquisa concentra-se na área de Física da Matéria Condensada, com ênfase em cadeias lineares encapsuladas por nanotubos de carbono. No âmbito do ensino, dedica-se ativamente à elaboração de experimentos de Física utilizando lixo eletrônico, promovendo uma abordagem inovadora e sustentável. No campo da divulgação científica, mantém o canal "Demonstrações de Física" ativo. É o idealizador da "Competição de canhões eletromagnéticos".

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6988-6346>

E-mail: wellingtonqn@ifce.edu.br



ALEXANDRE GONÇALVES PINHEIRO

Graduado em Física pela Universidade Federal do Ceará, coordenador do PIBID nos anos de 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018, coordenador do curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual do Ceará (FECLESC) 2013, 2015, 2016 e 2017. Possui mestrado em Física pela Universidade Federal do Ceará (1997) e doutorado em Física pela Universidade Federal do Ceará (2004). Atualmente é professor efetivo da Universidade Estadual do Ceará. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física, atuando principalmente nos seguintes temas: aulas virtuais, computador, simulação computacional da Física, laboratório virtual, fiomateriais, collagen films e simulações de física nuclear virtual. Consultoria em montagem de laboratório de Física para escolas e produção de vídeos educativos. Recebeu Bolsa DTI (pós doc) em 2006, aprimorando seus trabalhos em compósitos ferro elétricos. Concluiu pós-doc em filmes CdS para aplicações fotovoltaicas em 2015. Ex-Professor da Escola Estadual de Ensino Médio Arquiteto Rogério Fróes (1996) e

Colégio Batista Santos Dumont (1998-2000). Possui mais de oito programas gratuitos para o ensino de Física no site: http://download.cnet.com/windows/agopin/3260-20_4-82475-1.html aplicativos estes usados pela UFC nos cursos de licenciatura em Física. Possui uma página em www.agopin.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5457-6484>
E-mail: agopin.usa@gmail.com



ANTONIA VANUZA SILVA DO NASCIMENTO

Cursa especialização em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Paracuru e possui graduação em Pedagogia pela Faculdade de Ensino Superior da Parnaíba, bem como licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Atualmente, é professora concursada na educação infantil, na Escola Francisco Inácio de Araújo, em Granja-CE.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1542-9983>
E-mail: vannuzat3@gmail.com



EDUARDA MARIA ARAÚJO DOS SANTOS

Cursa pós-graduação em Ensino de Matemática e Física na Faculdade Uniminas e possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Participou do Programa de Residência Pedagógica, promovido pela CAPES, voltado à formação prática de professores da educação básica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1106-7684>
E-mail: eduarda.maria.araujo08@aluno.ifce.edu.br



CLARICE LIMA DO CARMO

Cursa pós-graduação em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Paracuru, possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá e licenciatura em Pedagogia pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci. Atuou no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). Atualmente, é professora na rede municipal de Ibiapina-CE.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5939-9488>

E-mail: clarice.carmo32@gmail.com



JOSY LÚCIA GONÇALVES

Possui mestrado em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, especialização em Supervisão e Inspeção Escolar e graduação em Pedagogia pela Universidade Federal de São João Del Rei. É professora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá, na área de Pedagogia, e coordenadora substituta da Coordenadoria Técnico-Pedagógica (CTP). Além disso, integra o Grupo de Pesquisa Formação de Professores, Política Educacional e Desigualdade Social (FORPED) e o Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso superior de Licenciatura em Física. Possui 25 anos de experiência e atuação na educação básica como professora na educação infantil, anos iniciais do ensino fundamental, especialista em educação básica, analista e gestora educacional. Dentre as temáticas de interesse, destacam-se: currículo, avaliação, formação de professores e gestão escolar.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9303>

E-mail: josy.goncalves@ifce.edu.br



MARIA DE FÁTIMA DA SILVA DOS SANTOS

Cursa pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – *Campus* Florianópolis e Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará, por meio do Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB), polo Tianguá. Possui pós-graduação em Metodologia de Ensino de Física pela Faculdade Focus e licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá, durante a qual atuou como monitora na disciplina de Fundamentos Sociofilosóficos da Educação. Além disso, desenvolveu pesquisa na área de História da Ciência aplicada ao ensino de Física. Atualmente, exerce a função de professora de Física na rede pública estadual do Ceará (SEDUC-CE).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0530-2715>

E-mail: mfatima.silva.0105@gmail.com.



DYENNAT LIMA FERREIRA

Possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá e especializações em Educação Profissional e Tecnológica, Metodologia do Ensino da Matemática e da Física e Metodologia do Ensino de Ciências pela Faculdade Venda Nova do Imigrante. Atualmente, é licencianda em Matemática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Juazeiro do Norte, por meio do Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB), polo Ubajara, e professora da rede estadual de ensino do Ceará (SEDUC-CE). Tem grande interesse pelas práticas pedagógicas realizadas em ambientes experimentais, sendo entusiasta do uso de laboratórios como espaços que estimulem a aprendizagem ativa, despertem a curiosidade científica e aproximem teoria e prática no ensino.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0427-7655>

