



**INSTITUTO
FEDERAL**

Ceará

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ

IFCE *CAMPUS* FORTALEZA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DA REDE NORDESTE DE

ENSINO (RENOEN)

DOUTORADO ACADÊMICO EM ENSINO

SEBASTIÃO ELVIS GOMES

**APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA FEDATHI NO ENSINO DE COMUNICAÇÕES
ÓPTICAS COM SUPORTE DE UM SOFTWARE EDUCACIONAL BASEADO EM
MÉTODOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

FORTALEZA-CE

2025

SEBASTIÃO ELVIS GOMES

APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA FEDATHI NO ENSINO DE COMUNICAÇÕES
ÓPTICAS COM SUPORTE DE UM SOFTWARE EDUCACIONAL BASEADO EM
MÉTODOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ensino. Área de concentração: Ensino Tecnológico: práticas e construções curriculares.

Orientador: Prof. Dr. Glendo de Freitas Guimarães.

FORTALEZA-CE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G633a Gomes, Sebastião Elvis.

Aplicação da Sequência Fedathi no ensino de comunicações ópticas com suporte de um software educacional baseado em métodos de inteligência artificial / Sebastião Elvis Gomes. - 2025.

122 f. : il. color.

Tese (doutorado) - Instituto Federal do Ceará, Doutorado Acadêmico em Ensino (Renoen), Campus Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Glendo de Freitas Guimarães .

1. Sequência Fedathi. 2. Ensino superior. 3. Ensino de engenharia. 4. Ensino de física. 5. Inteligência artificial. I. Título.

SEBASTIÃO ELVIS GOMES

APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA FEDATHI NO ENSINO DE COMUNICAÇÕES
ÓPTICAS COM SUPORTE DE UM SOFTWARE EDUCACIONAL BASEADO EM
MÉTODOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ensino. Área de concentração: Ensino Tecnológico: práticas e construções curriculares.

Aprovado em: 08/12/2025.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Glendo de Freitas Guimarães (orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Solonildo Almeida da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Manoel Henrique Bezerra Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Herminio Borges Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Brandão Menezes
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dedico este trabalho à minha família, especialmente à Kátia Gomes (esposa) e Ana Beatriz Gomes (filha), por todos os momentos de paciência, privação, companheirismo e dedicação ao longo do desenvolvimento e escrita desta pesquisa. Aos meus pais, João Gomes Sobrinho e Josefa Enemízia Gomes, o meu reconhecimento por acreditarem no meu potencial e por assumirem a responsabilidade de me guiar com toda a retidão na infância e adolescência.

Por fim, presto minha homenagem ao meu orientador, Glendo de Freitas Guimarães, por toda contribuição nesta tese de doutorado e, para além disso, pelo exemplo de ser humano que é.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha esposa, Kátia Gomes, e à minha filha, Ana Beatriz F. Gomes, pela paciência, apoio e compreensão ao longo dos quatro anos de Doutorado.

Aos meus pais, João Gomes Sobrinho e Josefa Enemízia Gomes, pela dedicação, pelo carinho de sempre e pelo incentivo contínuo, estendido a todos os meus familiares.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Glendo de Freitas Guimarães, pela inestimável paciência, dedicação e persistência ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora, pela disponibilidade em participar e pelas valiosas contribuições e sugestões que enriqueceram este trabalho.

Ao Governo Federal do Brasil, ao Ministério da Educação (MEC) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), por meio do Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), pelo apoio institucional e pelo financiamento deste programa de Doutorado Acadêmico.

Ao Laboratório de Pesquisa Multimeios da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Ceará (UFC), sob a liderança do professor Hermínio Borges Neto, pelos inúmeros e valiosos aprendizados adquiridos.

Ao Grupo de Estudo e Pesquisa Tecendo Redes Cognitivas de Aprendizagem (G-TERCOA/CNPq-UFC), liderado pela Professora Dra. Maria José Costa dos Santos, pelas valiosas experiências acadêmicas e científicas proporcionadas.

Aos meus professores do Doutorado Acadêmico em Ensino (RENOEN – IFCE), pelos inestimáveis ensinamentos e pelas relações acadêmicas construídas ao longo do período do Doutorado.

À Raquel Casemiro e à Raquel Leal, da Secretaria do DIPPG do IFCE, pela atenção, disponibilidade e apoio administrativo durante todo o percurso acadêmico.

Aos amigos da Turma 2022 (pioneira) do Doutorado Acadêmico em Ensino (RENOEN–IFCE), pelos insights, pelo companheirismo e pelas valiosas trocas de experiências.

Aos meus cachorros Moah, Tell (*in memoriam*) e Tuto (*in memoriam*), pela alegria, pelo afeto e pela companhia incondicional.

"Educação não transforma o mundo.
Educação muda pessoas. Pessoas
transformam o mundo."

(Paulo Freire)

RESUMO

Esta tese aborda os desafios no ensino de Comunicações Ópticas em Engenharia de Telecomunicações. A natureza multiparamétrica e não linear da disciplina dificulta a inferência em sala de aula e a discussão. O estudo aponta que a abordagem didática tradicional (aulas expositivas) restringe a problematização de casos reais e a análise de múltiplas situações. Reconhece-se que o uso de simuladores proprietários para a estimativa de parâmetros de redes ópticas e para o ensino dessa disciplina exige alta capacidade de processamento computacional, resultando em custos e tempo despendidos elevados. Tal cenário impõe a necessidade de abordagens inovadoras que integrem novas metodologias de ensino, como a metodologia de ensino Sequência Fedathi, ao uso de tecnologias emergentes, como simuladores baseados em inteligência artificial (IA). O objetivo desta tese foi investigar a efetividade da Sequência Fedathi como metodologia de ensino, aliada a simuladores de IA (*Optilearn*) de baixo custo, aplicados aos cálculos de parâmetros de redes ópticas. A metodologia desta tese, de natureza quantitativa e caráter aplicado, baseou-se em uma pesquisa de campo realizada em sala de aula com alunos dos cursos Técnico e de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Os resultados demonstram uma melhoria significativa no desempenho de aprendizagem dos alunos. A análise estatística, baseada na comparação dos resultados do pré-teste e do pós-teste aplicados após a intervenção didática, revelou um aumento de 3,0 pontos na mediana das notas. Este ganho reforça a capacidade dos estudantes de assimilar mais efetivamente os conceitos e aplicar o conhecimento adquirido com maior precisão. A pesquisa ressalta a eficácia da combinação da Sequência Fedathi com o simulador IA *Optilearn*, ferramenta criada pelos autores, para cálculo de parâmetros de redes ópticas, voltado para a área de ensino de Comunicações Ópticas. Conclui-se que a implementação da Sequência Fedathi, aliada a simuladores IA de baixo custo e ampla convergência teórico-prática, como o *Optilearn*, é uma possibilidade concreta e viável para o ensino de redes ópticas em cursos de engenharia, oferecendo um referencial teórico-prático inovador e subsídio para futuras pesquisas.

Palavras-chave: Sequência Fedathi. Ensino superior. Ensino de engenharia. Ensino de física. Inteligência artificial.

ABSTRACT

This thesis addresses the challenges in teaching optical communications in Telecommunications Engineering. The multiparametric and nonlinear nature of the discipline hinders inference and discussion in the classroom. The study points out that the traditional didactic approach (lectures) restricts the discussion of real cases and the analysis of multiple situations. It is recognized that the use of proprietary simulators for estimating optical network parameters and for teaching this discipline requires high computational processing capacity, resulting in high costs and time expenditure. This scenario imposes the need for innovative approaches that integrate new teaching methodologies, such as the Fedathi Sequence teaching methodology, with the use of emerging technologies, such as simulators based on Artificial Intelligence (AI). The objective of this thesis was to validate the effectiveness of the Fedathi Sequence as a teaching methodology, combined with low-cost AI simulators (*Optilearn*), applied to the calculation of optical network parameters. The methodology of this thesis, which is quantitative and applied in nature, was based on field research conducted in the classroom with students from the Technical and Telecommunications Engineering courses at the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Ceará (IFCE). The results show a significant improvement in student learning performance. Statistical analysis, based on a comparison of pre-test and post-test results administered after the teaching intervention, revealed a 3.0-point increase in median scores. This gain reinforces students' ability to assimilate concepts more effectively and apply the knowledge they have acquired with greater accuracy. The research highlights the effectiveness of combining the Fedathi Sequence with the *Optilearn* AI simulator, a tool created by the authors to calculate optical network parameters, aimed at the field of Optical Communications education. It is concluded that the implementation of the Fedathi Sequence, combined with low-cost AI simulators with broad theoretical and practical convergence, such as *Optilearn*, is a concrete and viable possibility for teaching optical networks in technical and engineering courses, offering an innovative theoretical and practical reference and support for future research.

Keywords: Fedathi Sequence. Higher education. Engineering teaching. Physics Teaching. Artificial intelligence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sequência dos artigos desta tese.	24
---	----

ARTIGO 1

Figura 1 - Quantitativo de teses e/ou dissertações em análise por ano de publicação.	35
Figura 2 - Quantitativo de trabalhos por instituições.	39
Figura 3 - Quantitativo de teses e dissertações em análise por estado.	40
Figura 4 - Percentual de trabalhos publicados em análise por estado.	41
Figura 5 - Quantitativo de teses e dissertações por segmento educacional.	42
Figura 6 - Quantitativo de teses e dissertações por distribuição de homens e mulheres.	44
Quadro 1 - Relação de teses e dissertações selecionadas.	36
Quadro 2 - Quantitativo de teses e dissertações selecionadas por segmento educacional.	41
Quadro 3 - Quantitativo de teses e dissertações selecionadas por segmento educacional.	42
Quadro 4 - Quantitativo de teses e dissertações selecionadas por áreas.	43
Quadro 5 - Quadro de teses e dissertações selecionadas por distribuição entre homens e mulheres.	44

ARTIGO 2

Figura 1 - Rede Óptica simulado no software Optisystem®.	59
Figura 2 - Etapas de desenvolvimento da Sequência Fedathi.	60
Quadro 1 - Postura docente segundo a Sequência Fedathi.	53

ARTIGO 3

Figura 1 - Esquemático de rede óptica.	74
Figura 2 - Etapas de simulação de Redes Ópticas através da IA.	75
Figura 3 - Tela do Simulador IA com modelo preditivo de redes ópticas.	76
Figura 4 - Coeficiente de Pearson, Spearman e Kendall para a base de dados analisada.	80
Quadro 1 - Postura docente segundo a Sequência Fedathi.	69

Gráfico 1 - Coeficiente de Determinação (R^2), Erro Médio Absoluto (MAE) e Erro Quadrático Médio (MSE) utilizando um simulador de IA com resposta para o Min_BER.	81
Gráfico 2 - Coeficiente de Determinação (R^2), Erro Médio Absoluto (MAE) e Erro Quadrático Médio (MSE) utilizando um simulador de IA com resposta para o Max_Q_Factor.	82

ARTIGO 4

Figura 1 - Interface do simulador Optilearn com modelo preditivo baseado em IA para redes ópticas.	93
Gráfico 1 - Resultados da intervenção pedagógica no pré-teste e no pós-teste.	99

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Organização da <i>string</i> de busca Tabela de Termos que constem no título do trabalho na base da BDTD.	33
Tabela 2 - Fluxograma a respeito do processo de identificação e filtragem/seleção das teses e dissertações em análise na base BDTD.	35

ARTIGO 3

Tabela 1 - Resultados da simulação com IA utilizando os modelos preditivos DTR, RFR e GBR.	78
--	----

ARTIGO 4

Tabela 1 - Resultados obtidos através do Teste de Wilcoxon.	100
Tabela 2 - Valores de correlação entre os dados.	101

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIQ	Amplitude interquartílica
APA	<i>American Psychological Association</i>
APCN	Avaliação de Propostas de Cursos Novos
API	Desenvolvimento de um aplicativo
Art.	Artigo
ATE	Atenuação
AVEA	Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BER	Taxa de Erro de Bit
BER_Analyzer	Analizador de sinal
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Ceará
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CO	Comunicações Ópticas
CW	Laser de onda contínua
dBm	<i>decibel-miliwatt</i>
DF	Distrito Federal
DISP	Dispersão
DL	<i>Deep Learning</i>
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
Dr.	Doutor
DTEL	Departamento de Telemática
DTR	<i>Decision Tree Regression</i>
ed.	Edição
<i>et al.</i>	<i>et alia</i> (e outros)
f.	Folhas
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
Gbps	Gigabits por Segundo
GBR	<i>Gradient Boosting Regression</i>
GO	Goiás

IA	Inteligência artificial
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ID	Identificador
IES	Instituições de Ensino Superior
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
ISBN	<i>International Standard Book Number</i>
ISSN	<i>International Standard Serial Number</i>
km	Quilômetro
MAE	Erro Médio Absoluto
MAX_Q_FACTOR	Máximo Fator de Qualidade
MEC	Ministério da Educação
MG	Minas Gerais
MIN_BER	Mínima Taxa de Erro de Bit
ML	<i>Machine Learning</i>
MS	Mato Grosso do Sul
MSE	Erro Quadrático Médio
MZ	Modulador Match-Zehnder
nm	Nanômetros
Nº	Número
NRZ	Pulso sem retorno a zero
OPTILEARN	Simulador educacional de IA embarcada <i>Optilearn</i>
org.	organizador
p.	página
PhD	<i>Philosophy Doctor</i>
PPGED	Programa de Pós-graduação em Educação
PR	Paraná
PRBS	Bit pseudoaleatório
ps/nm.km.	picossegundos/ nanômetros/quilômetros
PUCSP	Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
R ²	Coeficiente de Determinação
RENOEN	Rede Nordeste de Ensino
RFR	<i>Randon Forest Regression</i>
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte

RS	Rio Grande do Sul
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
<i>s. l.</i>	<i>Sine Loco</i> (sem local)
SC	Santa Catarina
SD	Sequência didática
SE	Sergipe
SF	Sequência Fedathi
SP	São Paulo
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
THz	Terahertz
UCS	Universidade de Caxias do Sul
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UF	Unidade Federativa
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFS	Universidade Federal de Sergipe
UFSC	Universidade Federal do Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNB	Universidade de Brasília
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UNOPAR	Universidade Pitágoras

USP

Universidade de São Paulo

UTFPR

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

v.

volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa	19
1.2	Problema de pesquisa	20
1.3	Objetivos da pesquisa	22
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	22
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	23
1.4	Procedimentos metodológicos	23
1.4.1	<i>Sujeito e locus da pesquisa</i>	27
2	ARTIGO 1 – A PESQUISA NA PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU ACERCA DO USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO ENSINO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA...	28
3	ARTIGO 2 – UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA FEDATHI E O USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADO AO ENSINO DE REDES ÓPTICAS NA ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES.....	47
4	ARTIGO 3 – UM DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA PREDIÇÃO DE PARÂMETROS DE REDES DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS VOLTADO PARA O ENSINO	64
5	ARTIGO 4 – A SEQUÊNCIA FEDATHI NO ENSINO DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS MEDIADA POR UM SIMULADOR EDUCACIONAL COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA	85
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA	111
	APÊNDICE B – ELEMENTOS DO FORMATO MULTIPAPER.....	113
	APÊNDICE C – PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE	114
	ANEXO A – APROVAÇÃO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (CEP) IFCE – PARECER CONSUBSTANCIADO – N° 6533946	116
	ANEXO B – INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 01/2024/PPGED – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS.....	117

ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(TCLE) 120

1 INTRODUÇÃO

O campo das comunicações ópticas é um pilar fundamental e de crescente relevância na formação de profissionais em Engenharia de Telecomunicações. No entanto, o processo de ensino-aprendizagem desta disciplina apresenta desafios, que comprometem a eficácia da formação e a preparação dos alunos para o mercado de trabalho.

A dificuldade central no ensino-aprendizagem das comunicações ópticas reside na sua natureza intrinsecamente multiparamétrica e não linear. Segundo Agrawal (2014), em uma rede óptica, a interação de diversos parâmetros (como dispersão, atenuação e a não linearidades da fibra) cria um cenário onde a simples inferência em sala de aula se torna complexa, o que, por sua vez, limita significativamente a discussão aprofundada e a compreensão intuitiva dos fenômenos.

Tradicionalmente, o ensino desta disciplina tem se apoiado majoritariamente em abordagens didáticas expositivas utilizando quadro e slides. Este estudo aponta que tal metodologia restringe severamente a capacidade do aluno de se engajar com o material de maneira prática. Especificamente, o modelo expositivo impede a problematização eficiente de casos reais e a análise simultânea de múltiplas situações ou cenários de falha/otimização, cruciais para a engenharia. Essa limitação metodológica resulta em uma lacuna entre o conhecimento teórico e a aplicação prática. Segundo Pinheiro, Dickmann e Muller (2023), o ensino das disciplinas de Engenharia no contexto atual enfrenta desafios significativos que comprometem a qualidade da aprendizagem, prevalência do método expositivo tradicional e a inadequação do material didático, como os livros-texto, não estão mais agradando os estudantes.

A busca por novas propostas metodológicas, embora urgente, ainda esbarra em diversas barreiras. Entre elas, destacam-se as concepções tradicionalistas de gestores e professores, que resistem à mudança e soma-se a isso o ceticismo dos próprios alunos (MELLO; MAGALHÃES; COSTA, 2023).

Essa resistência reforça uma visão do ensino descontextualizada da realidade dos estudantes. As aulas frequentemente deixam de lado a preocupação com as concepções prévias que os alunos trazem para a sala de aula — saberes e ideias adquiridos em seu cotidiano, fora dos muros escolares. A falta de diálogo com essas

concepções e a ausência de conexão com o mundo real consolidam um modelo de ensino ineficaz (SOUSA *et al.*, 2013).

Ainda sobre a dificuldade na aprendizagem dos alunos da Engenharia, não pode ser dissociada dos desafios encontrados em disciplinas pré-requisito, notadamente a Matemática. No contexto do ensino superior, Borges Neto (2016) aponta que a experiência docente revela a dificuldade dos alunos com a Matemática, atribuída em parte à sua abordagem autoritária do professor. Essa descrição ecoa o conceito de educação bancária de Freire (1987), no qual o aluno é visto como mero receptáculo de informações.

A complexidade na aprendizagem nos cursos de Engenharia é agravada em disciplinas avançadas como o Cálculo Diferencial e Integral (SOUSA NETO *et al.*, 2022). Esta área da Matemática é crucial, servindo de pilar para saberes posteriores, como Comunicações Ópticas, entre outras disciplinas dos cursos de ciências exatas do ensino superior, em especial nas Engenharias. Essas disciplinas constituem uma base indispensável para o entendimento de muitos fenômenos físicos e de engenharia, fazendo-se necessárias para a construção de muitos conhecimentos inerentes à formação de engenheiros (SOUSA NETO *et al.*, 2022).

O alto índice de reprovação e evasão em disciplinas de Matemática, como o Cálculo Diferencial, está diretamente relacionado à predominância da abordagem expositiva. Este método se limita a apresentar "verdades conceituais prontas", negligenciando completamente a participação ativa dos alunos (SOUZA, 2013).

Essas conclusões reforçam a necessidade premente de uma abordagem diferenciada por parte dos docentes, visando reformular a atual dinâmica da disciplina. Essa transformação exige, sobretudo, a valorização do aluno como agente ativo no processo. O professor deve estimular o interesse científico, desencadeando a curiosidade, incentivando a busca pelo conhecimento e promovendo a reflexão, a formulação de hipóteses e a validação. A aprendizagem, portanto, deve ser uma construção conjunta, onde o professor atua como facilitador e guia, e não apenas como transmissor de informações (SOUZA, 2013).

Em contrapartida a esse modelo tradicional citado por Souza (2013), os registros de implementação de uma nova metodologia de ensino – Sequência Fedathi – em sessões didáticas em cursos de Cálculo Diferencial e Integral, revelaram resultados iniciais promissores (MENEZES, 2018). Ainda em contraponto ao ensino

tradicional, estudos têm explorado o impacto de metodologias inovadoras. Nos trabalhos de Menezes (2018), foi demonstrado um impacto sensível no comportamento dos alunos ao assistirem a uma aula cujo professor adotou uma postura diferente do método expositivo tradicional, utilizando como metodologia de ensino a Sequência Fedathi.

Ainda segundo Menezes (2018) a mudança na prática pedagógica do docente resultou em um comportamento diferenciado e mais participativo por parte dos discentes. Os alunos se sentiram à vontade para colaborar e expor suas ideias sem as amarras emocionais frequentemente impostas pelo modelo tradicional. Esse achado reforça a tese de que a metodologia de ensino é um fator crucial para superar as barreiras de aprendizagem em disciplinas ciências conforme Aquino (2025).

A Sequência Fedathi surge como uma metodologia capaz de orientar a ação do professor, conduzindo o aluno como um sujeito ativo e não apenas um receptor passivo de respostas prontas ou de uma Matemática "acabada" (COSTA *et al.*, 2024). A Sequência Fedathi atinge esse objetivo ao criar um ambiente onde o professor atua como condutor, dando aos alunos a oportunidade de descobrir a Matemática. Isso é feito partindo de situações desafiadoras que os mobilizam a agir sobre o conteúdo proposto, promovendo a assimilação e acomodação de novos saberes (COSTA *et al.*, 2024).

A Sequência Fedathi é implementada seguindo etapas bem definidas em uma sessão didática: tomada de posição, maturação, solução e prova (COSTA *et al.*, 2024). O uso adequado dessas etapas traduz uma nova visão em sala de aula, impactando tanto a postura do professor quanto a do aluno. O discente é incentivado a ser um participante ativo durante toda a aula, resolvendo atividades, discutindo soluções e verificando a formalização do conteúdo feita pelo professor. Com esta nova perspectiva com a Sequência Fedathi (SF), pode-se vislumbrar nova metodologia no ensino de comunicações ópticas.

1.1 Justificativa

A presente pesquisa se justifica pela extrema relevância da disciplina de Comunicações Ópticas para a formação dos estudantes do curso de Engenharia de Telecomunicações, Engenharia Elétrica, Engenharia de Telemática entre outras. Esta

disciplina não é apenas um componente curricular, mas sim a base teórica fundamental que sustenta diversas matérias subsequentes do curso.

O enfrentamento de obstáculos no aprendizado de Comunicações Ópticas, portanto, tem o potencial de impactar negativamente todo o percurso acadêmico do aluno. É notório que os estudantes frequentemente percebem o aprendizado dessa disciplina como uma tarefa complexa, o que se reflete em altas taxas de evasão no curso.

Esta percepção de dificuldade está, em grande parte, enraizada no modelo de ensino predominante. A manutenção das aulas expositivas e a postura tradicional do docente tendem a colocar os alunos em uma posição passiva, limitando-os a serem meros espectadores e receptores do conhecimento transmitido (FREIRE, 1987).

Ao longo da experiência docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *campus* Fortaleza, tenho testemunhado as dificuldades persistentes que os alunos enfrentam na assimilação dos conceitos de Comunicações Ópticas. Essa dificuldade é um sintoma direto da ineficácia dos métodos tradicionais em promover o desenvolvimento cognitivo necessário para o domínio de temas de engenharia.

Para transformar de forma significativa a dinâmica de aprendizagem na disciplina de Comunicações Ópticas, é imperativo que se desenvolva um trabalho que insira o aluno ativamente na construção do seu próprio conhecimento.

Neste sentido, a pesquisa se justifica pela proposição e implementação de uma nova metodologia de ensino, como a Sequência Fedathi, uma vez que esta aplicação metodológica em Comunicações Ópticas não é abordada quanto ao seu uso na Engenharia. Acreditamos que a adoção Sequência Fedathi como metodologia de ensino na Engenharia, que estimule a reflexão, a formulação de hipóteses e a validação, conforme detalhado na introdução, é o caminho fundamental para melhorar o desempenho e reduzir as taxas de insucesso na disciplina, contribuindo diretamente para uma melhor formação de engenheiros de telecomunicações.

1.2 Problema de pesquisa

As dificuldades persistentes no aprendizado dos conteúdos altamente abstratos da disciplina de Comunicações Ópticas na Engenharia de

Telecomunicações e cursos afins, tornam imperativa a expansão das investigações pedagógicas. A abstração dos fenômenos que ocorrem no modelamento matemático de redes ópticas, somada à complexidade dos problemas multiparâmetros típicos das engenharias, em especial no ensino de Comunicações Ópticas, onde as múltiplas variáveis presentes, como atenuação e dispersão em redes ópticas, dificultam a compreensão e a inferência dos estudantes quando se faz o uso de metodologia de tradicionais.

Segundo Gomes *et al.* (2024), em um esforço para suprir esta lacuna da abstração dos fenômenos físicos em Comunicações Ópticas, frequentemente se recorre ao uso de simuladores proprietários complexos, voltados para a estimativa de parâmetros de redes ópticas. Contudo, essa solução acarreta um novo conjunto de problemas: custos elevados das licenças de uso do software, alta exigência computacional e longo tempo despendido.

Adicionalmente, conforme Mello, Magalhães e Costa (2023) destacam, há uma carência notável de trabalhos que abordem as concepções alternativas no ensino das engenharias, bem como a falta de pesquisas que testaram propostas pedagógicas e apresentaram resultados concretos de melhoria do processo de aprendizagem neste contexto.

A abordagem tradicional ignora essas concepções e perpetua uma relação professor-aluno problemática, tratando a resolução de questões de modo mecânico e desencorajando a dúvida e a busca por soluções alternativas (SOARES; NOBRE, 2017), modelo este que não estimula a participação ativa dos alunos (MENDES, 2015; TALIM, 2004).

Diante dos resultados promissores das novas metodologias de ensino, como a Sequência Fedathi, já observados no ensino de Matemática, Física e outras disciplinas das Ciências Exatas (BORGES NETO, 2018; COSTA *et al.*, 2024), e da urgência em transformar a postura docente para que o aluno se torne um investigador ativo, a presente pesquisa busca preencher a lacuna da aplicação dessa metodologia em um contexto de ensino de Engenharia, mais especificamente em Comunicações Ópticas.

Por outro lado, é inegável que a inteligência artificial (IA) tem despertado um considerável interesse e avançado significativamente em diversas áreas, sendo a educação uma delas, conforme mostrado por Gomes e Guimarães (2025). Na última

década, temos observado um crescente interesse e aplicação da IA no contexto educacional, o que tem proporcionado novas oportunidades e desafios para o processo de ensino e aprendizagem (RUSSELL; NORVIG, 2024). A capacidade da IA de analisar dados, realizar inferências, automatizar tarefas e interagir com os alunos possui um potencial transformador no cenário educacional (RUSSELL; NORVIG, 2024).

A evolução da IA no campo da educação tem sido notável, passando das abordagens iniciais com sistemas de tutoria inteligente para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem personalizados e adaptativos, capazes de atender às necessidades individuais dos alunos (RUSSELL; NORVIG, 2024). Além disso, as aplicações da IA no ensino se expandiram para diversas disciplinas e níveis educacionais, abrangendo desde a educação básica até o ensino superior e a formação profissional (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015).

Soma-se a isso a crescente relevância da IA no cenário educacional (RUSSELL; NORVIG, 2024; CHEN; CHEN; LIN, 2020), que oferece novas ferramentas para ambientes de aprendizagem adaptativos, cuja integração com metodologias ativas também merece investigação.

Portanto, o problema de pesquisa que norteia este trabalho é: de que maneira a implementação da Sequência Fedathi e a possível integração de recursos de simulação com o uso de inteligência artificial podem contribuir para a melhoria do processo de ensino de Comunicações Ópticas?

Ainda com este intuito de responder à questão central da pesquisa, lança-se a seguinte hipótese: o uso da Sequência Fedathi aliado ao uso de simuladores de inteligência artificial, aplicado ao ensino de Comunicações Ópticas, pode favorecer a melhoria do ensino na Engenharia de Telecomunicações?

1.3 Objetivos da pesquisa

1.3.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo investigar a eficácia pedagógica da aplicação da Sequência Fedathi, integrada ao uso de simuladores educacionais baseados em inteligência artificial embarcada, no processo de ensino de

Comunicações Ópticas e de disciplinas correlatas. A pesquisa será conduzida com foco específico na disciplina de Comunicação Óptica e em outras similares.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver um simulador educacional baseado em inteligência artificial embarcada para a modelagem e simulação de redes ópticas, contemplando os efeitos da atenuação e da dispersão no desempenho dessas redes;
- b) implementar, nas sessões didáticas, a metodologia de ensino Sequência Fedathi, de forma integrada ao simulador educacional baseado em inteligência artificial embarcada desenvolvido;
- c) avaliar, por meio de métodos estatísticos apropriados, os resultados da aplicação da Sequência Fedathi associada ao uso de simuladores baseados em inteligência artificial no ensino de Comunicações Ópticas.

1.4 Procedimentos metodológicos

Esta tese é apresentada no formato *multipaper*, em estrita conformidade com a Instrução Normativa Nº 01/2024/PPGED (anexo A), da Universidade Federal de Sergipe (UFS), instituição líder do Doutorado em Ensino da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), doutorado este o qual o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará também é integrante.

A escolha por esta estruturação reside no conjunto coeso de artigos que a compõe. Embora cada artigo mantenha suas características individuais, todos estabelecem um diálogo profundo e convergente, iluminando o objeto de estudo de múltiplas perspectivas. Este modelo de apresentação é reconhecido na literatura acadêmica e referenciado por autores como Duke e Beck (1999) e Boote e Beile (2005).

A adoção do formato *multipaper* por esta tese alinha-se a um movimento crescente de abertura e aceitação em Programas de Pós-Graduação *stricto sensu* no Brasil. Segundo Mutti e Klüber (2018), em sua análise sobre a consideração desse formato, destacam que diversas instituições já o incorporaram como modalidade válida de defesa. Os autores mencionam, por exemplo, a sua presença em programas

nas áreas de Educação, Ciências e Educação Matemática de instituições de referência, como a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Universidade Estadual de Londrina (UEL), Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Universidade Estadual de Maringá (UEM), Fundação Getúlio Vargas (FGV), Universidade Federal de Sergipe (UFS), entre outras.

Segundo Souza (2011), em um trabalho científico *multipaper*, o termo é o 'nome pomposo dado aos escritos compostos por textos que guardam, entre si, certa independência, mas configuram algo que se pretende coeso, com cada um dos textos auxiliando na formação de um “objeto”’. A diferença entre o PhD tradicional ao PhD por publicações (*multipaper*) é mostrado neste formato por Alves e Cálderón (2025).

É fundamental que cada artigo que compõe o trabalho de pesquisa neste formato contemple os elementos característicos de um artigo publicável, apresentando consistência teórica, rigor científico e resultados originais. Conforme Duke e Beck (1999), embora os focos dos artigos sejam distintos, eles não podem ser dissociados dos propósitos gerais da pesquisa. É crucial que, em conjunto, eles permitam responder ao problema central do trabalho de pesquisa.

A seguir, apresentamos um breve resumo de cada capítulo da tese, fornecendo uma visão geral das principais contribuições e abordagens em cada um deles e na figura 1 mostramos a sequência de execução.

Figura 1 - Sequência dos artigos desta tese.



No segundo capítulo, foi elaborado o artigo 1, que trata de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre o uso de inteligência artificial aplicada ao

ensino. Este capítulo apresenta os resultados de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) em teses e dissertações da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). O objetivo central foi mapear a incorporação e a pesquisa sobre IA no contexto do ensino brasileiro.

Ainda sobre o segundo capítulo, a pesquisa concentrou-se na análise de quatro eixos principais: volume e distribuição geográfica (UF): para entender a dispersão dos estudos. Atores chave: identificando as instituições de ensino superior (IES) e os pesquisadores (docentes e discentes) mais ativos. Aplicação da IA: detalhando os segmentos educacionais (básico, médio e superior) e as áreas/disciplinas específicas (como Ciências, Engenharia, Física e Matemática) de foco. Perfil dos pesquisadores: analisando a distribuição de autoria por gênero.

O capítulo três deste trabalho, que corresponde ao artigo 2, aborda a problemática central do ensino de Engenharia: a ineficácia do método expositivo tradicional. Esse método é criticado por colocar os alunos em uma posição passiva, o que contribui para que percebam a disciplina como excessivamente complexa e desafiadora. Em contraste com essa limitação didática, o texto introduz a inteligência artificial, destacando seu potencial revolucionário e sua crescente relevância social. Com base nesse contraste entre a dificuldade do ensino tradicional e o potencial inovador da IA, o trabalho propõe uma solução pedagógica: a apresentação e aplicação de uma sequência didática Fedathi para aprimorar o ensino da disciplina.

No quarto capítulo desta tese, referente ao artigo 3, foi abordado o desafio no ensino de Comunicações Ópticas em cursos de Engenharia, onde o método expositivo tradicional é visto como complexo e passivo, limitando a participação ativa dos estudantes. Em contraponto a essa limitação, destaca-se a relevância e o poder transformador da IA na sociedade. Nesse contexto, o trabalho propõe uma solução inovadora: desenvolvimento de um aplicativo (API) baseado em IA para a simulação de redes ópticas, com foco no ensino prático. Implementação e comparação de diferentes modelos preditivos de IA em simulações, *software* denominado de *Optilearn*. As simulações foram realizadas para analisar o desempenho de cada modelo em variáveis-chave das redes ópticas, como o fator máximo de qualidade (MAX_Q_FACTOR) e a taxa de erro de bit (BER).

No quinto capítulo, referente ao artigo 4, é abordado o desafio no ensino de Comunicações Ópticas (em cursos de Engenharia e Técnico em Telecomunicações),

notando que o método expositivo tradicional gera passividade e dificulta a construção autônoma do conhecimento, tornando o aprendizado complexo. A aplicação de uma sequência didática baseada na metodologia Fedathi (que promove o protagonismo discente através de fases investigativas e reflexivas). Além disso, foi feito o uso do *OPTILEARN*, um simulador de redes ópticas, desenvolvido no IFCE, desenvolvido por Gomes *et al.* (2024), que possui modelos preditivos de IA embarcada para calcular parâmetros como Taxa de Erro de Bit (BER) e Fator Máximo de Qualidade (MAX_Q_FACTOR). A intervenção foi aplicada em uma sessão didática com alunos de Engenharia e do curso Técnico em Telecomunicações, em um ambiente de aprendizagem interativo. Foi realizada uma análise comparativa (pré-teste e pós-teste) dos questionários aplicados ao mesmo grupo de alunos, utilizando o teste estatístico de *Wilcoxon*. A análise revelou um aumento estatisticamente significativo no desempenho dos estudantes após a sessão didática.

Metodologicamente, este trabalho adota a perspectiva da pesquisa quantitativa. Essa abordagem, conforme Creswell e Creswell (2021), procura testar teorias objetivas ao examinar a relação entre variáveis. Tais variáveis são, geralmente, medidas com instrumentos para que os dados numéricos possam ser analisados por meio de procedimentos estatísticos.

Ainda segundo Creswell e Creswell (2021), a pesquisa quantitativa é definida pela coleta, análise e combinação de dados quantitativos em um único estudo ou série de estudos. Além disso, os pesquisadores que se engajam nessa forma de investigação tendem a seguir pressupostos específicos, como a testagem dedutiva das teorias.

Segundo Gil (1991), pesquisa é como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas propostos. Ainda segundo Gil (1991), a pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então, quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

De acordo com Menezes (2018), para que a pesquisa seja imparcial e cumpra os objetivos propostos, deve-se no contexto de uma metodologia de ensino, sistematizar de modo amplo os procedimentos que, quando cumpridos rigorosamente, orientar para a resposta a um problema.

A metodologia desenvolvida partiu de uma pesquisa participante e exploratória, tipo estudo de caso exploratório, com a observação de grupos focais do IFCE - *Campus Fortaleza*.

1.4.1 *Sujeito e locus da pesquisa*

A pesquisa será conduzida no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – campus Fortaleza, especificamente no Curso de Engenharia de Telecomunicações e no Curso Técnico e Integrado em Telecomunicações. Os participantes serão alunos matriculados na disciplina de Comunicações Ópticas (CO) ou em disciplinas correlatas. A identificação individual dos sujeitos será preservada, conforme estabelecido pelo Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (anexo C).

As atividades desenvolvidas neste grupo de avaliação, foram avaliadas através de uma avaliação de pré-teste, aplicação de um simulador de redes ópticas que foi desenvolvido para este fim, utilizando tecnologia de IA que detalharemos melhor em seguida, e uma avaliação de pós-teste, para verificação da evolução do aprendizado.

As aulas aconteceram no Departamento de Telemática (DTEL), com os alunos que estejam cursando a disciplina de Comunicações Ópticas (CO) ou disciplinas afins, no curso de Engenharia de Telecomunicações ou Técnico em Telecomunicações.

Esta pesquisa obteve a autorização para sua realização do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE, através do parecer consubstanciado número 6533946 (anexo A).

Em conformidade com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (anexo C) e com os procedimentos estabelecidos pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE, assegurou-se o anonimato de todos os participantes desta pesquisa. Todos os sujeitos desta pesquisa assinaram o TCLE de forma espontânea e voluntária.

2 ARTIGO 1 – A PESQUISA NA PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU ACERCA DO USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO ENSINO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Sebastião Elvis Gomes*

Glendo de Freitas Guimarães**

RESUMO

O crescimento exponencial da inteligência artificial (IA) representa um desafio e uma oportunidade para a educação, tornando imperativo compreender como essa tecnologia está sendo incorporada e pesquisada no Ensino brasileiro. Para traçar um panorama atualizado do estado da arte, esta pesquisa apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), focada em teses e dissertações disponíveis na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). A RSL buscou mapear: (i) o volume e a distribuição geográfica (UF) das publicações; (ii) as Instituições de Ensino Superior (IES) e os pesquisadores (discentes e docentes) mais ativos; (iii) os segmentos educacionais (Básico, Médio e Superior) e as áreas/disciplinas (Ciências, Física, Matemática) de aplicação da IA; e (iv) a distribuição de autoria por gênero. Os resultados revelaram um crescimento significativo das pesquisas a partir de 2022, concentradas majoritariamente na região sudeste. As IES com maior destaque foram USP, UNB, UNESP e USC. Observou-se que a aplicação da IA é predominante no Ensino Superior, com especial foco em áreas como o Ensino de Ciências. Esses achados oferecem um mapeamento essencial das tendências e lacunas da pesquisa nacional, fornecendo subsídios importantes para futuros pesquisadores e para a formulação de políticas educacionais estratégicas sobre o uso da IA na educação.

Palavras-chave: Ensino. Inteligência Artificial. Ensino de Física. Redes neurais. Machine Learning.

* Doutorando em Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* elvis@ifce.edu.br

** Doutor em Engenharia Telinformática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* glendo@fotonica.ifce.edu.br

ABSTRACT

The exponential growth of Artificial Intelligence (AI) represents both a challenge and an opportunity for education, making it imperative to understand how this technology is being incorporated and researched in Brazilian education. To provide an updated overview of the state of the art, this research presents a Systematic Literature Review (SLR), focused on theses and dissertations available in the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD). The SLR sought to map: (i) the volume and geographical distribution (state) of publications; (ii) the most active Higher Education Institutions (HEIs) and researchers (students and teachers); (iii) the educational segments (Basic, Secondary, and Higher) and areas/disciplines (Science, Physics, Mathematics) of AI application; and (iv) the distribution of authorship by gender. The results revealed significant growth in research from 2022 onwards, concentrated mainly in the Southeast Region. The most prominent HEIs were USP, UNB, UNESP, and USC. It was observed that the application of AI is predominant in Higher Education, with a special focus on areas such as Science Education. These findings offer an essential mapping of trends and gaps in national research, providing important insights for future researchers and for the formulation of strategic educational policies on the use of AI in education.

Keywords: Teaching. Artificial Intelligence. Physics Teaching. Neural Networks. Machine Learning.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) tem sido objeto de grande interesse e avanço em diversas áreas, e a educação não é exceção. Nas últimas décadas, tem-se observado um crescente interesse e aplicação da IA no contexto educacional, proporcionando novas oportunidades e desafios para o ensino e a aprendizagem (RUSSEL; NORVIG, 2022). A capacidade da IA de analisar dados, realizar inferências, automatizar tarefas e interagir com os alunos tem o potencial de transformar o cenário educacional (RUSSEL; NORVIG, 2022).

Ainda segundo Russell e Norvig (2022), a IA no ensino tem evoluído consideravelmente, passando de abordagens iniciais de sistemas de tutoria inteligentes para a criação de ambientes de aprendizagem personalizados e adaptativos, capazes de atender às necessidades individuais dos alunos. Além disso, as aplicações da IA no ensino se expandiram para diversas disciplinas e níveis educacionais, abrangendo desde a educação básica até o ensino superior e a formação profissional (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015). Também tem sido feito o uso da IA no ensino, buscando compreender as principais tendências, contribuições e desafios dessa abordagem. Segundo estudos recentes e relevantes que exploram o uso da IA em diferentes contextos educacionais, incluindo o ensino presencial, o ensino a distância e a aprendizagem online (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

Nessa perspectiva, são discutidos os avanços tecnológicos que têm impulsionado o uso da IA no ensino, como o desenvolvimento de algoritmos de *machine learning* e *deep learning*, a disponibilidade de grandes volumes de dados educacionais e a melhoria das interfaces de interação humano-computador. Além disso, são abordados os benefícios potenciais da IA no ensino, como a personalização do aprendizado, a identificação de padrões de desempenho dos alunos e a criação de ambientes educacionais mais eficientes e eficazes (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

No entanto, apesar das promessas e possibilidades da IA no ensino, existem desafios a serem enfrentados. Questões éticas, como a privacidade dos dados dos alunos e a equidade no acesso às tecnologias educacionais baseadas em IA, devem ser cuidadosamente consideradas (CATHRIN; WIKANDARU, 2023). Além disso, a formação e capacitação dos professores para o uso adequado da IA no ensino é fundamental para garantir sua efetividade e maximizar seus benefícios (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015).

Ao compreender a evolução do uso da IA no ensino, poderemos melhorar a implementação e o desenvolvimento de tecnologias educacionais baseadas em IA proporcionando um ensino mais personalizado, adaptativo e eficaz (RUSSEL; NORVIG, 2022). Essa análise crítica permitirá identificar lacunas de pesquisa e direcionar esforços para aprimorar a integração da IA no ensino, visando aprimorar a qualidade e a eficiência da educação em um mundo cada vez mais digital e tecnológico (RUSSEL; NORVIG, 2022).