E-mail: dyennat.lima.ferreira07@aluno.ifce.edu.br



Alex de Oliveira Silva

Mestre em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB. Especialista em Educação Inclusiva pela Facuminas (2025), Metodologias Ativas de Ensino e Aprendizagem pela Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF (2022) e Docência do Ensino Superior pela Faculdade Mantenense dos Vales Gerais (2020). Graduado em História pela Universidade de Pernambuco – UPE (2011) e Pedagogia (2019) pelo Centro Universitário Internacional – UNINTER. Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE *Campus Acopiara*. Membro do Grupo de Pesquisa em Biodiversidade, Educação e Meio Ambiente/IFCE. Tem interesse na área de Educação, com ênfase nos temas: Currículo, Metodologias Ativas, Estágio Supervisionado, Educação Especial e Educação Profissional e Tecnológica (EPT).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2780-0280>

E-mail: alex.oliveira@ifce.edu.br



Francisco Bráiam da Silva Gomes

Cursa pós-graduação em Metodologia do Ensino de Física e Matemática pela Faculdade Venda Nova do Imigrante. Possui licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus* Tianguá. Entusiasta do sistema híbrido de ensino. Atualmente atua como professor de Matemática na rede estadual de ensino do Ceará (SEDUC-CE).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0706-0604>

E-mail: gomesbraiam1@gmail.com

Carlos Walkyson Assunção Silva



Possui uma sólida e diversificada formação acadêmica, sendo bacharel em Psicologia (UniFSA), licenciado em Matemática (UFPI) e tecnólogo em Geoprocessamento (IFPI), além de ser especialista em Docência do Ensino Superior, Gestão Escolar e Ensino de Matemática. Sua experiência profissional abrange o magistério, tendo atuado como professor de Matemática no ensino fundamental, em escolas particulares de Timon-MA e Teresina-PI, e no Ensino Médio (SEDUC-CE). No campo clínico, atuou como psicólogo. Desde 2015, integra a Rede Federal de Ensino, atualmente como professor no Instituto Federal do Ceará – *Campus Tianguá*, onde já coordenou o curso de Licenciatura em Física e hoje exerce o cargo de coordenador de Extensão. Atualmente, aprofunda seus estudos com um Mestrado em Psicologia Organizacional e do Trabalho (UNP), buscando unir sua paixão pela educação e liderança.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1642-502X>

E-mail: carlos.silva@ifce.edu.br

Lucas Freitas Campos



Possui formação acadêmica sólida nas áreas de ciências exatas. Concluiu a Licenciatura em Matemática em agosto de 2014. Posteriormente, obteve o mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará (UFC), finalizado em agosto de 2017. Também é licenciado em Física pelo IFCE – *Campus Tianguá*, curso concluído em agosto de 2023. Atua como professor EBTT desde julho de 2017.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9558-8502>

E-mail: lucas.campos@ifce.edu.br



Antonio Rocha Araújo

Atualmente cursa a Licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, onde desenvolve forte afinidade tanto com a Física quanto com áreas de computação. Esse interesse pela interseção entre ciência e tecnologia influenciou diretamente a escolha de seu trabalho de conclusão de curso: “A equação do calor: uma abordagem pelo método das diferenças finitas”, no qual explora métodos numéricos aplicados à modelagem de fenômenos físicos.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5689-8845>

E-mail: antonio.rocha.araujo07@aluno.ifce.edu.br



Carlos Alex Souza da Silva

Possui graduação em Física pela Universidade Estadual do Ceará – UECE (2004), mestrado em Física pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2007) e doutorado em Física pela Universidade Federal do Ceará – UFC (2011). Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física das Partículas Elementares, Campos e Gravitação, atuando principalmente nos seguintes temas: teoria de campos em espaços curvos, cosmologia quântica, termodinâmica dos buracos negros, geometria não comutativa, correspondência AdS/CFT e ondas gravitacionais. Atualmente, é professor do curso de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Tianguá.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1586-9580>

E-mail: carlosalex.phys@gmail.com

SOBRE OS ORGANIZADORES

ANNA KAROLINA ALVES DO NASCIMENTO



Possui mestrado em Educação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2017), especialização em Ensino de Teatro pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – *Campus Parnamirim* (2022) e graduação em Pedagogia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2014). Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Educação Inclusiva, principalmente no que concerne aos temas audiodescrição e mediação teatral. Atuou como educadora infantil do município de Natal-RN (2015-2018) e como professora do ensino fundamental (2018-2019) do Núcleo de Educação da Infância (NEI-CAp/UFRN). Atualmente é docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Tianguá* e orienta pesquisas voltadas para a participação das mulheres nas ciências, metodologias ativas no ensino de Física e interface entre Física e inclusão.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5385-8268>

E-mail: karolina.nascimento@ifce.edu.br

FELIPE MOREIRA BARBOZA



Possui doutorado, mestrado e graduação em Física pela Universidade Federal do Ceará, com ampla experiência acadêmica e profissional na área. Sua linha de pesquisa explora a interdisciplinaridade e a integração de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) no contexto do ensino de Física. Atualmente é professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Tianguá*, onde também já coordenou o curso de Licenciatura em Física. Além disso, coordenou programas como o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e Residência Pedagógica, bem como já participou de comissões para abertura de novos cursos na área.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8585-2071>

E-mail: felipebarboza@ifce.edu.br

ISBN 978-655376508-5



A standard 1D barcode representing the ISBN number 978-655376508-5. The barcode is composed of vertical black lines of varying widths on a white background. The ISBN number is printed below the barcode for reference.

9 786553 765085