De acordo com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a área de Ensino engloba um campo interdisciplinar e multidisciplinar, que abrange diferentes modalidades educacionais e níveis de ensino. Essa área de conhecimento busca investigar e desenvolver propostas voltadas para a melhoria dos processos de ensino e aprendizagem, promovendo o avanço da educação em suas diversas formas e contextos.

A área de ensino engloba estudos e pesquisas relacionados à prática pedagógica, metodologias de ensino, formação de professores, currículo, avaliação educacional, tecnologias educacionais, entre outros temas relevantes para a área educacional. É um campo de conhecimento que busca compreender os processos educativos, identificar desafios e propor soluções inovadoras para o aprimoramento da qualidade da educação.

Dessa forma, a área de Ensino é caracterizada pela diversidade de abordagens teóricas e metodológicas, que contribuem para a construção de conhecimentos e práticas educacionais mais efetivas e alinhadas com as necessidades e demandas da sociedade contemporânea (BRASIL, 2019).

Ante ao exposto, a presente revisão sistemática objetivou analisar a pesquisa realizada na pós-graduação *stricto sensu* brasileira acerca da utilização de IA no Ensino. O recorte de análise proposto dialoga com a literatura especializada ao buscar mapear as possíveis contribuições didático-pedagógica do uso do citado recurso pedagógico em variados níveis do Ensino, publicadas na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) do Brasil.

2 PROTOCOLO

O protocolo adotado nesse artigo científico foi fundamentado nos trabalhos desenvolvidos por Borrego, Foster e Froyd (2014) e Kitchenham (2004) para a elaboração de revisões sistemáticas da literatura. A partir do mencionado protocolo, portanto, definiu-se os objetivos, as questões de pesquisa, a *string* de busca e os demais procedimentos para a coleta, análise e síntese da literatura.

2.1 Objetivos da pesquisa

Para a execução dessa revisão sistemática ora proposta, definiu-se os seguintes objetivos:

- a) objetivo 1 - identificar pesquisadores da pós-graduação brasileira (discentes e docentes) e instituições de ensino superior nacionais atuantes na pesquisa sobre o uso de IA no ensino;
- b) objetivo 2 - identificar quais segmentos educacionais utilizam IA no ensino.

2.2 Questões de pesquisa

Na execução dessa revisão sistemática ora proposta, definiu-se os seguintes questionamentos abaixo:

- a) Quais os trabalhos por ano na área de pesquisa acerca da utilização de IAs no Ensino?
- b) Quais as Instituições de Ensino Superior (IES) fazem pesquisa acerca da utilização de IAs no Ensino?
- c) Quais os estados (UF) produzem trabalhos na área de pesquisa acerca da utilização de IAs no Ensino?
- d) Em quais segmentos educacionais e disciplinas do Ensino de Ciências as IA são utilizadas?
- e) Em quais áreas do ensino são utilizados os IA no Ensino?
- f) Qual a distribuição de artigos publicados por homens e mulheres?

2.3 String de busca

A partir do protocolo elaborado por Kitchenham (2004), definiu-se a *string* de busca com a junção de um conjunto de descritores relacionados ao uso de IA no Ensino, assim com a adoção dos operadores booleanos “AND” e “OR”. Nesse sentido, a tabela 1 apresenta os termos utilizados na construção da *string* de busca empregada na identificação das teses e dissertações.

Tabela 1 - Organização da *string* de busca Tabela de Termos que constem no título do trabalho na base da BDTD.

ID	Termo principal	Termo sinônimo
01	Inteligência artificial	Artificial Intelligence
02	Aprendizado de máquina	Redes neurais
03	Ensino de Física	Ensino em Ciências ou Ensino

Fonte: Elaboração própria.

Portanto, a *string* de busca utilizada, que constavam no título do trabalho, na base de dados de publicações acadêmicas selecionada teve a seguinte configuração final: (("inteligência artificial" OR "aprendizado de máquina" OR "redes neurais") AND (" ensino física " OR " ensino em ciências " OR "ensino ")).

2.4 Base para a pesquisa

Conforme as orientações de Kitchenham (2004), escolheu-se uma base de dados acadêmicos e científicos que disponibilizasse um maior quantitativo de teses e dissertações elaboradas na pós-graduação brasileira. Desse modo, ressalta-se que foi selecionada a seguinte base on-line de publicações acadêmicas: Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) do Brasil.

Convém frisar que a base de dados selecionada foi desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) e objetiva contribuir para a integração e disseminação da produção acadêmica e científica elaborada nas instituições brasileiras de ensino e pesquisa. Ademais, salienta-se que, no recorte temporal dedicado para a coleta das teses e dissertações em análise, a BDTD possuía um total de 129 instituições cadastradas e disponibilizava um total de 769.956 trabalhos oriundos de programas brasileiros de pós-graduação, o que justificou sua escolha para a execução dessa revisão sistemática da literatura.

2.5 Critérios de inclusão e exclusão

A partir dos objetivos e questões de pesquisa previamente definidos, estabeleceu-se os critérios de inclusão e exclusão para a filtragem das teses e dissertações identificadas. Sendo assim, pontua-se que se definiu o seguinte conjunto

de critérios de inclusão: trabalhos que abordem o uso de IA no ensino, empíricos e teóricos, escritos no idioma português e disponíveis para leitura na íntegra na base do BDTD. Ademais, adotou-se os esses critérios de exclusão: trabalhos escritos em idiomas diferentes do português, que abordem o uso de IA nas áreas de conhecimento que não sejam em ensino ou educação, em duplicidade ou apêndices dos trabalhos publicados separadamente, por exemplo, produtos educacionais, instrumentos de coletas etc.

3 RESULTADOS

A presente seção discorre sobre a síntese dos resultados obtidos nessa revisão sistemática da literatura. Ademais, avulta-se que os resultados foram organizados em seis subseções específicas.

3.1 Resultados gerais

Inicialmente, foi aplicado a seguinte *string* na base de dados BDTD: (("inteligência artificial" OR "aprendizado de máquina" OR "redes neurais") AND ("ensino física " OR " ensino em ciências " OR "ensino ")). Após a consulta no BDTD, resultou no seguinte quantitativo, quarenta e um (41) teses e dissertações que constam na base consultada. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão permaneceu trinta e cinco (35) estudos que constituíram a amostra de teses e dissertações analisada neste artigo. Convém sublinhar que a identificação e a filtragem/seleção dos trabalhos foram realizadas nos dias 29 de setembro de 2025 e consistiu na leitura de todas as teses e dissertações por, no mínimo, dois autores desse artigo.

A seguir, a tabela 2 detalha as etapas identificação e filtragem/seleção dos estudos.

Tabela 2 - Fluxograma a respeito do processo de identificação e filtragem/seleção das teses e dissertações em análise na base BDTD.

Crítérios	Total de artigos de cada critério	Quantidade final de artigos após o critério identificado na base BDTD
Identificação	41	41
Exclusão	0	6
Identificação	0	35

Fonte: Elaboração própria.

A análise dos resultados possibilitou a identificação de uma tendência especificada pelo aumento das publicações de teses e dissertações a respeito do uso de IA no ensino, em específico, nos anos de 2017 e 2025 como mostrado na figura 1. No entanto, destaca-se o aumento no quantitativo de publicações acerca da mencionada temática a partir de 2021. A figura 1 apresenta o quantitativo de teses e dissertações publicados por ano.

Figura 1 - Quantitativo de teses e/ou dissertações em análise por ano de publicação.



Fonte: Elaboração própria.

Ademais, ressalta-se que as quarenta e sete teses e dissertações analisadas estão organizadas no quadro 1. O citado quadro possibilita a visualização do código identificador (ID) atribuído a cada trabalho, assim como apresenta os títulos, os autores dos estudos e os anos de publicação (quadro 1). Objetivando a simplificação do processo de referência e citação dos resultados alcançados, destaca-se que os autores adotaram a utilização do código identificador (ID) no decorrer das seções.

Quadro 1 - Relação de teses e dissertações selecionadas.

(continua)

ID	Título	Autor	Ano
T01	A utilização de redes neurais artificiais e teoria das inteligências múltiplas no apoio ao ensino	Eduardo de Paula Lima Nascimento	2017
T02	Avaliação da estrutura do currículo do ensino superior com aprendizado de máquina	Antônio Nilo de Araújo Neto	2018
T03	Inteligência artificial e instrumentalização digital no ensino: a semiformação na era da automatização computacional	Luís Fernando Altenfelder de Arruda Campos	2018
T04	Inteligência artificial e ensino de inglês como língua estrangeira: inovação tecnológica e metodológica de abordagem?	Maria Aparecida Viegas de Melo	2019
T05	Inteligência artificial aplicada ao reconhecimento de padrões da evasão de estudantes da área de ciências exatas em uma instituição de ensino superior	Jonas Miguel Dall Agnol	2019
T06	Análise preditiva na detecção de evasão de alunos no ensino superior privado brasileiro: abordagem de algoritmos de aprendizado de máquina, com base nas perspectivas acadêmicas, financeiras, geográficas e socioeconômicas	Paulo Victor da Silva Vescovi	2020
T07	Inteligência artificial: possibilidades nos processos de ensino e de aprendizagem	Rodrigo Shimasaki	2021
T08	Pelos caminhos discursivos e da inteligência artificial em um laboratório virtual para ensino de língua inglesa	Isabella Zaiden Zara Fagundes	2021
T09	Desenvolvimento de um tutor virtual inteligente através da utilização da inteligência artificial para contribuir no ensino de ciências baseado no movimento STEAM	Viviane Cristina Marques	2021
T10	A inteligência artificial como prática mediadora para o ensino e aprendizagem na educação	Daiana Domeneghini	2022
T11	A proposição de um chatbot de inteligência artificial nas instituições de ensino superior das faculdades de direito	Nathália Polyana Couto Lacerda	2022
T12	Ensino de inteligência artificial: uma proposta de formação docente nas disciplinas STEAM	Diego Flores	2022
T13	A inteligência artificial e o ensino de linguagens: desafios e possibilidades de letramento digital	Annaldina Lucas Pelzl	2022
T14	Aprendizado de máquina automático aplicado à predição da evasão no ensino superior	Bruno de Mattos Barros	2022

Quadro 1 - Relação de teses e dissertações selecionadas.

(continua)

T15	Uma comparação de técnicas de aprendizado de Máquina para predição de evasão de estudantes no ensino público superior	Jailma Januário da Silva	2022
T16	O desenvolvimento da inteligência artificial (SINTA) como ferramenta de auxílio para os profissionais da psicologia: avaliando docentes do ensino superior	Lorena Vedovato de Almeida	2022
T17	inteligência artificial e aprendizado de máquina: da teoria ao algoritmo pronto no ensino médio	Diogo Alves Brandão	2023
T18	Sistema tutor inteligente baseado em aprendizado de máquina para ensino-aprendizagem de manutenção de software	Rodrigo Elias Francisco	2023
T19	Competências de inteligência artificial de docentes no ensino superior de design	Everson Nazari	2024
T20	Inteligência artificial generativa: o processo de ensino aprendizagem no ensino superior de tecnologia	Gerson Pinto dos Santos	2024
T21	Segurança digital e inteligência artificial: novos caminhos para o ensino de matemática	Ighor Opilar Mendes Rimes	2024
T22	Desmistificando a inteligência artificial para alunos do ensino médio: explorando conceitos e matemática fundamentais	Rodrigo César Mesquita Gomes	2024
T23	O ensino de biologia através da resolução de problemas usando inteligência artificial	Guilherme José Pereira	2024
T24	Ensinar na era tecnológica: educação médica, big data, inteligência artificial e aspectos éticos	Cláudia Correia Gorini	2024
T25	O uso da inteligência artificial, modelagem matemática e resolução de problemas como potencializadores no processo de ensino e aprendizagem de matemática no sétimo ano do ensino fundamental	Julius Kahoru Yassaki Filho	2024
T26	Uma revisão sistemática sobre o papel da inteligência artificial no ensino superior para a promoção da aprendizagem adaptativa	Bruno Alves Lobo da Cunha Chacon Lemos	2024
T27	Textos escritos híbridos por estudantes e inteligência artificial: o que pensam docentes de escola pública do ensino fundamental?	Floraci Mariano de Carvalho	2024

Quadro 1- Relação de teses e dissertações selecionadas.

(conclusão)

T28	Percepções de docentes do 9º ano do ensino fundamental da escola pública quanto à produção de textos escritos híbridos por inteligência artificial e estudantes na pesquisa escolar: desafios e riscos	Elisângela dos Santos Clementino	2024
T29	A influência do uso da inteligência artificial no ensino de finanças	Felipe José dos Santos Bastos	2025
T30	O pensamento computacional no jornalismo: reflexões para o ensino e a prática profissional com a inteligência artificial	Fabia Cristiane Ioscote	2025
T31	Cartilha de Prompts: o uso de inteligência artificial generativa no planejamento pedagógico do ensino de história.	Rômulo Gois de Aragão	2025
T32	O uso da inteligência artificial para auxiliar na previsão de abandono de aluno em uma escola de ensino regular	Vanessa Alexandre Silva	2025
T33	Inteligência artificial generativa, metodologias ativas e escolarização aberta: desafios e potencialidades no ambiente educacional no ensino superior	Cristina da Silva Reis	2025
T34	Interação de adolescentes do ensino médio com a inteligência artificial em aplicativos móveis e sua relação com o nível de adesão a valores sociomoraís	Rogério Melo de Sena Costa	2025
T35	Sequência didática significativa para o ensino de eletromagnetismo: uma proposta utilizando a sala de aula invertida e inteligência artificial	Nathália Caroline dos Santos Rosa Medeiros	2025

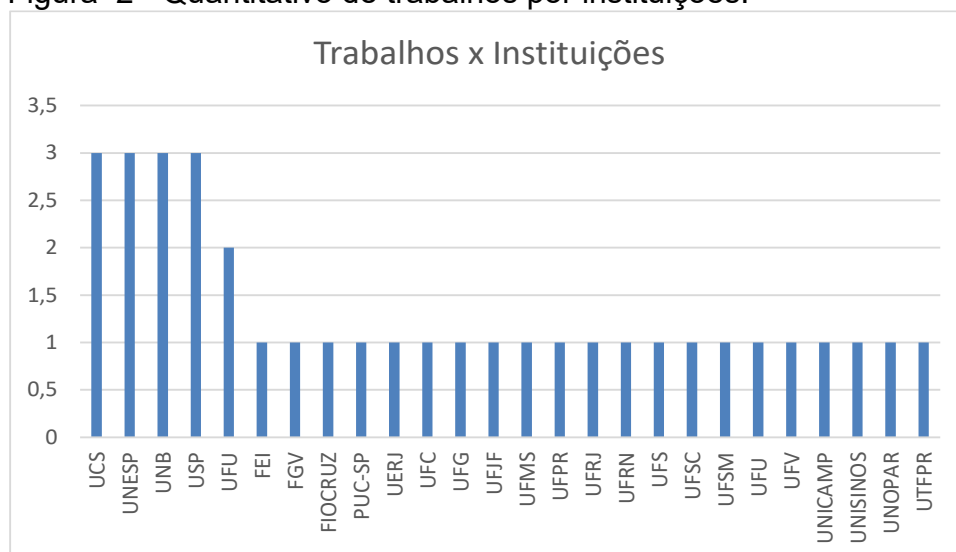
Fonte: Elaboração própria.

Ao discutir-se o tipo dos trabalhos selecionados, pontua-se que foram selecionadas 6 (seis) teses (T03, T18, T21, T24, T30 e T34) e as demais são dissertações (T01, T02, T04, T05, T06, T07, T08, T09, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T19, T20, T22, T23, T25, T26, T27, T28, T29, T31, T32, T33 e T35). Além disso, os trinta e cinco (35) trabalhos foram elaborados por um total de trinta e cinco (35) autores diferentes.

3.2 Quais as instituições de ensino superior (IES) fazem pesquisa acerca da utilização de IAs no ensino?

A análise dos trabalhos evidenciou que vinte e seis (26) instituições têm contribuído com o desenvolvimento de pesquisas na pós-graduação stricto sensu a respeito do uso de IA no Ensino de Ciências. Observou-se, em adicional, que as instituições Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) (T01, T03 e T34), Universidade de Caxias do Sul (UCS) (T05, T10 e T12), Universidade de Brasília (UNB) (T17, T27 e T28) e a Universidade de São Paulo (USP) (T15, T20 e T26) possuem cada uma, três (3) trabalhos publicados, a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) possui dois(2) trabalhos publicados e as demais instituições Universidade Federal do Ceará (UFC) (T02), Fundação Getúlio Vargas (FGV) (T06), Universidade Pitágoras (UNOPAR) (T07), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (T09), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) (T11), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) (T13), Universidade Federal de Goiás (UFG) (T13), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) (T16), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUCSP) (T19), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) (T21), Universidade Federal de Viçosa (UFV) (T22), Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) (T23), Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) (T24), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (T25), Centro Universitário FEI (T29), Universidade Federal do Paraná (UFPR) (T30), Universidade Federal de Sergipe (UFS) (T31), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (T32), Universidade Federal do Santa Catarina (UFSC) (T33), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) (T35), conforme podemos ver na figura 2.

Figura 2 - Quantitativo de trabalhos por instituições.



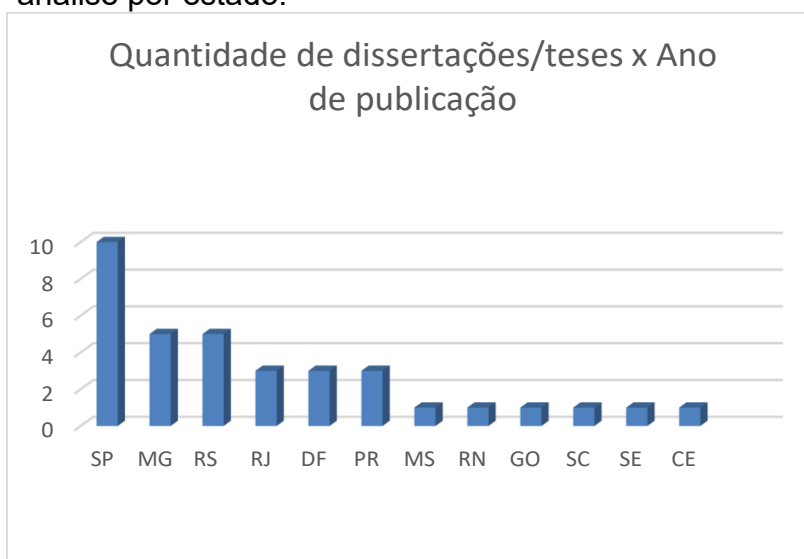
Fonte: Elaboração própria.

3.3 Quais os estados (UF) produzem trabalhos na área de pesquisa acerca da utilização de IAs no ensino?

A análise dos trabalhos publicados no BDTD, evidenciou que onze (11) instituições têm contribuído com o desenvolvimento de pesquisas na pós-graduação stricto sensu a respeito do uso de IA no Ensino de Ciências. Observou-se, em adicional, que o estado de São Paulo (SP) possui 10 trabalhos publicados, o estado de Minas Gerais (MG) assim como o Rio Grande do Sul (RS) possui 05 trabalhos publicados cada, o estado do Rio de Janeiro (RJ), e o Distrito Federal (DF) e o estado do Paraná possuem 03 trabalhos publicados cada, os demais estados possuem apenas um (01) trabalho publicado cada acerca a temática em análise que podemos verificar na figura 3.

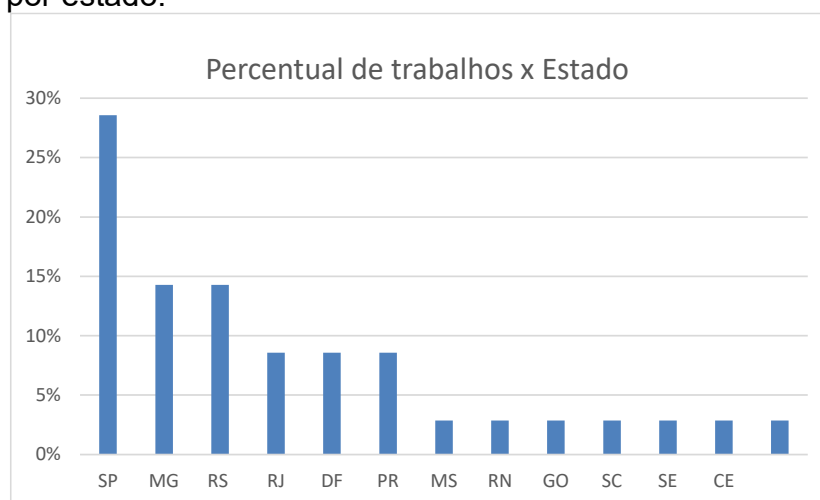
Destaca-se que a figura 4 apresenta o percentual de trabalhos publicados por estado. Com relação à UF das instituições, verificou-se que os estados de São Paulo e Santa Catarina apresentaram uma maior porcentagem de trabalhos, isto é, São Paulo apresentou 29% dos trabalhos, Minas Gerais e Rio Grande do Sul apresentaram 14% dos trabalhos. Em seguida, pontua-se os estados do Rio de Janeiro, Paraná e DF totalizando 9% dos trabalhos. E ficou evidenciado no quadro 2 a distribuição dos trabalhos por UF.

Figura 3 - Quantitativo de teses e dissertações em análise por estado.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Percentual de trabalhos publicados em análise por estado.



Fonte: Elaboração própria.

Quadro 2 - Quantitativo de teses e dissertações selecionadas por segmento educacional.

Unidade da Federação (UF)	Trabalhos (Teses ou Dissertações)
SP	T01, T03, T06, T09, T15, T19, T20, T26, T29 e T34
MG	T04, T08, T18, T22, T23
RS	T05, T10, T11, T12 e T25
RJ	T21, T24 e T32
DF	T17, T27 e T28
PR	T07, T16 e T30
MS	T13
RN	T35
GO	T14
SC	T33
SE	T31
CE	T02

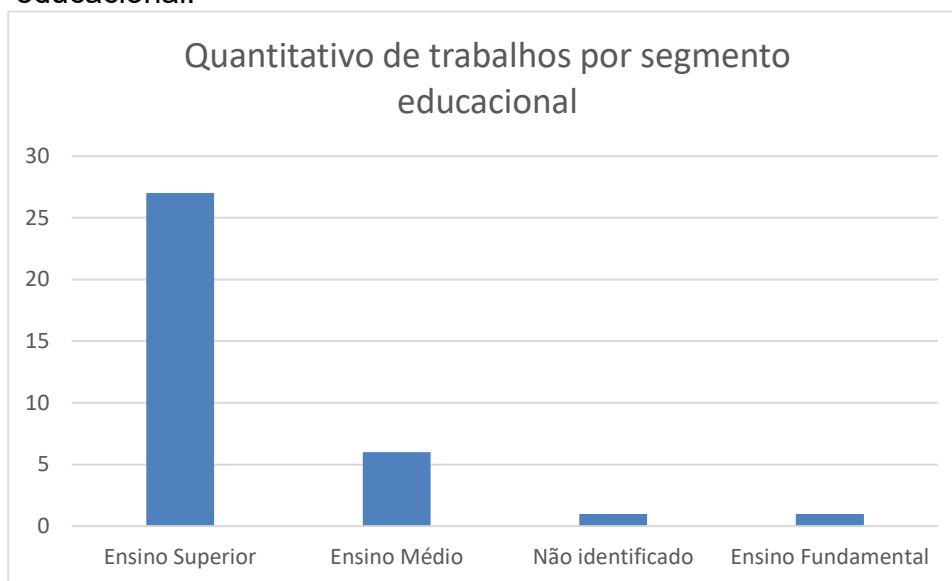
Fonte: Elaboração própria.

3.4 Em quais segmentos educacionais e disciplinas do ensino de ciências as IA são utilizadas?

No tocante ao segmento educacional de utilização das IA, destaca-se o predomínio de trabalhos aplicados ao ensino superior num total de vinte e sete (27) trabalhos, para o ensino médio temos um total de seis (6) trabalhos, e para o ensino fundamental temos um (1) trabalho. Ademais, indica-se a realização de pesquisas que

analisam o uso de IA em ações de ensino sem especificar exatamente o nível de ensino (não identificado) um (1) trabalho. Isto posto, salienta-se que a figura 5 organiza esses dados de forma quantitativa e o quadro 3 apresenta quais os estudos relacionados em cada segmento educacional.

Figura 5 - Quantitativo de teses e dissertações por segmento educacional.



Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3 - Quantitativo de teses e dissertações selecionadas por segmento educacional.

Segmento Educacional	Trabalhos (Teses ou Dissertações)
Ensino Superior	T02, T03, T05, T06, T08, T09, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T19, T20, T21, T24, T25, T26, T27, T29, T30 T31, T32, T33 e T35
Ensino Médio	T01, T04, T18, T22, T23 e T34
Ensino Fundamental	T28
Não identificado	T07

Fonte: Elaboração própria.

3.5 Em quais áreas do ensino são utilizados os IA no ensino?

Com o intuito de responder essa a questão de pesquisa, extraiu-se das teses e dissertações analisadas as palavras-chaves e/ou os assuntos principais cadastrados nos metadados, assim como as principais temáticas abordadas no decorrer dos trabalhos. Concluiu-se que os resultados da análise também

evidenciaram o maior percentual de propostas sobre a utilização de IA na área de Educação/Ensino (37,1%), Ciências (11,4%), Matemática (11%), Linguagens (5,7%), Tecnologias (8,6%). Também se observou a realização de pesquisas acerca da introdução de IA em Biologia (2,8%), Computação (2,8%), Direito (2,8%), Finanças (2,8%), Física (2,8%), História (2,8%), Jornalismo (2,8%), Medicina (2,8%), Psicologia (2,8%). Conforme podemos verificar em cada área a utilização de IA no quadro 4.

Quadro 4 - Quantitativo de teses e dissertações selecionadas por áreas.

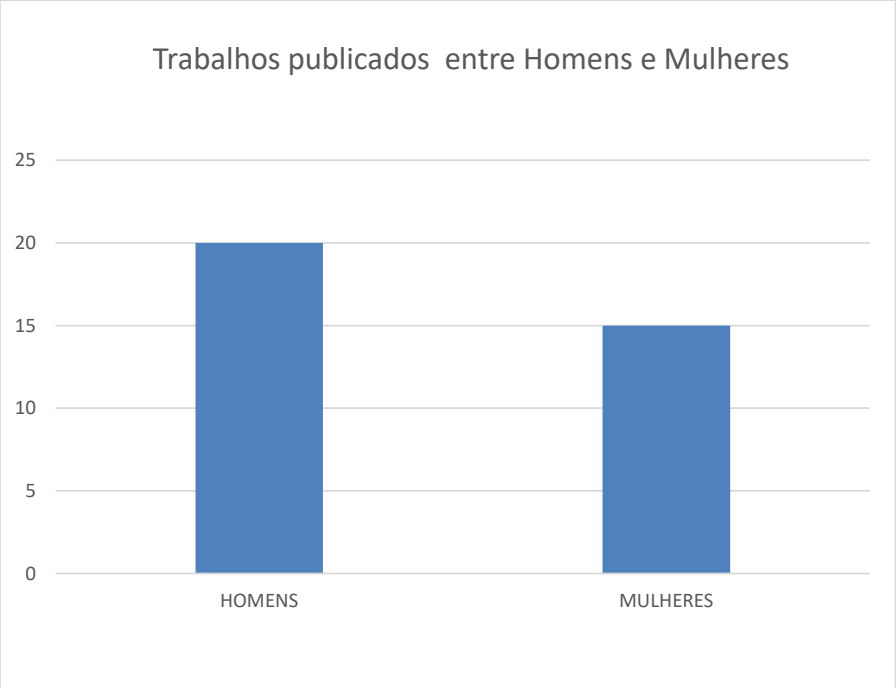
ÁREAS	TESES
Educação/Ensino	T01, T02, T03, T06, T07, T08, T10, T14, T15, T26, T27, T32 e T34
Ciências	T05, T09, T12 e T13
Matemática	T21, T22, T25 e T33
Tecnologias	T17, T19 e T20
Linguagens	T04 e T28
Biologia	T23
Computação	T18
Direito	T11
Finanças	T29
Física	T35
História	T31
Jornalismo	T30
Medicina	T24
Psicologia	T16

Fonte: Elaboração própria.

3.6 Qual a distribuição de artigos publicados por homens e mulheres?

Com o intuito de responder essa última questão de pesquisa, extraiu-se das teses e dissertações analisadas as palavras-chaves e/ou os assuntos principais cadastrados nos metadados, assim como as principais temáticas abordadas no decorrer dos trabalhos. Concluiu-se que os resultados da análise também evidenciaram a distribuição percentual de propostas sobre a utilização de IA foram elaborados por homens (57,1%) e mulheres (42,9%). Sendo os seguintes trabalhos mostrado na figura 6 e quadro 5.

Figura 6 - Quantitativo de teses e dissertações por distribuição de homens e mulheres.



Fonte: Elaboração própria.

Quadro 5 - Quadro de teses e dissertações selecionadas por distribuição entre homens e mulheres.

Gênero	TESES
Homens	T01, T02, T03, T05, T06, T07, T12, T14, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T23, T25, T26, T29, T31 e T34
Mulheres	T04, T08, T09, T10, T11, T13, T15, T16, T24, T27, T28, T30, T32, T33 e T35

Fonte: Elaboração própria.

4 CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática da literatura teve como objetivo mapear a produção científica sobre a utilização de inteligência artificial (IA) no ensino, desenvolvida no contexto dos programas brasileiros de pós-graduação stricto sensu. A análise revelou um incremento significativo no número de trabalhos, com destaque para os anos com maior produção no período da pesquisa 2022, 2024 e 2025. Geograficamente, a produção mais expressiva concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, com notória contribuição das instituições USP, ENESP, UNB e UCS. As áreas de conhecimento

com maior frequência de estudos foram Ensino/Educação, Ensino de Ciências e Ensino de Matemática. Por fim, a distribuição de autoria aponta para uma ligeira prevalência de pesquisadores homens, embora a participação feminina se mantenha próxima.

Por fim, o presente estudo contribui ao mapear a produção na pós-graduação brasileira e reforça a importância da temática da IA no Ensino. Como direcionamento para pesquisas futuras, sugere-se a ampliação desta análise para incluir publicações em periódicos e anais de eventos, a fim de obter uma visão mais abrangente do uso da IA em diversas áreas do conhecimento.

REFERÊNCIAS

BORREGO, Maura; FOSTER, Margareth J.; FROYD, Jeffrey. E. Systematic literature reviews in engineering education and other developing interdisciplinary fields. **Journal of Engineering Education**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 45-76, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jee.20038>. Acesso em: 11 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Documento Orientador de APCN**. Área 46: ensino. Brasília: MEC: CAPES, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/ensino1.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.

CATHRIN, Shely; WIKANDARU, Reno. The future of character education in the era of artificial intelligence. **Humanika: Kajian Ilmiah Mata Kuliah Umum**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 91-100, 2023. Disponível em: <https://jurnal.uny.ac.id/index.php/humanika/article/view/59741>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 75264-75278, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9069875>. Acesso em: 11 fev. 2024.

KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele: Keele University, 2004. Disponível em: https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf. Acesso em: 11 fev. 2024.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach**. 2 nd. New Jersey: Pearson, 2016.

SIEMENS, George; GAŠEVIĆ, Dragan; DAWSON, Shane. **Preparing for the digital university: a review of the history and current state of distance, blended, and online learning**. Athabasca AB Canada: Athabasca University Press, 2015. Disponível em:

https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/256525723/256524746_oa.pdf.
Acesso em: 11 fev. 2024.

3 ARTIGO 2 – UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA FEDATHI E O USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADO AO ENSINO DE REDES ÓPTICAS NA ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Sebastião Elvis Gomes*

Glendo de Freitas Guimarães**

RESUMO

O ensino de Física através do método expositivo tradicional tem se mostrado um desafio significativo para os alunos. É importante observar que os alunos, muitas vezes, percebem o aprendizado da Física como uma tarefa complexa. Essa dificuldade é frequentemente associada à manutenção dos métodos tradicionais de ensino, que colocam os alunos em uma posição passiva, como meros espectadores, receptores passivos do conhecimento transmitido. Por outro lado, temos que a inteligência artificial tem se mostrado cada vez mais presente na nossa sociedade e promete revolucionar a forma como interagimos com o nosso mundo. Com base nesta discussão, este trabalho apresenta uma proposta de sequência didática Fedathi para o ensino de Física através de uma simulação de redes ópticas usando inteligência artificial.

Palavras-chave: Sequência didática Fedathi. Ensino de Redes Ópticas. Ensino de Física. Inteligência Artificial.

ABSTRACT

The Teaching physics through the traditional lecture method has proven to be a significant challenge for students. It is important to note that students often perceive

* Doutorando em Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* elvis@ifce.edu.br

** Doutor em Engenharia Telinformática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* glendo@fotonica.ifce.edu.br

learning physics as a complex task. This difficulty is often associated with the maintenance of traditional teaching methods, which place students in a passive position, as mere spectators, passive recipients of the knowledge transmitted. On the other hand, artificial intelligence has become increasingly present in our society and promises to revolutionize the way we interact with our world. Based on this discussion, this work presents a proposal for a Fedathi didactic sequence for teaching Physics through a simulation of optical networks using artificial intelligence.

Keywords: Fedathi didactic sequence. Teaching Optical Networks. Teaching Physics. Artificial Intelligence.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física através do método expositivo tradicional tem se mostrado um desafio significativo para os alunos (MENDES, 2015). No âmbito do ensino superior, o estudo da Física assume uma extrema relevância para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes dos cursos relacionados às ciências exatas como Engenharia de Telecomunicações e Tecnólogo em Telemática. Essa disciplina constitui a base teórica fundamental para muitas das matérias oferecidas nesses cursos. Como resultado, qualquer obstáculo no aprendizado da Física pode impactar negativamente todo o percurso acadêmico do aluno (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

É importante observar que os alunos, muitas vezes, percebem o aprendizado da Física como uma tarefa complexa, o que, por sua vez, culmina em altas taxas de reprovação e desistência. Essa percepção é, em grande parte, decorrente do modelo de ensino predominante, que se caracteriza por aulas expositivas, onde o professor assume uma postura tradicional. Ao longo dos anos, como educador, tenho testemunhado as dificuldades persistentes que os alunos na assimilação dos conceitos fundamentais da Física. Essa dificuldade é frequentemente associada à manutenção dos métodos tradicionais de ensino, que colocam os alunos em uma posição passiva, como meros espectadores, receptores passivos do conhecimento transmitido.

Outro problema no ensino de Física é a falta de um forte domínio da matemática e de suas ferramentas por parte dos alunos. Segundo Borges Neto (2016), sua vasta experiência como docente e pesquisador o levou a concluir que, em sua maioria, o ensino da Matemática segue uma abordagem autoritária, com a ênfase na imposição de regras e algoritmos por parte do professor. Nesse contexto, os alunos frequentemente se veem compelidos a assimilar e reproduzir essas estratégias de maneira quase automática em seu dia a dia.

De acordo com as conclusões de Lima *et al.* (2014), um fator crítico que impacta o aprendizado da disciplina é a carência de domínio dos conceitos básicos de Matemática. Essas duas conclusões destacam a necessidade premente de uma abordagem diferenciada por parte dos docentes, com o propósito de reformular a atual dinâmica do ensino de física. Essa transformação requer, acima de tudo, a valorização do aluno na sala de aula, estimulando seu interesse científico, desencadeando a curiosidade, incentivando a busca pelo conhecimento, promovendo a reflexão, a formulação de hipóteses e a validação, tudo isso resultando da atuação ativa do próprio aluno. A aprendizagem deve ser uma construção conjunta, onde o professor não apenas transmite informações, mas também incentiva os alunos a serem participantes ativos na sua jornada educacional.

Segundo Morelatti (2001), destaca-se como problema acentuado o fato de que os elevados índices de reprovação e evasão no ensino da disciplina de Matemática, especificamente Cálculo Diferencial, estão diretamente relacionados à predominância de uma abordagem expositiva, que se limita a apresentar verdades conceituais prontas, negligenciando completamente a participação ativa dos alunos. De acordo com Morelatti (2001), em contraposição a essa situação, nossos primeiros registros na implementação de uma sessão didática realizada em sala de aula, em um curso de Cálculo Diferencial e Integral em uma instituição de ensino superior privada, onde empregamos a metodologia ensino Sequência Fedathi para ministrar o conteúdo de derivadas por meio de aplicações, revelaram resultados iniciais promissores.

Para verdadeiramente transformar a dinâmica de aprendizagem da Física, é imperativo que se desenvolva um trabalho que envolva os alunos na construção de seu próprio conhecimento. Isso implica em introduzir na sala de aula modelos e metodologias ativas que coloquem o aluno no centro do processo de aprendizagem, tornando-o um agente ativo no seu desenvolvimento acadêmico.

A introdução da Sequência Fedathi como uma metodologia de ensino é uma maneira de incentivar a participação ativa de professores e alunos, integrando estratégias que permitem a criação de situações de ensino nas quais o professor assume o papel de mediador no processo de aprendizagem do aluno (BORGES NETO, 2016).

Vale ressaltar que, ao adotar essa metodologia de ensino, o docente passa a seguir princípios que se tornam parte integrante de sua rotina, resultando em uma mudança substancial na atitude do professor. Além disso, essa abordagem também promove uma transformação na postura dos estudantes, influenciando suas ações e criando um ambiente de ensino mais propício para o sucesso tanto no ensino quanto na aprendizagem (BORGES NETO, 2018).

É evidente a importância de compreender a organização e execução das aulas de Física, especialmente no que diz respeito à aplicação dos conteúdos de redes ópticas, de acordo com os princípios da Sequência Fedathi. Isso inclui o planejamento das sessões didáticas e a avaliação do progresso dos alunos.

Por outro lado, é inegável que a inteligência artificial (IA) tem despertado um considerável interesse e avançado significativamente em diversas áreas, sendo a educação uma delas. Nas últimas décadas, temos observado um crescente interesse e aplicação da IA no contexto educacional, o que tem proporcionado novas oportunidades e desafios para o processo de ensino e aprendizagem (RUSSELL; NORVIG, 2016). A capacidade da IA de analisar dados, realizar inferências, automatizar tarefas e interagir com os alunos possui um potencial transformador no cenário educacional (RUSSELL; NORVIG, 2016).

O objetivo deste artigo é propor uma sequência didática que possibilite o ensino da Física, mais especificamente Redes Ópticas, com o uso de simuladores IA, em cursos de engenharia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção apresentaremos as bases teóricas da Teoria da Aprendizagem Significativa, Sequência Didática Fedathi, inteligência artificial aplicada em redes ópticas.

2.1 A teoria da aprendizagem significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel desempenha um papel central neste trabalho, fornecendo uma base teórica sólida para a compreensão do processo de aprendizagem. Ausubel (1963) postula que, para que a aprendizagem seja verdadeiramente significativa, é crucial que o novo conhecimento estabeleça conexões não arbitrárias e não literais com o conhecimento prévio dos alunos.

Segundo Ausubel (1963), a aprendizagem significativa é o mecanismo pelo qual novas informações ou conhecimentos se relacionam de maneira profunda e não arbitrária com a estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse processo, o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o indivíduo. A aprendizagem significativa é considerada o principal meio pelo qual os seres humanos adquirem e retêm uma ampla gama de ideias e informações em diversos campos do conhecimento.

As características distintivas da aprendizagem significativa, como destacadas por Ausubel (1963), incluem a não arbitrariedade e a substancialidade. De acordo com sua perspectiva, a essência desse processo reside na relação não arbitrária e substancial entre as novas ideias expressas de forma simbólica e algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do aprendiz. Em outras palavras, as novas informações devem estar logicamente relacionadas e se conectar de forma substancial a conceitos ou proposições já familiares ao aprendiz. É nessa interação que os significados dos materiais potencialmente significativos emergem, desde que sejam suficientemente coerentes e possam se integrar de maneira não arbitrária e substancial à estrutura cognitiva do indivíduo. Além disso, é nesse processo de interação que o conhecimento prévio do aprendiz é enriquecido pela aquisição de novos significados (MOREIRA, 2010).

Portanto, na perspectiva de Ausubel, a chave para a aprendizagem significativa reside no conhecimento prévio do aprendiz, ou seja, em sua estrutura cognitiva. Essa teoria fornece uma base sólida para compreender a importância da relação entre o conhecimento prévio dos alunos e a assimilação de novas informações, destacando a relevância fundamental do significado na construção do conhecimento (MOREIRA, 2010).

2.2 Sequência didática Fedathi

A literatura é rica em propostas e reflexões nessa linha do uso da metodologia de ensino da Sequência Fedathi. A maior parte dos artigos examinados narra experiências do uso do ensino por projetos em substituição ao método formal/tradicional de ensino. Contudo, poucos textos tratam de experiências com o uso da Sequência Fedathi como metodologia no ensino de física.

A Sequência Fedathi tinha como proposta inicial, servir como apoio aos professores de matemática, no entanto, com o passar dos anos, ultrapassou os limites desta ciência e mostrou-se uma alternativa de ensino capaz de promover mudanças nas atitudes dos docentes em outras áreas do conhecimento, segundo Borges Neto (2017).

Para Borges Neto (2018), a Sequência Fedathi coloca o professor como o foco principal no processo de ensino e aprendizagem, que faz com o que o docente tenha um papel de mediador e que promova a autonomia discente, pois favorece um ambiente apropriado para o diálogo e para a investigação.

Segundo Fontenele (2013), a postura do professor pode ser definida, assim como mostra o quadro 1, que traz um resumo do que se espera do professor em cada fase da Sequência Fedathi:

Quadro 1 - Postura docente segundo a Sequência Fedathi.

Postura docente esperada em cada fase da Sequência Fedathi			
Tomada de posição	Maturação	Solução	Prova
• Apresenta uma situação desafiadora que esteja no nível dos alunos.	• Deixa os alunos pensarem sobre o problema/atividade proposto; • Observa o desempenho dos alunos (postura “mão no bolso”); • Se questionado, responde com perguntas que estimulem a curiosidade e o instinto investigativo do aluno; • Não fornece a resposta pronta; • Intervém quando necessário, caso o aluno não consiga avançar.	• Chama os alunos para apresentarem suas respostas; • Faz questionamentos que suscitem discussões com a turma; • Aponta e discute os possíveis erros de modo a favorecer a aprendizagem; • Compara os resultados apresentados.	• Formaliza os resultados matematicamente; • Faz generalizações; • Expõe as definições formais ou teoremas.

Fonte: Fontenele (2013).

2.2.1 Tomada da posição

A tomada de posição é a fase da SF, que segundo Sousa *et al.* (2013), o professor faz a apresentação do problema para os alunos a fim de fazer um diagnóstico inicial para identificar, no grupo de alunos, o domínio dos pré-requisitos necessários ao saber que se pretende ensinar. Neste momento, o professor deve assumir um papel de pesquisador em educação com o intuito de compreender e desenvolver meios de sanar as deficiências dos estudantes. Também é o momento de estabelecer um acordo didático entre os alunos e o professor, de modo que seja possível estabelecer os fundamentos da negociação e da meta de reflexão. O objetivo é compreender, conquistar e conhecer novas abordagens.

2.2.2 Maturação

A fase de maturação da SF, segundo Sousa *et al.* (2013), é uma etapa destinada à discussão inicial entre professor e estudantes a respeito do problema em questão. Nesta etapa, o estudante deve ser incentivado pelo professor a levantar suas hipóteses para a solução do problema proposto. Esse processo corresponde à problematização inicial, que permite aos estudantes estabelecerem a conjectura que se pretende demonstrar. Neste momento, o professor deve observar o comportamento dos seus alunos preparando-se para uma mediação futura.

Segundo Sousa *et al.* (2013), a postura do professor neste momento, é denominado na SF de “mão no bolso”, ou seja, o professor evita dar a resposta pronta para o aluno, ele vai incentivar que os alunos conversem entre si e levantem hipóteses, na busca de respostas. Neste momento, o aluno sai da posição tradicional, que é ficar como mero espectador para uma posição ativa, interagindo com o professor e com os outros alunos, em busca da resposta. Outra diferença deste momento para a aula tradicional, é que os alunos não ficam calados e podem interagir entre eles, uma vez que na aula tradicional, a interação é proibida. O professor estimula o diálogo e pode também formar grupos, para que possam buscar de maneira coletiva, as respostas e depois, apresentar para os demais colegas, podendo também perguntar para os outros grupos, ficando a interação entre eles.

De acordo com Sousa *et al.* (2013), deve-se dar a devida importância às perguntas na fase de maturação, cujos questionamentos podem ser feitos pelo professor ou também pelos alunos, sendo primordiais para incentivar as reflexões, hipóteses e formulações, quando se procura a solução de um problema.

2.2.3 Solução

Para Sousa *et al.* (2013), a fase de solução da SF é o processo em que os alunos devem organizar e apresentar os seus modelos, de modo que seja possível sistematizá-los mediante a linguagem Matemática. Nesse contexto, cabe ao estudante propor esquemas, desenhos e explicações verbais. No entanto, os estudantes devem exercitar sua autonomia, enquanto o professor assume o papel de mediador orientando os alunos. Neste processo, pode ocorrer a refutação por meio de contraexemplos locais ou globais. Cabe, então, ao professor motivar os estudantes para que trabalhem sua validação por verificação ou demonstração.

Ainda segundo Sousa *et al.* (2013), explica que nesta etapa do processo, acontecem interações, troca de ideias e diversas discussões sobre diversos pontos de vista e de diferentes modelos. O professor tem o papel de estimular e solicitar que os alunos apresentem seus modelos e pontos de vista, e, que justifiquem as suas escolhas. Nesse momento, faz-se necessário que os alunos tenham tempo para refletir e avaliar suas respostas, por meio de ensaios, erros e tentativas. É salutar nesse momento, que os alunos exercitem a autonomia e percebam a importância da sua participação na aula. No exercício da solução, é importante que o professor analise junto com os alunos, os diferentes modelos de resolução dos mesmos problemas por eles apresentados, para que cheguem a um novo conceito matemático aplicado ao caso.

Nesta fase da solução, o professor deve mediar, interagindo com os alunos, pois deverá compartilhar com todo o grupo sobre as resoluções encontradas, a fim de que, juntos vejam qual a solução mais adequada para o problema proposto. É primordial que o professor estabeleça uma discussão sobre as possíveis falhas apresentadas pelos alunos, que não satisfaçam à solução do problema.

2.2.4 Prova

Na fase de prova da SF, segundo Sousa *et al.* (2013), é apresentada ao aluno, a solução mais sistematizada, mais elaborada à resolução do problema para todos os estudantes, e é nesse momento, que são estabelecidas as relações que envolvem o saber em questão e seu processo de validação. Na Matemática, é o momento em que são apresentadas as demonstrações rigorosas de um problema devidamente finalizado. Após as discussões feitas na fase anterior, o professor apresentará o novo conteúdo como meio prático e otimizado para conduzir à resposta do problema. Nessa fase, a didática do professor será determinante para a aquisição do novo conhecimento (SOUSA *et al.*, 2013).

Na fase de prova da SF, o professor fará a interconexão dos modelos apresentados pelos alunos e o modelo matemático científico a ser apreendido, também apresentar o novo modelo do conhecimento através da notação simbólica em linguagem Matemática. É nessa etapa final que o novo saber deverá ser assimilado pelo aluno.

Ressalta-se que cada uma das fases da SF representa momentos distintos da aula, e que devem acontecer de forma natural, quantas vezes forem necessárias de acordo com o planejamento da aula e perfazer todos os momentos em que um profissional da área (exemplo: físico ou um matemático) cria determinado conhecimento na sua área específica, ficando a critério do docente, as melhores ferramentas de ensino a serem utilizadas no processo. Como consequência, o aluno desenvolve sua autonomia, pois ao trilhar esse caminho, o estudante torna-se consciente da sua capacidade de apostar na possibilidade de buscar e construir seu próprio conhecimento (MENEZES, 2018).

2.3 Inteligência artificial (IA) aplicado ao ensino

A inteligência artificial (IA) tem sido objeto de grande interesse e avanço em diversas áreas, e a educação não é exceção. Nas últimas décadas, tem-se observado um crescente interesse e aplicação da IA no contexto educacional, proporcionando novas oportunidades e desafios para o ensino e a aprendizagem (RUSSELL; NORVIG, 2016). A capacidade da IA de analisar dados, realizar inferências, automatizar tarefas e interagir com os alunos tem o potencial de transformar o cenário educacional (RUSSELL; NORVIG, 2016).

A IA no ensino tem evoluído consideravelmente, passando de abordagens iniciais de sistemas de tutoria inteligentes para a criação de ambientes de aprendizagem personalizados e adaptativos, capazes de atender às necessidades individuais dos alunos (RUSSELL; NORVIG, 2016). Além disso, as aplicações da IA no ensino se expandiram para diversas disciplinas e níveis educacionais, abrangendo desde a educação básica até o ensino superior e a formação profissional (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015). Também tem sido feito o uso da IA no ensino, buscando compreender as principais tendências, contribuições e desafios dessa abordagem. Segundo estudos recentes e relevantes que exploram o uso da IA em diferentes contextos educacionais, incluindo o ensino presencial, o ensino a distância e a aprendizagem online (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

Nessa perspectiva, são discutidos os avanços tecnológicos que têm impulsionado o uso da IA no ensino, como o desenvolvimento de algoritmos de machine learning e deep learning, a disponibilidade de grandes volumes de dados

educacionais e a melhoria das interfaces de interação humano-computador. Além disso, são abordados os benefícios potenciais da IA no ensino, como a personalização do aprendizado, a identificação de padrões de desempenho dos alunos e a criação de ambientes educacionais mais eficientes e eficazes (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

No entanto, apesar das promessas e possibilidades da IA no ensino, existem desafios a serem enfrentados. Questões éticas, como a privacidade dos dados dos alunos e a equidade no acesso às tecnologias educacionais baseadas em IA, devem ser cuidadosamente consideradas (CATHRIN; WIKANDARU, 2023). Além disso, a formação e capacitação dos professores para o uso adequado da IA no ensino é fundamental para garantir sua efetividade e maximizar seus benefícios (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015).

Ao compreender a evolução do uso da IA no ensino, poderemos melhorar a implementação e o desenvolvimento de tecnologias educacionais baseadas em IA proporcionando um ensino mais personalizado, adaptativo e eficaz (RUSSELL; NORVIG, 2016). Essa análise crítica permitirá identificar lacunas de pesquisa e direcionar esforços para aprimorar a integração da IA no ensino, visando aprimorar a qualidade e a eficiência da educação em um mundo cada vez mais digital e tecnológico (RUSSELL; NORVIG, 2016).

De acordo com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a área de Ensino engloba um campo inter e multidisciplinar, que abrange diferentes modalidades educacionais e níveis de ensino. Essa área de conhecimento busca investigar e desenvolver propostas voltadas para a melhoria dos processos de ensino e aprendizagem, promovendo o avanço da educação em suas diversas formas e contextos.

A área de Ensino engloba estudos e pesquisas relacionados à prática pedagógica, metodologias de ensino, formação de professores, currículo, avaliação educacional, tecnologias educacionais, entre outros temas relevantes para a área educacional. É um campo de conhecimento que busca compreender os processos educativos, identificar desafios e propor soluções inovadoras para o aprimoramento da qualidade da educação.

Dessa forma, a área de Ensino é caracterizada pela diversidade de abordagens teóricas e metodológicas, que contribuem para a construção de conhecimentos e

práticas educacionais mais efetivas e alinhadas com as necessidades e demandas da sociedade contemporânea (BRASIL, 2019).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho propõe um modelo de sequência didática Fedathi para aplicação em ensino de Redes Ópticas no curso de Engenharia de Telecomunicações.

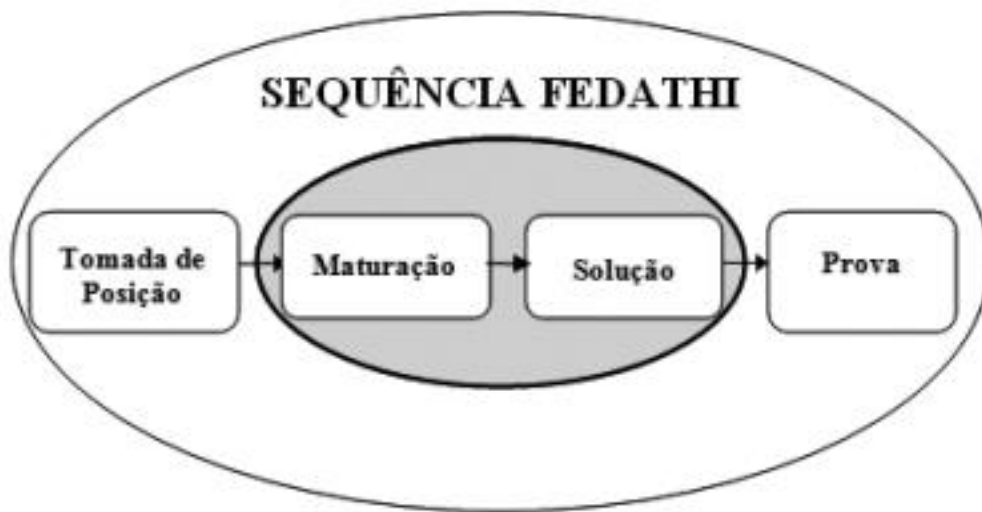
O instrumento pedagógico escolhido para nortear a aplicação da sequência didática Fedathi. A sequência didática é uma estratégia educacional que busca ajudar os alunos a resolverem uma ou mais dificuldades reais sobre um tema específico. Seu resultado vem a partir da construção e acumulação de conhecimento sobre o assunto em questão, obtido por meio do planejamento e execução, ao longo de um período, de várias atividades que conversam entre si.

Como produto do projeto, será a produção didático-pedagógica, ou seja, a organização de um material didático, enquanto estratégia metodológica, que sirva aos propósitos de orientação a aplicação de sequências didáticas utilizando de simulador IA com a metodologia da Sequência Fedathi para os professores que lecionam disciplinas de Física e/ou demais áreas, orientando-os na aplicação de cada passo da metodologia. Esta elaboração seguindo a definição proveniente do latim elaborar, significa preparar com detalhes o material, organizá-lo de modo a contribuir com o aprimoramento da prática pedagógica. Deve ser pertinente ao seu objeto de estudo/problema, considerando a sua área/disciplina de estudo.

3.1 Simulação no *Optisystem*®

Nesta fase da pesquisa utilizaremos o software *Optisystem*® utilizado para cálculos em redes de fibra ópticas, para levantarmos os parâmetros das redes que utilizaremos mais tarde na aplicação e no treinamento das redes de IA. Conforme figura 1 abaixo.

Figura 2 - Etapas de desenvolvimento da Sequência Fedathi.



Fonte: Sousa *et al.* (2013, p. 40).

3.3.1 Tomada de Posição (20 minutos)

- Apresente uma situação desafiadora relacionada a redes ópticas, abordando os conceitos de atenuação, distorção, comprimento da fibra óptica e potência do sinal;
- encoraje os alunos a refletirem sobre o problema proposto e a levantarem hipóteses iniciais;
- observe o desempenho dos alunos, adotando uma postura de "mão no bolso", evitando fornecer respostas prontas;
- intervenha quando necessário, estimulando a curiosidade e o instinto investigativo dos alunos.

3.3.2 Maturação (30 minutos)

- Incentive os alunos a discutirem entre si, levantando hipóteses para a solução do problema apresentado;
- adote a postura de "mão no bolso", evitando dar respostas prontas, e estimule a interação ativa dos alunos;
- faça uso de perguntas para promover reflexões, hipóteses e formulações relacionadas aos conceitos de redes ópticas;

- d) forme grupos de alunos para colaborarem na busca coletiva de soluções, permitindo a interação entre eles.

3.3.3 Solução (20 minutos)

- a) Organize um momento em que os alunos possam apresentar seus modelos, esquemas e explicações verbais sobre a solução do problema;
- b) exerça o papel de mediador, orientando os alunos na sistematização dos modelos por meio da linguagem matemática;
- c) estimule a autonomia dos alunos, permitindo que validem suas soluções por meio de ensaios, erros e tentativas;
- d) analise junto com os alunos os diferentes modelos de resolução, promovendo discussões sobre possíveis falhas e refinamentos.

3.3.4 Prova (20 minutos)

- a) Apresente uma solução sistematizada e elaborada para a resolução do problema, utilizando a linguagem matemática;
- b) interconecte os modelos apresentados pelos alunos com o modelo matemático científico relacionado a redes ópticas;
- c) demonstre o novo conhecimento de forma prática e otimizada, facilitando a compreensão dos conceitos;
- d) promova discussões sobre a validação do conhecimento adquirido, estabelecendo relações entre os conceitos abordados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de sequência didática (SD), denominada de Sequência Fedathi (SF), com uma abordagem estratégica para o ensino de Redes Ópticas, alinhada com Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e utilizando simuladores de IA. A SF foi estruturada com a distribuição do conteúdo programático e a elaboração das atividades guiadas por meio de um simulador de Redes Ópticas com o uso de inteligência artificial (IA).

Este trabalho reforça os achados na literatura sobre o uso da SF como uma metodologia possível para ser adaptada para mediar o ensino de Física. A utilização da IA como substituto do software *Optisystem*® mostra-se mais viável economicamente por ser gratuito e também economiza em tempo de processamento de computador, haja visto que a simulação via *Optisystem*® é cara e demorada, enquanto a simulação via IA mostrou-se mais rápido para processamento e mais econômica.

Além disso, a versatilidade da SF associada a um simulador IA mostra-se como uma estratégia promissora e capaz de promover o ensino de Física, em diversos níveis. Atualmente (27 de novembro de 2023), desenvolvemos o simulador IA e iremos aplicar em sala de aula numa instituição de nível superior e posteriormente mensurar os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton, 1963.

BORGES NETO, Hermínio. **Uma proposta lógico-construtiva-dedutiva para o ensino de matemática**. 2016. 28 f. Tese (Ascensão a Professor Titular) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BORGES NETO, Hermínio (org.). **Sequência Fedathi: fundamentos**. Curitiba: CRV, 2018. 3 v.

BORGES NETO, Hermínio (org.). **Sequência Fedathi além das ciências duras**. Curitiba: CRV, 2017

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Documento Orientador de APCN**. Área 46: ensino. Brasília: MEC: CAPES, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/ensino1.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.

CATHRIN, Shely; WIKANDARU, Reno. The future of character education in the era of artificial intelligence. **Humanika: Kajian Ilmiah Mata Kuliah Umum**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 91-100, 2023. Disponível em: <https://jurnal.uny.ac.id/index.php/humanika/article/view/59741>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 75264-75278, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9069875>. Acesso em: 11 fev. 2024.

FONTENELE, Francisca Cláudia Fernandes. **A sequência Fedathi no ensino da álgebra linear**: o caso da noção de base de um espaço vetorial. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/7521>. Acesso em: 26 out. 2023.

LIMA, S. A. de *et al.* O ensino de cálculo diferencial e integral em um curso de administração: principais dificuldades de aprendizagem dos alunos. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, IV., 2014, Ponta Grossa-PR. **Anais [...]**. Ponta Grossa-PR: UTFPR, 2014.

MENDES, Iran Abreu. **História da matemática no ensino**: entre trajetórias, epistemologias e pesquisas. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

MENEZES, Daniel Brandão. **O ensino do cálculo diferencial e integral na perspectiva da sequência Fedathi**: caracterização do comportamento de um bom professor. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Educação Brasileira) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Cantaurio Editora, 2010.

MORELATTI, Maria Raquel Mito. **Criando um ambiente construcionista de aprendizagem em cálculo diferencial e integral I**. 2001. 260 f. Tese (Doutorado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2001.

OSTERMANN, Fernando; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio. **Revista Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 26 out. 2023.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence**: a modern approach. 2 nd. New Jersey: Pearson, 2016.

SIEMENS, George; GAŠEVIĆ, Dragan; DAWSON, Shane. **Preparing for the digital university**: a review of the history and current state of distance, blended, and online learning. Athabasca AB Canada: Athabasca University Press, 2015. Disponível em: https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/256525723/256524746_oa.pdf. Acesso em: 26 out. 2023.

SOUSA, Francisco Edisom Eugenio de *et al.* **Sequência Fedathi**: uma proposta pedagógica para o ensino de matemática e ciências. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

4 ARTIGO 3 – UM DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA PREDIÇÃO DE PARÂMETROS DE REDES DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS VOLTADO PARA O ENSINO

Sebastião Elvis Gomes*

Glendo de Freitas Guimarães**

Yosdan Martínez Camejo†

Darlan Almeida Barroso‡

Carlos Alexandre Rolim Fernandes§

RESUMO

O ensino de Comunicações Ópticas em cursos de Engenharia, utilizando o método expositivo tradicional, tem se mostrado desafiador para os estudantes. Muitas vezes, o aprendizado é percebido como complexo, em parte devido à abordagem passiva imposta pelos métodos convencionais, que limitam a interação ativa dos alunos no processo de construção do conhecimento. Paralelamente, a crescente presença da inteligência artificial (IA) na sociedade está transformando diversas áreas, incluindo a forma como interagimos com o mundo e aprendemos. Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo (API) baseado em IA para simulação de Redes Ópticas, com foco no ensino prático dessas tecnologias. Por meio da implementação de diferentes modelos preditivos de IA, foram conduzidas diversas simulações, permitindo uma análise detalhada do desempenho de cada modelo em variáveis-chave, como o fator máximo de qualidade (MAX_Q_FACTOR) e a taxa de erro de bit (BER). Os resultados das simulações oferecem uma visão comparativa

* Doutorando em Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* elvis@ifce.edu.br

** Doutor em Engenharia Telinformática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* glendo@fotonica.ifce.edu.br

† Doutor em Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* yosdan@ppget.ifce.edu.br

‡ Doutorando em Engenharia Telinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* darlan.engemec@alu.ufc.br

§ Doutor em Engenharia Telinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* alexandrefernandes@ufc.br

sobre o impacto de cada modelo no desempenho e na confiabilidade de redes ópticas. Essa análise destaca a importância da escolha adequada de modelos preditivos, otimizando tanto o projeto quanto a operação dessas redes, além de facilitar a compreensão de conceitos complexos pelos alunos, contribuindo para um ensino mais dinâmico e interativo.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Machine Learning. Ensino de Redes Ópticas. Ensino de Física e Sequência Fedathi.

ABSTRACT

Teaching Optical Communications in Engineering courses, using the traditional expository method, has proven to be challenging for students. Often, learning is perceived as complex, partly due to the passive approach imposed by conventional methods, which limit active student engagement in the knowledge construction process. At the same time, the growing presence of Artificial Intelligence (AI) in society is transforming various fields, including how we interact with the world and how we learn. In this context, this work proposes the development of an AI-based application (API) for simulating Optical Networks, with a focus on practical education in these technologies. Through the implementation of different AI predictive models, several simulations were conducted, allowing for a detailed analysis of each model's performance on key variables, such as the maximum quality factor (MAX_Q_FACTOR) and the bit error rate (BER). The simulation results offer a comparative view of the impact of each model on the performance and reliability of optical networks. This analysis highlights the importance of selecting appropriate predictive models, optimizing both the design and operation of these networks, while also facilitating the understanding of complex concepts for students, contributing to more dynamic and interactive learning.

Keywords: Artificial Intelligence. Machine Learning. Teaching Optical Networks. Teaching Physics and Fedathi sequence.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) é uma tecnologia que tem impactado significativamente a vida contemporânea, influenciando as relações sociais e os processos produtivos em diversas áreas, como finanças, varejo, mobilidade, saúde e educação. No contexto educacional, os Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVEA) desempenham um papel crucial como ferramentas didáticas e tecnológicas. Esses ambientes evoluíram ao longo do tempo, incorporando tecnologias para melhorar a experiência de ensino e aprendizagem.

É importante observar que os alunos frequentemente percebem o aprendizado de Física, mais especificamente de Comunicações Ópticas nos cursos de Engenharia, como uma tarefa complexa, o que, por sua vez, resulta em altas taxas de reprovação e desistência. Essa percepção decorre, em grande parte, do modelo de ensino predominante, caracterizado por aulas expositivas, nas quais o professor adota uma postura tradicional. Ao longo dos anos, como educador, tenho testemunhado as dificuldades persistentes dos alunos na assimilação dos conceitos fundamentais de Física. Essas dificuldades são frequentemente associadas à permanência dos métodos tradicionais de ensino, que colocam os alunos em uma posição passiva, como meros espectadores e receptores do conhecimento transmitido.

Outro problema no ensino de Física nas Engenharias é a falta de um domínio sólido da Matemática e de suas ferramentas por parte dos alunos. Segundo Borges Neto (2016), sua vasta experiência como docente e pesquisador o levou a concluir que, em sua maioria, o ensino da Matemática segue uma abordagem autoritária, com ênfase na imposição de regras e algoritmos por parte do professor. Nesse contexto, os alunos frequentemente se veem compelidos a assimilar e reproduzir essas estratégias de maneira quase automática em seu dia a dia.

De acordo com as conclusões de Lima *et al.* (2014), um fator crítico que impacta o aprendizado da disciplina é a carência de domínio dos conceitos básicos de Matemática. Essas duas observações destacam a necessidade premente de uma abordagem diferenciada por parte dos docentes, com o propósito de reformular a atual dinâmica do ensino de Física nas Engenharias. Essa transformação requer, acima de tudo, a valorização do aluno em sala de aula, estimulando seu interesse científico, despertando a curiosidade, incentivando a busca pelo conhecimento, promovendo a

reflexão, a formulação de hipóteses e sua validação, tudo isso como resultado da atuação ativa do próprio aluno. A aprendizagem deve ser uma construção conjunta, onde o professor não apenas transmite informações, mas também incentiva os alunos a serem participantes ativos em sua jornada educacional.

Segundo Morelatti (2001), um problema acentuado no ensino da disciplina de Matemática, especificamente Cálculo Diferencial, é que os elevados índices de reprovação e evasão estão diretamente relacionados à predominância de uma abordagem expositiva, que se limita a apresentar verdades conceituais prontas, negligenciando completamente a participação ativa dos alunos. Em contrapartida, Morelatti (2001) aponta que, em nossos primeiros registros da implementação de uma sessão didática realizada em sala de aula, durante um curso de Cálculo Diferencial e Integral em uma instituição de ensino superior privada, onde empregamos a metodologia de ensino através da Sequência Fedathi (SF) para ministrar o conteúdo de derivadas por meio de aplicações, os resultados iniciais se mostraram promissores.

No ensino de Engenharia, mais especificamente na subárea de Comunicações Ópticas, há um problema recorrente de evasão escolar devido à dificuldade de aprendizado de temas complexos relacionados a essa área, especialmente aqueles que envolvem problemas multiparamétricos. Fazer inferências sobre problemas com vários parâmetros pode ser desafiador para os estudantes. Considerando a importância de aproximar o ensino de Engenharia dos problemas reais enfrentados na prática, é necessário, em muitas situações, adotar abordagens mais complexas.

Estudar problemas e desenvolver projetos nas áreas de Engenharia pode ser uma atividade bastante custosa, o que inviabiliza o acesso a diversos conteúdos importantes. Vale destacar que, em Comunicações Ópticas — disciplina presente nos cursos de Engenharia de Telecomunicações, Telemática e Engenharia Elétrica — os custos são extremamente elevados, devido à necessidade de aquisição de laboratórios especializados, que utilizam lasers, fibras ópticas, detectores de luz, moduladores e analisadores de alta performance, entre outros equipamentos. Nesse contexto, o uso de simulações numéricas e cálculos matemáticos pode oferecer uma solução. Entretanto, os softwares de simulação para redes de Comunicações Ópticas (CO) também possuem um custo muito elevado, na ordem de milhares de dólares, tornando-os inacessíveis para a maioria das empresas nacionais e universidades. Além disso, o tempo de simulação é consideravelmente longo, podendo, em alguns

casos, ultrapassar horas ou até dias para cada simulação, o que pode comprometer a dinâmica de uma aula ou de outras atividades didáticas.

Diante disso, o desenvolvimento de metodologias de ensino que permitam o aprendizado dessa disciplina, mantendo um realismo desejável e considerando todos os parâmetros reais em condições críticas, mas com tempo de resposta de simulação reduzido ou quase instantâneo, pode potencializar o aprendizado e popularizar o uso de simulações. Além disso, algoritmos de IA têm ganhado espaço em empresas e instituições de ensino e pesquisa, sendo candidatos promissores para suprir as necessidades identificadas.

Este artigo propõe um modelo de ensino para a disciplina de Comunicações Ópticas, potencializado pelo uso de algoritmos de predição baseados em inteligência artificial (IA), aplicado em sala de aula por meio da Sequência Fedathi (SF). Além disso, foi desenvolvido um ambiente virtual para simulações de redes, com o objetivo de ser utilizado em contextos educacionais.

O objetivo deste estudo é explorar como a IA, quando incorporada aos Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem (AVEAs), pode agregar valor ao ensino e à aprendizagem no campo do ensino de Comunicações Ópticas. O estudo adota uma abordagem qualitativa, baseada em processos fenomenológicos, e utiliza a revisão de literatura, além da coleta e análise de dados, para construir e validar o modelo proposto.

Espera-se que este modelo contribua para o debate na comunidade científica e sirva como referência para futuras implementações do uso de Inteligência Artificial e da Sequência Didática Fedathi no ensino de Comunicações Ópticas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção apresentaremos as bases teóricas da Sequência Didática Fedathi, e Inteligência Artificial aplicada em Redes Ópticas.

2.1 A sequência didática Fedathi como modelo de ensino

A Sequência Fedathi foi originalmente concebida para apoiar professores de Matemática. No entanto, ao longo dos anos, expandiu-se para além dessa ciência,

demonstrando ser uma alternativa de ensino capaz de promover mudanças nas atitudes de docentes em diversas áreas do conhecimento, conforme apontado por Borges Neto (2017).

Segundo Borges Neto (2018), a Sequência Fedathi coloca o professor como elemento central no processo de ensino e aprendizagem, atribuindo-lhe o papel de mediador, o que promove a autonomia dos estudantes ao favorecer um ambiente propício ao diálogo e à investigação.

De acordo com Fontenele (2013), a postura do professor pode ser definida conforme o quadro 1, que apresenta um resumo do que se espera do docente em cada fase da Sequência Fedathi.

Quadro 1 - Postura docente segundo a Sequência Fedathi.

Postura docente esperada em cada fase da Sequência Fedathi			
Tomada de posição	Maturação	Solução	Prova
• Apresenta uma situação desafiadora que esteja no nível dos alunos.	• Deixa os alunos pensarem sobre o problema/atividade proposto; • Observa o desempenho dos alunos (postura “mão no bolso”); • Se questionado, responde com perguntas que estimulem a curiosidade e o instinto investigativo do aluno; • Não fornece a resposta pronta; • Intervém quando necessário, caso o aluno não consiga avançar.	• Chama os alunos para apresentarem suas respostas; • Faz questionamentos que suscitem discussões com a turma; • Aponta e discute os possíveis erros de modo a favorecer a aprendizagem; • Compara os resultados apresentados.	• Formaliza os resultados matematicamente; • Faz generalizações; • Expõe as definições formais ou teoremas.

Fonte: Fontenele (2013).

Ressalta-se que cada uma das fases da Sequência Fedathi (SF) representa momentos distintos da aula e deve ocorrer de forma natural, repetindo-se quantas vezes forem necessárias, de acordo com o planejamento. Essas fases refletem os

momentos em que um profissional da área (como um físico ou matemático) constrói conhecimento em sua disciplina específica, ficando a critério do docente a escolha das melhores ferramentas de ensino a serem utilizadas no processo. Como consequência, o aluno desenvolve sua autonomia, pois, ao trilhar esse caminho, torna-se consciente de sua capacidade de buscar e construir seu próprio conhecimento (MENEZES, 2018).

2.2 A inteligência artificial (IA) aplicada ao ensino

A inteligência artificial (IA) tem sido objeto de grande interesse e avanço em diversas áreas, e a educação não é exceção. Nas últimas décadas, observou-se um crescente interesse e aplicação da IA no contexto educacional, proporcionando novas oportunidades e desafios para o ensino e a aprendizagem (RUSSELL; NORVIG, 2016). A capacidade da IA de analisar dados, realizar inferências, automatizar tarefas e interagir com os alunos tem o potencial de transformar o cenário educacional (RUSSELL; NORVIG, 2016).

A inteligência artificial (IA) no ensino tem evoluído consideravelmente, passando de abordagens iniciais com sistemas de tutoria inteligente para a criação de ambientes de aprendizagem personalizados e adaptativos, capazes de atender às necessidades individuais dos alunos (RUSSELL; NORVIG, 2016).

Além disso, as aplicações da IA no ensino se expandiram para diversas disciplinas e níveis educacionais, abrangendo desde a educação básica até o ensino superior e a formação profissional (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015). O uso da IA no ensino também tem buscado compreender as principais tendências, contribuições e desafios dessa abordagem. Estudos recentes exploram o uso da IA em diferentes contextos educacionais, incluindo o ensino presencial, a educação a distância e a aprendizagem online (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

Nessa perspectiva, são discutidos os avanços tecnológicos que têm impulsionado o uso da IA no ensino, como o desenvolvimento de algoritmos de *Machine Learning* (ML) e *Deep Learning* (DL), a disponibilidade de grandes volumes de dados educacionais e a melhoria das interfaces de interação humano-computador. Além disso, são abordados os benefícios potenciais da IA no ensino, como a personalização do aprendizado, a identificação de padrões de desempenho dos

alunos e a criação de ambientes educacionais mais eficientes e eficazes (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

No entanto, apesar das promessas e possibilidades da IA no ensino, ainda existem desafios a serem enfrentados. Questões éticas, como a privacidade dos dados dos alunos e a equidade no acesso às tecnologias educacionais baseadas em IA, devem ser cuidadosamente consideradas (CATHRIN; WIKANDARU, 2023). Além disso, a formação e capacitação dos professores para o uso adequado da IA no ensino são fundamentais para garantir sua efetividade e maximizar seus benefícios (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015).

Compreender a evolução do uso da IA no ensino permitirá melhorar a implementação e o desenvolvimento de tecnologias educacionais baseadas em IA proporcionando um ensino mais personalizado, adaptativo e eficaz (RUSSELL; NORVIG, 2016). Essa análise crítica possibilitará a identificação de lacunas na pesquisa e direcionará esforços para aprimorar a integração da IA no ensino, visando elevar a qualidade e a eficiência da educação em um mundo cada vez mais digital e tecnológico ((RUSSELL; NORVIG, 2016).

2.2.1 Modelos de Machine Learning (ML)

O aprendizado de máquina (*Machine Learning*) é de fato um subcampo da inteligência artificial (IA), e o que você trouxe reflete bem a estrutura básica dessa área. Ele está focado em criar algoritmos que permitem às máquinas identificarem padrões em dados e aprender com eles, sem a necessidade de serem explicitamente programadas para cada tarefa. Existem diferentes tipos de aprendizado de máquina, sendo os principais o aprendizado supervisionado e o aprendizado não supervisionado. No aprendizado supervisionado, os algoritmos são treinados com um conjunto de dados que incluem exemplos rotulados, ou seja, dados nos quais a resposta correta já é conhecida.

O objetivo é identificar uma função que relacione os dados de entrada com as saídas esperadas, permitindo ao algoritmo realizar previsões ou tomar decisões em relação a novas amostras. Por outro lado, no aprendizado não supervisionado, os algoritmos são treinados com conjuntos de dados sem rótulos associados, buscando padrões ou agrupamentos na estrutura dos dados. Em resumo, a principal distinção

entre esses dois tipos de aprendizado reside na presença de rótulos nos dados de treinamento. Enquanto o aprendizado supervisionado precisa de exemplos rotulados para aprender de forma precisa, o aprendizado não supervisionado é capaz de identificar estruturas e relações entre amostras sem a necessidade de rótulos (SARKER, 2021).

2.2.2 Regressão

A regressão é uma técnica utilizada quando a variável de saída é contínua, ou seja, pode assumir qualquer valor dentro de um intervalo. O principal objetivo da regressão é prever ou estimar o valor de uma variável dependente com base em uma ou mais variáveis independentes.

Os métodos de regressão buscam modelar a relação entre as variáveis de entrada e a variável de saída, ajustando uma curva ou superfície aos dados observados. Exemplos de algoritmos de regressão incluem a regressão linear, a regressão polinomial, a regressão com árvores de decisão e o *Gradient Boosting* entre outros (MAULUD; ABDULAZEEZ, 2020).

Foram utilizados três modelos de regressão:

- a) *Decision Tree Regression* (DTR) é uma técnica que utiliza uma abordagem hierárquica para prever valores contínuos;
- b) *Randon Forest Regression* (RFR) é um algoritmo de aprendizado supervisionado que combina múltiplas árvores de decisão para melhorar a precisão das previsões;
- c) *Gradient Boosting Regression* (GBR) é uma das técnicas mais utilizadas em machine learning para problemas de regressão e classificação.

3 METODOLOGIA

Este trabalho propõe a construção de um modelo de aplicativo (API), com simulação baseada em IA, para o ensino de Redes Ópticas no curso de Engenharia de Telecomunicações.

Para aprofundar o desenvolvimento do aplicativo voltado ao ensino de Engenharia, mais especificamente no ensino de Redes Ópticas, iniciaremos pela construção de um simulador de IA para a simulação de algumas características das

redes ópticas, como atenuação e dispersão. Em seguida, serão apresentadas as etapas desse processo de simulação e treinamento de redes ópticas com IA.

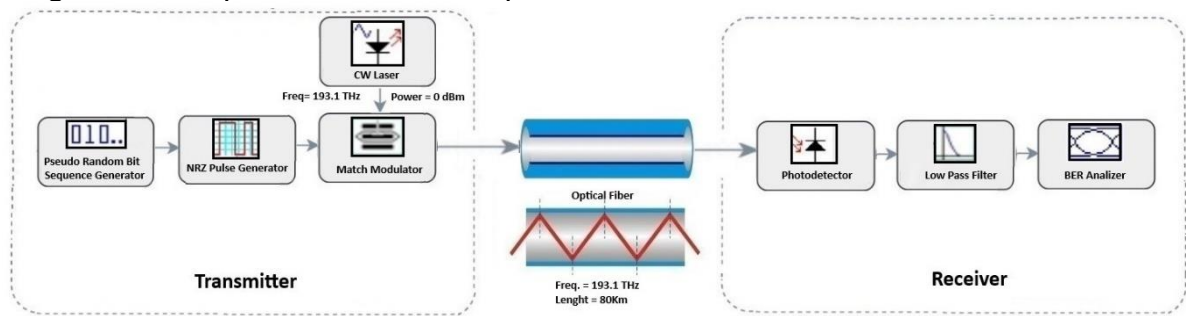
3.1 Criação dos dados via simulador *Optisystem*®

Para a obtenção da base de dados, utilizou-se o software *Optisystem*®, no qual foi implementada uma simulação de uma rede de fibra óptica. A figura 02 mostra esquematicamente os elementos do sistema de comunicação baseado em fibra óptica. O sistema de transmissão inclui um gerador de sinal de bit pseudoaleatório (PRBS), um gerador de pulso sem retorno a zero (NRZ), uma fonte de laser de onda contínua (CW) e um modulador Match-Zehnder (MZ).

Vale ressaltar que os sinais gerados no módulo PRBS são transmitidos na forma de uma sequência de bits pseudoaleatórios, convertidos em uma sequência de bits digitais no formato NRZ. O laser CW do sinal óptico entra no modulador MZ, onde é combinado com a sequência de bits elétricos gerada anteriormente pelo PRBS, resultando em uma réplica óptica da sequência de bits. Essa luz, modulada pelo efeito eletro-óptico, é transmitida através de um link de fibra óptica por uma distância específica. Posteriormente, o sinal é coletado por um fotodetector e passa por um filtro passa-baixa para a conversão em sinal elétrico. Os parâmetros de qualidade na recepção do sinal, como a Mínima Taxa de Erro de Bit (Min_BER) e o fator máximo de qualidade (Max_Q_Factor), são medidos por meio de um analisador de sinal (BER_Analyzer). Os dados característicos da rede de fibra óptica simulada no *Optisystem*® são apresentados na figura 01, conforme a seguir:

- a) frequência do laser: 193,1 THz;
- b) taxa de dados gerados no módulo PRBS: 10 Gbps;
- c) potência do sinal emitido: 0 dBm;
- d) comprimento de onda do laser: 1550 nm;
- e) comprimento da fibra óptica: 80 km;
- f) faixa de variação da atenuação da fibra óptica: 0,1 a 0,6 dB/km;
- g) faixa de variação da dispersão da fibra óptica: 12,75 a 15,75 ps/nm.km.

Figura10 - Esquemático de rede óptica.



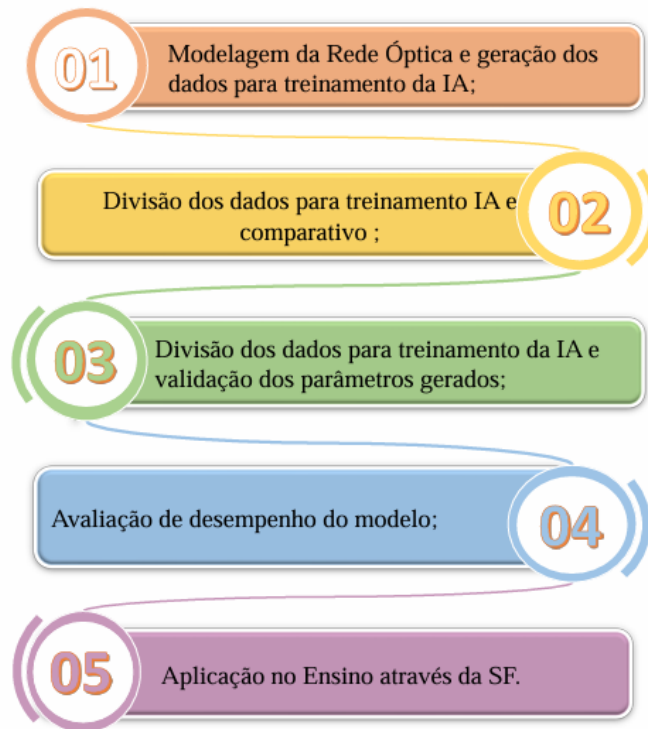
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.2 Simulador de inteligência artificial (IA)

Os dados obtidos através do software *Optisystem*®, onde dividiremos uma parte dos dados para treinar a nossa rede óptica simulada por IA, e a outra parte da base de dados, não utilizada no treino da IA, será usada para comparar os dados simulados através da IA com os valores da base de dados original, conforme esquema mostrado na figura 1. Posteriormente, com os resultados obtidos da simulação da rede óptica, através da IA faremos o comparativo dos dados originais com os dados simulados para verificação da taxa de erro do processo. Estes dados simulados por IA, serão utilizados a posteriori para a aplicação no ensino através da sequência Fedathi com alunos da disciplina de Comunicação Óptica e/ou disciplinas similares.

A primeira etapa consiste em gerar os dados dos parâmetros de uma Rede Óptica utilizando o software *Optisystem*®. A segunda etapa consiste em dividir os dados obtidos na etapa anterior para treinar o simulador de IA utilizando entre 50% e 70% dos dados gerados para o treinamento. Em seguida, os resultados obtidos pelo simulador de IA serão comparados com os dados originais (30% a 50% dos dados restantes). Posteriormente, será analisada a aderência dos valores gerados pelo simulador de IA em relação aos valores originais obtidos pelo *Optisystem*®. Por fim, nesta etapa final, os dados gerados pelo simulador de IA serão aplicados no ensino, utilizando a Sequência Fedathi, conforme mostrado na figura 2.

Figura11 - Etapas de simulação de Redes Ópticas através da IA.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Como etapa final do desenvolvimento do simulador de IA, será realizada a produção de um material didático-pedagógico. Esse material, enquanto estratégia metodológica, servirá para orientar a aplicação de sequências didáticas utilizando o simulador de IA com a metodologia da Sequência Fedathi. O objetivo é auxiliar professores que lecionam disciplinas de engenharia, redes ópticas e áreas afins, orientando-os na aplicação de cada passo da metodologia.

Apresentamos o modelo preditivo com IA desenvolvido para a simulação de redes ópticas. O usuário pode selecionar o modelo de simulação desejado, assim como os parâmetros de atenuação e dispersão a serem simulados, conforme ilustrado na figura 3.

No modelo preditivo o usuário fará as seguintes escolhas para simulação:

- seleção do Tipo de Modelo: Os usuários podem escolher entre diversos modelos de regressão, como “*Random Forest*”, “*Decision Tree*” e “*Gradient Boosting*”, para realizar a previsão;
- proporção de treinamento: este controle deslizante permite aos usuários definir a porcentagem de dados a ser utilizada para treinar o modelo de “*Machine Learning*”, com opções que variam de 10% a 90%,

proporcionando flexibilidade na otimização da capacidade de generalização do modelo;

- c) parâmetros de entrada: os usuários devem inserir valores específicos para parâmetros críticos das redes ópticas:
- d) atenuação [dB/km]: valores podem ser inseridos dentro de um intervalo definido, como de 0,1 a 0,6;
- e) dispersão Inicial [ps/nm/km]: com um intervalo de entrada predefinido, como de 12,75 a 17,75;
- f) dispersão Final [ps/nm/km]: permite a definição do valor final dentro do mesmo intervalo da dispersão inicial;
- g) incremento de dispersão: os usuários podem definir o incremento da dispersão, com valores sugeridos de 0,2 ou superiores.

Após a configuração desses parâmetros, os usuários podem acionar a previsão clicando no botão "Calcular Previsão", que instrui o modelo de **Machine Learning** a processar os dados de entrada e gerar as previsões de desempenho.

Figura12 - Tela do Simulador IA com modelo preditivo de redes ópticas.



Ensino de Comunicações Ópticas Potencializado por Machine Learning

Selecione o tipo de modelo

Decision Tree

Fonte: Elaboração dos autores (2024).

4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.1 Resultados da simulação com modelo preditivo DTR

O primeiro simulador de IA utilizando o modelo preditivo *Decision Tree Regressor* (DTR), foi desenvolvido para representar alguns parâmetros da rede óptica,

conforme já descrito anteriormente. A tabela 1 apresenta os resultados dessa simulação. Nesta simulação inicial, os valores de atenuação da rede de fibra óptica foram fixados em 0,1 dB/Km, com um comprimento de 80 km, e o outro parâmetro simulado foi a variação da dispersão, de 12,75 até 15,75 ps/nm.km. A divisão da amostra para o treinamento e validação do simulador de IA foi de 50% para cada etapa, ou seja, 50% dos dados de entrada foram usados para o treinamento, enquanto os outros 50% foram utilizados para a validação.

Na tabela 1, são apresentados os resultados obtidos pela simulação de IA com o modelo preditivo DTR, onde as variáveis de saída são o Fator Máximo de Qualidade (Max_Q_Factor) e a Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER), correlacionados com as variáveis de entrada da rede óptica, Atenuação e Dispersão.

Os resultados do Max_Q_Factor variaram entre 0,61 e 0,46, o que demonstra um desempenho satisfatório na simulação de IA utilizando o modelo DTR. Em relação à Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER), os valores iniciaram em 0,0 (zero) para uma atenuação de 0,1 dB/Km e uma dispersão de 12,75 ps/nm.km. Entretanto, conforme a dispersão ultrapassou 15,15 ps/nm.km, a MIN_BER atingiu um valor insignificante de 0,000001. Esses resultados validam a simulação de IA realizada com o modelo DTR, conforme mostrado na tabela 1.

4.2 Resultados da simulação com o modelo preditivo RFR

A segunda simulação com IA foi realizada utilizando um modelo preditivo diferente, o *Random Forest Regressor* (RFR), com o objetivo de comparar as convergências e divergências em relação ao modelo preditivo anterior. Mantivemos os parâmetros da simulação anterior.

Nesta segunda simulação, os valores de saída para o Max_Q_Factor variaram entre 0,61 e 0,46, conforme apresentado na tabela 1. Esses resultados indicam um desempenho positivo do modelo preditivo RFR na simulação com IA.

Em relação à Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER), os valores iniciais, para uma atenuação de 0,1 dB/Km e uma dispersão de 12,75 ps/nm.km, foram de 0,0 (zero). No entanto, ao analisarmos a tabela 1, observamos que a MIN_BER atinge o valor de 0,00000111 quando a dispersão ultrapassa 15,15 ps/nm.km. Esse resultado indica uma taxa de erro de bit praticamente insignificante.

4.3 Resultados da simulação com o modelo preditivo GBR

Na terceira e última simulação com IA realizada nesta seção, utilizamos um modelo preditivo diferente, o *Gradient Boosting Regressor* (GBR). O objetivo foi analisar as convergências e divergências em relação aos modelos preditivos anteriores. Mantivemos os mesmos parâmetros das simulações anteriores.

Nesta terceira simulação, os valores de saída para o Max_Q_Factor variaram entre 0,613 e 0,473, conforme apresentado na tabela 1. Esses resultados indicam um desempenho positivo do modelo preditivo GBR na simulação com IA.

Em relação à Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER), os valores iniciais, para uma atenuação de 0,1 dB/Km e dispersão de 12,75 ps/nm.km, foram de -0,00352699. Entretanto, ao analisarmos a tabela 1, observamos que o valor máximo da MIN_BER atinge 0,01225075 quando a dispersão é de 14,75 ps/nm.km.

Tabela 1 - Resultados da simulação com IA utilizando os modelos preditivos DTR, RFR e GBR.

Entradas		DTR		RFR		GBR	
Att [dB/km]	Disp [ps/nm/km]	MAX_Q_FACTOR	MIN_BER	MAX_Q_FACTOR	MIN_BER	MAX_Q_FACTOR	MIN_BER
0,1	12,75	0.61229550	0.00000000	0.61229550	0.00000000	0.61326278	-0,003527
0,1	12,95	0.59007020	0.00000000	0.59007020	0.00000000	0.57655092	-0.00347636
0,1	13,15	0.59007020	0.00000000	0.59007020	0.00000000	0.56218873	0.02670795
0,1	13,35	0.57028870	0.00000000	0.57028870	0.00000000	0.55586727	-0.00801133
0,1	13,55	0.57028870	0.00000000	0.57028870	0.00000000	0.57302473	-0.00899204
0,1	13,75	0.57028870	0.00000000	0.57028870	0.00000000	0.56240222	0.00131816
0,1	13,95	0.53737480	0.00000000	0.53737480	0.00000000	0.52379455	0.00205629
0,1	14,15	0.53737480	0.00000000	0.53737480	0.00000000	0.52379455	0.00005347
0,1	14,35	0.52826330	0.00000000	0.52826330	0.00000000	0.52292892	-0.00039814
0,1	14,55	0.52286580	0.00000000	0.52286580	0.00000000	0.52115112	0.00545701
0,1	14,75	0.52286580	0.00000000	0.52286580	0.00000000	0.51644677	0.01225075
0,1	14,95	0.49590170	0.00000000	0.49590170	0.00000000	0.48686687	0.01029841
0,1	15,15	0.49590170	0.00000000	0.49590170	0.00000000	0.48686687	0.03151021
0,1	15,35	0.48235210	0.00000100	0.48235210	0.00000100	0.48056618	0.00505928
0,1	15,55	0.47763180	0.00000100	0.47763180	0.00000100	0.48056618	-0.00424107
0,1	15,75	0.46902840	0.00000100	0.46902840	0.00000100	0.47325292	-0.00424107

Fonte: Elaboração dos autores (2024).

Os resultados obtidos nas simulações realizadas demonstram uma excelente concordância entre os dados experimentais e os dados simulados, evidenciando a robustez do modelo de aprendizado de máquina aplicado no ensino de Comunicações Ópticas. Foram simulados cenários reais com variação nos valores de atenuação

entre X e Y, sendo que a atenuação de 0,2 dB/km reflete o desempenho típico das fibras ópticas convencionais usadas em redes urbanas, transoceânicas e outras aplicações.

Em relação à dispersão, o modelo conseguiu simular condições realistas encontradas em sistemas ópticos, permitindo uma análise detalhada de como os parâmetros físicos afetam a qualidade do sinal transmitido. Dessa forma, a simulação possibilita trazer discussões do ambiente acadêmico para um contexto mais prático e alinhado com a realidade observada em sistemas de comunicação óptica.

A análise dos dados revelou a complexidade inerente ao ensino de disciplinas relacionadas a comunicações ópticas, especialmente quando parâmetros como atenuação (ATE) e dispersão (DISP) são considerados simultaneamente. Tal complexidade decorre da multiplicidade de combinações de valores que podem ser aplicadas, tornando o processo de aprendizagem mais desafiador. No entanto, o modelo desenvolvido permite o ajuste dinâmico desses parâmetros, facilitando discussões aprofundadas em sala de aula sobre a qualidade do sinal em diferentes cenários simulados.

Adicionalmente, a aplicação desenvolvida possibilita aos estudantes a compreensão dos fundamentos da modelagem em inteligência artificial (IA), oferecendo a oportunidade de variar o percentual de dados de entrada e testar diferentes modelos de machine learning. Isso enriquece o aprendizado teórico com experiências práticas, tornando o ensino de comunicações ópticas mais acessível e envolvente, ao mesmo tempo em que proporciona uma introdução ao processo de modelagem em IA aplicada ao contexto de redes ópticas.

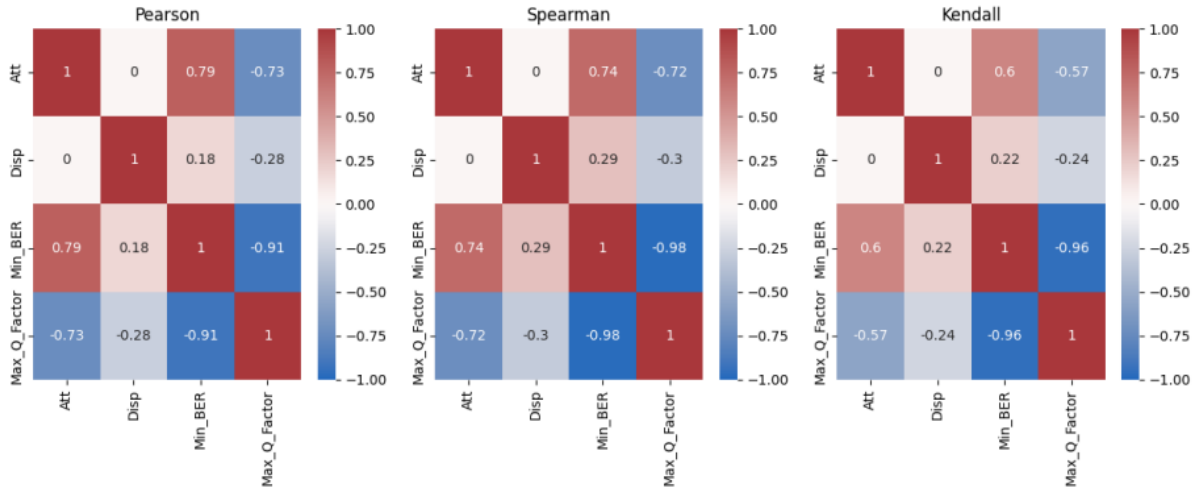
4.4 Análise de correlação

A análise de correlação entre as variáveis de entrada (recursos) e as variáveis de saída (alvos) foi realizada utilizando os coeficientes de correlação de *Pearson* (r), *Spearman* (ρ) e Kendall (τ) (KENDALL, 1975).

A figura 04 mostra padrões de correlação semelhantes para os coeficientes de correlação de *Pearson*, *Spearman* e *Kendall*. O alvo Max_Q_Factor apresenta valores negativos de r , ρ e τ para os parâmetros de dispersão e atenuação, sugerindo correlações fracas a moderadas, monotonicamente decrescentes, entre os

parâmetros, respectivamente. Por outro lado, o Min_BER apresenta um comportamento similar ao do Max_Q_Factor, porém de forma monotonicamente crescente.

Figura13 - Coeficiente de Pearson, Spearman e Kendall para a base de dados analisada.

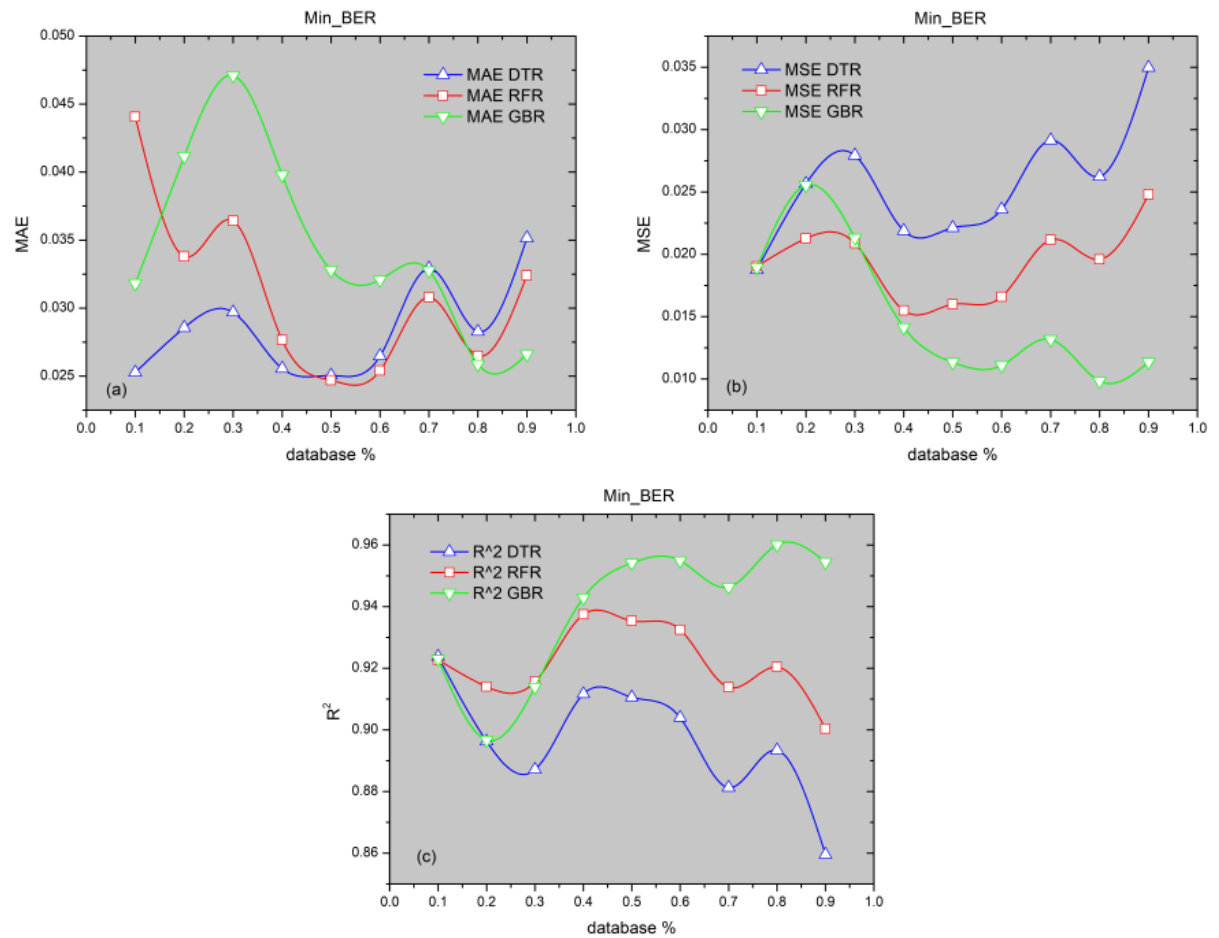


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No gráfico 1 (A, B e C), são apresentados os parâmetros referentes ao sinal de saída mensurado pelo Min_BER. Os parâmetros analisados nesses gráficos incluem o Coeficiente de Determinação (R^2), o Erro Médio Absoluto (MAE) e o Erro Quadrático Médio (MSE).

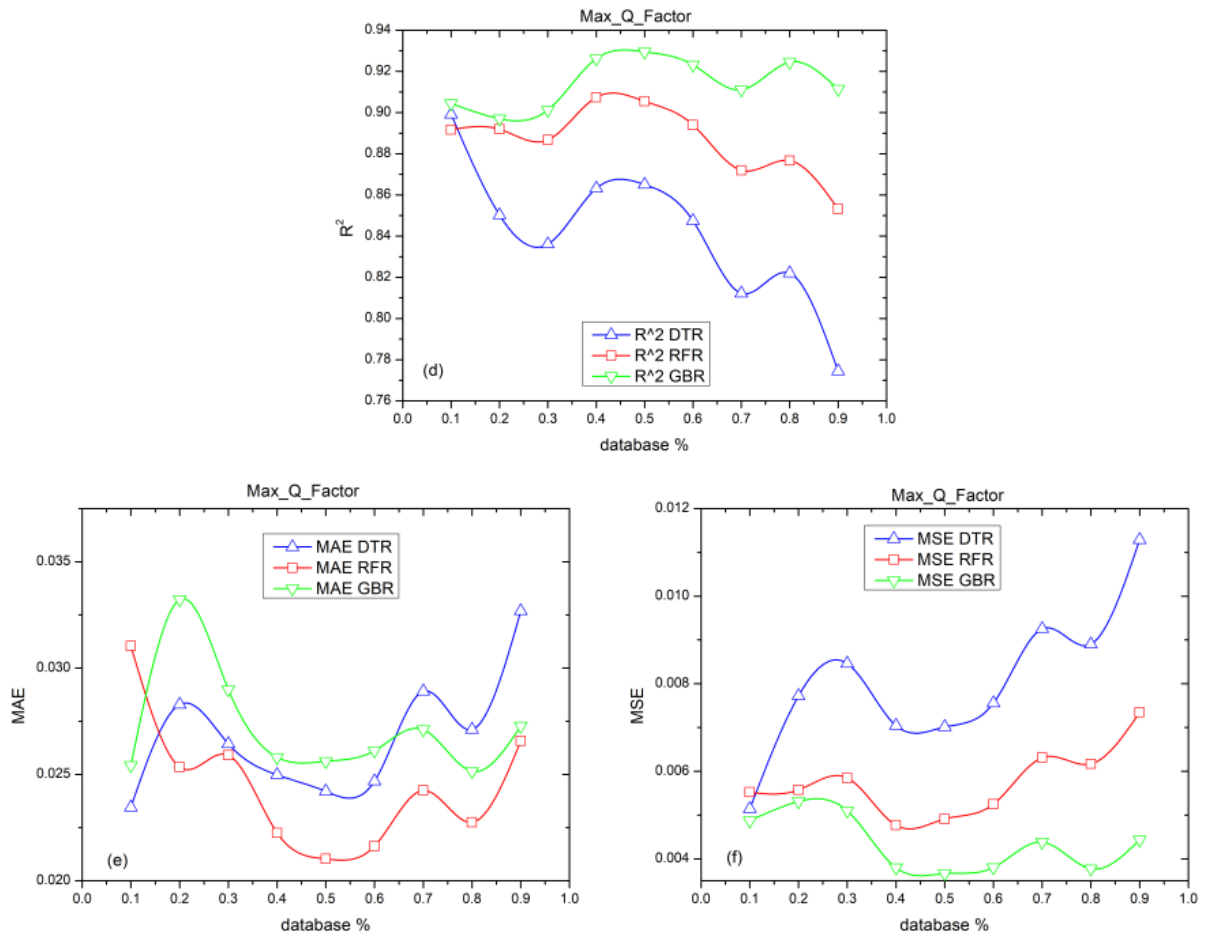
No gráfico 2 (A, B e C), são apresentados os parâmetros referentes ao sinal de saída mensurado pelo Max_Q_Factor. Assim como no gráfico anterior, os parâmetros analisados são o Coeficiente de Determinação (R^2), o Erro Médio Absoluto (MAE) e o Erro Quadrático Médio (MSE).

Gráfico 1 - Coeficiente de Determinação (R^2), Erro Médio Absoluto (MAE) e Erro Quadrático Médio (MSE) utilizando um simulador de IA com resposta para o Min_BER.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Gráfico 2 - Coeficiente de Determinação (R^2), Erro Médio Absoluto (MAE) e Erro Quadrático Médio (MSE) utilizando um simulador de IA com resposta para o Max_Q_Factor.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, desenvolvemos um aplicativo de IA para auxiliar no ensino de redes ópticas, utilizando a abordagem da Sequência Fedathi. Foram implementados três modelos preditivos distintos de IA, denominados DTR, RFR e GBR.

Os resultados obtidos nas simulações indicam que os modelos DTR e RFR apresentaram desempenhos satisfatórios e semelhantes, apresentando taxa de erros em relação aos dados originais dentro de limites aceitáveis. Ambos foram capazes de prever de forma consistente as variáveis de atenuação e distorção na propagação da luz em uma rede óptica. No entanto, o modelo GBR apresentou resultados divergentes, especialmente em relação à Taxa de Erro de Bit (BER).

Essas descobertas destacam a importância da escolha adequada do modelo preditivo no projeto e na otimização de redes de comunicação óptica, uma vez que

essa escolha pode impactar significativamente o processo de ensino das redes ópticas com o uso da Sequência Fedathi.

Recomendamos investigações futuras para aprofundar o entendimento sobre os modelos preditivos e sua aplicação em cenários práticos, além de explorar sua implementação em sala de aula. Esses resultados oferecem *insights* valiosos para orientar a seleção apropriada de modelos na otimização de redes de comunicação óptica.

REFERÊNCIAS

BORGES NETO, Hermínio. **Uma proposta lógico-construtiva-dedutiva para o ensino de matemática**. 2016. 28 f. Tese (Ascensão a Professor Titular) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BORGES NETO, Hermínio (org.). **Sequência Fedathi: fundamentos**. Curitiba: CRV, 2018. 3 v.

BORGES NETO, Hermínio. (org.). **Sequência Fedathi além das ciências duras**. Curitiba: CRV, 2017.

CATHRIN, Shely; WIKANDARU, Reno. The future of character education in the era of artificial intelligence. **Humanika: Kajian Ilmiah Mata Kuliah Umum**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 91-100, 2023. Disponível em: <https://jurnal.uny.ac.id/index.php/humanika/article/view/59741>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 75264-75278, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9069875>. Acesso em: 11 fev. 2024.

FONTENELE, Francisca Cláudia Fernandes. **A sequência Fedathi no ensino da álgebra linear: o caso da noção de base de um espaço vetorial**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/7521>. Acesso em: 26 out. 2023.

KENDALL, Maurice G. **Rank correlation methods**. 4th ed. London: Charles Griffin & Co, 1975.

MENEZES, Daniel Brandão. **O ensino do cálculo diferencial e integral na perspectiva da sequência Fedathi: caracterização do comportamento de um bom professor**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Educação Brasileira) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2018.

MAULUD, Dastan; ABDULAZEEZ, Adnan M. A review on linear regression comprehensive in machine learning. **Journal of Applied Science and Technology Trends**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 140-147, 2020. Disponível em: <https://jastt.org/index.php/jasttpath/article/view/57>. Acesso em: 26 out. 2023.

MORELATTI, Maria Raquel Mito. **Criando um ambiente construcionista de aprendizagem em cálculo diferencial e integral I**. 2001. 260 f. Tese (Doutorado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2001.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach**. 2 nd. New Jersey: Pearson, 2016.

SARKER, Iqbal H. Machine learning: algorithms, Real-World applications and research directions. **SN Computer Science**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 160, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-021-00592-x>. Acesso em: 26 out. 2023.

SIEMENS, George; GAŠEVIĆ, Dragan; DAWSON, Shane. **Preparing for the digital university: a review of the history and current state of distance, blended, and online learning**. Athabasca AB Canada: Athabasca University Press, 2015. Disponível em: https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/256525723/256524746_oa.pdf. Acesso em: 26 out. 2023.

5 ARTIGO 4 – A SEQUÊNCIA FEDATHI NO ENSINO DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS MEDIADA POR UM SIMULADOR EDUCACIONAL COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA

Sebastião Elvis Gomes*

Glendo de Freitas Guimarães**

RESUMO

O ensino de Comunicações Ópticas em cursos de Engenharia de Telecomunicações, Tecnólogo em Telemática e áreas afins, quando fundamentado predominantemente no método expositivo tradicional, tem se mostrado desafiador para os estudantes. Abordagens clássicas, nas quais o discente assume uma postura passiva no processo de ensino, tendem a limitar a participação ativa, dificultando tanto a construção autônoma do conhecimento quanto a compreensão de conteúdos abstratos e de elevada complexidade conceitual. Diante desse cenário, o presente trabalho investiga a eficácia da aplicação de uma sequência didática fundamentada na metodologia de ensino Sequência Fedathi, a qual organiza o processo de ensino em etapas investigativas e reflexivas, favorecendo o protagonismo discente. Essa abordagem foi integrada ao uso do simulador educacional de redes ópticas *Optilearn*, que incorpora modelos preditivos de inteligência artificial (IA) embarcada, desenvolvido no laboratório de Fotônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). O simulador permite o cálculo de parâmetros relevantes de desempenho de redes ópticas, como a Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER) e o Fator Máximo de Qualidade (MAX_Q_FACTOR). A intervenção pedagógica, que combinou a Sequência Fedathi com o uso do simulador *Optilearn*, foi aplicada em sessões didáticas com estudantes do curso de Engenharia de Telecomunicações e de áreas afins, em um ambiente de aprendizagem interativo e adaptativo. A avaliação da eficácia da proposta, sob uma abordagem metodológica quantitativa, foi realizada

* Doutorando em Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* elvis@ifce.edu.br

** Doutor em Engenharia de Telemática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. *E-mail:* glendo@fotonica.ifce.edu.br

por meio de uma análise comparativa entre os resultados obtidos nos questionários aplicados no pré-teste e no pós-teste, com o mesmo grupo de alunos. Os dados foram analisados utilizando o teste estatístico não paramétrico de Wilcoxon, cujos resultados indicaram um aumento estatisticamente significativo no desempenho dos estudantes após a intervenção pedagógica. Esses achados evidenciam a efetividade da integração entre a metodologia de ensino Sequência Fedathi e o uso de ferramentas de simulação educacional de redes ópticas baseadas em Inteligência Artificial, demonstrando seu potencial para a facilitação do ensino de conceitos abstratos, o estímulo ao raciocínio investigativo e o aumento do engajamento discente em conteúdos complexos de Física Óptica e Comunicações Ópticas.

Palavras-chave: Sequência Fedathi. Inteligência Artificial. Ensino de Engenharia. Ensino de Física e Simulador Educacional.

ABSTRACT

The teaching of Optical Communications in Telecommunications Engineering, Telematics Technology, and related courses, when based predominantly on the traditional expository method, has proven challenging for students. Classic approaches, in which students take a passive stance in the teaching process, tend to limit active participation, hindering both the autonomous construction of knowledge and the understanding of abstract content and highly complex concepts. Given this scenario, this study investigates the effectiveness of applying a teaching sequence based on the Fedathi Sequence teaching methodology, which organizes the teaching process into investigative and reflective stages, favoring student protagonism. This approach was integrated with the use of the Optilearn educational optical network simulator, which incorporates predictive models of embedded Artificial Intelligence (AI), developed in the Photonics Laboratory of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Ceará (IFCE). The simulator allows the calculation of relevant optical network performance parameters, such as the Minimum Bit Error Rate (MIN_BER) and the Maximum Quality Factor (MAX_Q_FACTOR). The pedagogical intervention, which combined the Fedathi Sequence with the use of the Optilearn simulator, was applied in teaching sessions with students from the

Telecommunications Engineering course and related areas, in an interactive and adaptive learning environment. The effectiveness of the proposal was evaluated using a quantitative methodological approach, through a comparative analysis of the results obtained in the pre-test and post-test questionnaires administered to the same group of students. The data were analyzed using the nonparametric Wilcoxon statistical test, whose results indicated a statistically significant increase in student performance after the pedagogical intervention. These findings highlight the effectiveness of integrating the Fedathi Sequence teaching methodology with the use of educational simulation tools for optical networks based on Artificial Intelligence, demonstrating their potential for facilitating the teaching of abstract concepts, stimulating investigative thinking, and increasing student engagement with complex content in Optical Physics and Optical Communications.

Keywords: Fedathi Sequence. Artificial Intelligence. Teaching Engineering. Teaching Physics and Educational Simulator.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia enfrenta desafios históricos relacionados à complexidade conceitual e à dificuldade dos estudantes em articular teoria e prática. No contexto das comunicações ópticas, especialmente no ensino de redes ópticas em cursos de Engenharia de Telecomunicações e áreas afins, esses desafios se intensificam devido à natureza abstrata dos fenômenos envolvidos — como refração, reflexão, atenuação e dispersão — e à dificuldade dos alunos em relacionar as variáveis de entrada aos impactos no desempenho das redes ópticas. Além disso, o uso de simuladores proprietários de redes ópticas é frequentemente inviabilizado pelos elevados custos de aquisição e pelo elevado tempo de processamento dos softwares disponíveis, o que dificulta sua aplicação em sessões didáticas. Nesse cenário, o desenvolvimento de novas tecnologias educacionais associadas a metodologias de ensino inovadoras apresenta-se como uma alternativa promissora.

Ante o cenário desafiador do ensino de Engenharia de Telecomunicações — particularmente em disciplinas como Comunicações Ópticas, a aplicação de metodologias de ensino como a Sequência Fedathi tem transcendido o campo da

Matemática, revelando um potencial transformador para as práticas pedagógicas em diversas áreas. Segundo Borges Neto (2017), tal abordagem fomenta uma reestruturação da postura docente ao privilegiar o protagonismo do estudante na construção ativa do próprio conhecimento.

Paralelamente, conforme discutido por Russell e Norvig (2024), a aplicação da inteligência artificial (IA) na educação tem possibilitado experiências de aprendizagem mais personalizadas, interativas e adaptativas. Em contraste com simuladores comerciais de redes ópticas, que frequentemente exigem elevados custos de licenciamento e infraestrutura computacional robusta, o uso de modelos preditivos baseados em IA apresenta-se como uma alternativa mais acessível e eficiente para fins didáticos, reduzindo tanto os custos quanto o tempo necessário para a realização de simulações.

Nesse contexto, a integração entre a metodologia de ensino Sequência Fedathi e recursos tecnológicos inovadores, como simuladores educacionais com inteligência artificial embarcada, configura-se como uma abordagem promissora para superar limitações do ensino tradicional de Comunicações Ópticas. Tal integração favorece a criação de ambientes de aprendizagem mais dinâmicos, reflexivos e centrados no estudante.

Este estudo investiga a eficácia de uma intervenção didático-tecnológica no ensino de Comunicações Ópticas, fundamentada na integração da metodologia Sequência Fedathi ao simulador educacional *Optilearn*. Desenvolvida no Laboratório de Fotônica do IFCE (GOMES *et al.*, 2024), essa ferramenta utiliza inteligência artificial embarcada para otimizar o aprendizado. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa para avaliar o desempenho de estudantes de Engenharia de Telecomunicações, utilizando dados de pré e pós-testes analisados por meio do teste estatístico não paramétrico de *Wilcoxon*. Os resultados buscam evidenciar o impacto dessa sinergia pedagógica na formação técnica dos alunos.

1.1 A Sequência Fedathi como metodologia de ensino

A metodologia de ensino Sequência Fedathi, vem sendo usada e aperfeiçoada ao decorrer dos anos, inicialmente no ensino da Matemática, mas, ela demonstrou o seu uso em outras áreas como Física e Engenharia, segundo Borges Neto (2017). A

metodologia de ensino Sequência Fedathi é uma alternativa de ensino capaz de promover mudanças nas atitudes de docentes em outras áreas do conhecimento, conforme apontado por Borges Neto (2017).

Segundo Menezes (2018), a metodologia de ensino Sequência Fedathi coloca o professor como elemento central no processo de ensino, atribuindo-lhe o papel de mediador, o que promove a autonomia dos estudantes ao favorecer um ambiente propício ao diálogo e à investigação.

Segundo Torres (2018) e Souza (2013), a Sequência Fedathi é composta por quatro etapas distintas, sequenciais e interdependentes, conforme descrito a seguir.

Tomada de Posição: como o próprio nome indica, nesta etapa o professor apresenta a situação-problema ao discente, partindo de uma situação generalizável, ou seja, de uma circunstância possível de ser abstraída de seu contexto particular, para um modelo matemático genérico. É também nesse momento que são estabelecidos os acordos didáticos que orientarão o desenvolvimento da atividade.

Maturação: nesta fase, o aluno debruça-se sobre a atividade proposta, dedicando-se à sua realização. Trata-se de um momento destinado à discussão entre professor e alunos a respeito da situação-problema apresentada, no qual os discentes buscam compreendê-la e identificar possíveis caminhos para a sua resolução.

Solução: nesta etapa, o professor acompanha os alunos em seu processo de busca por soluções, podendo orientá-los quanto às estratégias mais adequadas e às diferentes formas de apresentação. Os alunos organizam e apresentam modelos ou procedimentos que os conduzam à resolução do problema proposto.

Prova: corresponde ao momento de sistematização das diversas soluções encontradas pelos discentes, consolidando os conceitos e procedimentos utilizados na resolução da situação-problema. Apresentação e formalização do modelo matemático a ser ensinado. Após as discussões realizadas a respeito das soluções dos alunos, o professor deverá apresentar o novo conhecimento como meio prático e otimizado para conduzir a resposta do problema.

Ressalta-se que cada uma das fases da Sequência Fedathi representa momentos distintos da aula e deve ocorrer de forma natural, repetindo-se quantas vezes forem necessárias, de acordo com o planejamento. Como consequência, o aluno desenvolve sua autonomia, pois, ao trilhar esse caminho, torna-se consciente

de sua capacidade de buscar e construir seu próprio conhecimento (MENEZES, 2018).

1.2 A inteligência artificial (IA) aplicada ao ensino

Segundo Russell e Norvig (2024), o conceito de inteligência artificial (IA) têm tido historicamente diversos sentidos, alguns têm definido a inteligência em termos de fidelidade ao desempenho humano, enquanto outros preferem uma definição abstrata e formal da inteligência – chamada de *racionalidade* – em termos gerais, fazer “a coisa certa”. O tema em si também varia: alguns consideram a inteligência como uma propriedade dos *processos de pensamentos e raciocínios internos*, enquanto outros enfocam o *comportamento* inteligente, uma caracterização externa (RUSSELL; NORVIG, 2024).

Ainda segundo Russell e Norvig (2024), dentre as duas dimensões da IA – humano contra racional, pensamento contra comportamento – existem quatro combinações possíveis, com adeptos e programas de pesquisas para todas as quatro. Os métodos utilizados e citados por Russell e Norvig (2024), são necessariamente diferentes: a busca da inteligência semelhante à humana deve ser em parte uma ciência empírica relacionada à psicologia, envolvendo observações e hipóteses sobre o comportamento humano real e os processos de pensamento; uma abordagem racionalista, por outro lado, envolve uma combinação de engenharia e matemática, que se conecta a estatística, teoria de controle e economia. Cada grupo tem acreditado e ajudado o outro.

Atualmente a inteligência artificial (IA) tem sido objeto de grande interesse e avanços em diversas áreas, e a educação não é uma exceção. Nos últimos anos, observa-se um interesse crescente na aplicação da IA no contexto educacional, o que tem proporcionado novas oportunidades e desafios para o ensino (RUSSELL; NORVIG, 2024). A capacidade da IA de analisar dados, realizar inferências, automatizar tarefas e interagir com os alunos apresenta um potencial significativo para transformar o cenário educacional (RUSSELL; NORVIG, 2024).

A aplicação da inteligência artificial (IA) no ensino tem evoluído consideravelmente, passando de abordagens iniciais, centradas em sistemas de tutoria inteligente, para o desenvolvimento de ambientes de ensino personalizados e

adaptativos, capazes de atender às necessidades individuais dos alunos (RUSSELL; NORVIG, 2024).

Além disso, as aplicações da IA no ensino expandiram-se para diversas disciplinas e níveis educacionais, abrangendo desde a educação básica até o ensino superior e a formação profissional (SIEMENS; GAŠEVIĆ; DAWSON, 2015). O uso da IA no ensino também tem buscado compreender as principais tendências, contribuições e desafios dessa abordagem. Estudos recentes exploram a aplicação da IA em diferentes contextos educacionais, incluindo o ensino presencial, a educação a distância e o ensino online (CHEN; CHEN; LIN, 2020).

Nessa perspectiva de Chen, Chen e Lin (2020), destacam-se os avanços tecnológicos que têm impulsionado o uso da IA no ensino, como o desenvolvimento de algoritmos de *Machine Learning* (ML) e *Deep Learning* (DL), a disponibilidade de grandes volumes de dados educacionais e a melhoria das interfaces de interação humano-computador. Além disso, são discutidos os benefícios potenciais da IA no ensino e na educação, incluindo a personalização do aprendizado, a identificação de padrões de desempenho dos alunos e a criação de ambientes educacionais mais eficientes e eficazes. Nesta perspectiva, vamos nos aprofundar no uso do ML aplicado na área de ensino, conforme a seguir.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo fundamenta-se na aplicação da Sequência Fedathi no ensino de Comunicações Ópticas, articulada ao uso do simulador educacional *Optilearn*. Esta ferramenta, que conta com inteligência artificial embarcada, atua como suporte didático para o estudo de redes ópticas, permitindo o cálculo da Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER) e do Fator Máximo de Qualidade (MAX_Q_FACTOR). Por meio dessa integração, os discentes podem analisar, de forma prática e interativa, o impacto das variáveis de atenuação e dispersão no desempenho dos sistemas ópticos. A seguir, detalham-se os procedimentos de uso do simulador em consonância com as etapas da Sequência Fedathi.

2.1 Participantes da pesquisa

Participaram do objeto desta pesquisa, setenta e um (71) alunos regularmente matriculados, sendo quarenta e dois (42) alunos do terceiro semestre do curso de Engenharia de Telecomunicações e vinte e nove (29) estudantes de cursos afins, ambos ofertados pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Fortaleza. Os alunos ainda não tinham cursado previamente a disciplina de Comunicações Ópticas, logo, ainda não tinham tido o conhecimento sobre redes ópticas.

Esta pesquisa obteve a autorização para sua realização do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE, através do parecer consubstanciado número 6533946 (anexo A). Em conformidade com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ver anexo C) e com os procedimentos estabelecidos pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE, assegurou-se o anonimato dos participantes desta pesquisa. Todos os sujeitos desta pesquisa assinaram o TCLE de forma espontânea e voluntária.

Os critérios de inclusão abrangeram estudantes com matrícula ativa nas disciplinas envolvidas e que assinaram o TCLE, garantindo a conformidade ética e a pertinência da amostra em relação aos objetivos do estudo.

Por sua vez, foram adotados como critérios de exclusão os casos de alunos ausentes ou desistentes durante a intervenção, estudantes que não pertenciam às turmas previamente selecionadas ou aqueles que já tinham cursado a disciplina de Comunicações Ópticas.

2.3 Simulador educacional de inteligência artificial embarcada (*OPTILEARN*)

Desenvolvido no Laboratório de Fotônica do IFCE, o *Optilearn* (GOMES *et al.*, 2024) é um simulador educacional fundamentado em inteligência artificial (IA) voltado ao cálculo de parâmetros críticos em redes ópticas. A ferramenta utiliza modelos preditivos para estimar o Fator Máximo de Qualidade (MAX_Q_FACTOR) e a Mínima Taxa de Erro de Bit (MIN_BER). Conforme ilustrado na figura 1, a interface permite ao usuário configurar a simulação através dos seguintes módulos:

- a) seleção do modelo: escolha entre algoritmos de regressão como *Random Forest*, *Decision Tree* e *Gradient Boosting*;

- b) proporção de treinamento: ajuste da base de dados para o aprendizado de máquina (entre 10% e 90%), visando otimizar a capacidade de generalização do modelo;
- c) variáveis de entrada: inserção de parâmetros físicos como atenuação (0,1 a 0,6 dB/km), dispersão inicial e final (12,75 a 17,75 ps/nm/km) e o respectivo incremento de variação.

Após a parametrização, o comando 'Calcular Previsão' aciona o processamento dos dados pelo modelo de *Machine Learning*, gerando instantaneamente os indicadores de desempenho da rede óptica.

Figura14 - Interface do simulador Optilearn com modelo preditivo baseado em IA para redes ópticas.



Fonte: Elaborado por Gomes et al. (2024).

2.4 Intervenção pedagógica e conteúdo abordados

A intervenção pedagógica foi alicerçada na metodologia de ensino Sequência Fedathi, estruturando-se em suas quatro etapas interdependentes: Tomada de Posição, Maturação, Solução e Prova. Com o suporte do simulador *Optilearn*, a intervenção visou investigar a eficácia dessa abordagem no ensino de conceitos fundamentais de Redes Ópticas. O propósito central foi fomentar a compreensão aplicada dos efeitos da atenuação e da dispersão sobre o desempenho sistêmico, estimulando, simultaneamente, o desenvolvimento de habilidades analíticas e investigativas nos estudantes. As sessões didáticas que operacionalizam essa integração são detalhadas a seguir.

2.4.1 Aplicação da 1ª sessão didática

O principal objetivo dessa sessão foi promover a discussão dos conceitos relacionados à atenuação em redes ópticas.

Após o docente estabelecer o acordo didático com os estudantes, reforçando quais devem ser os compromissos que devem ser cumpridos para um melhor desenvolvimento desta sessão didática. O docente identificou os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema de atenuação em redes ópticas, procedimento denominado *Plateau* na Sequência Fedathi. A identificação do *Plateau* é considerada fundamental para o êxito da atividade didática, pois permite verificar os conhecimentos previamente construídos pelos discentes.

Para essa identificação, foram propostos os seguintes questionamentos:

- a) Poderiam os participantes compartilhar os seus conhecimentos prévios sobre atenuação em redes ópticas?
- b) Quais os tipos de atenuação em redes ópticas?
- c) Como a distância da Fibra Óptica pode afetar a atenuação em redes ópticas?

A etapa seguinte desta sessão didática consistia na apresentação de uma situação-problema sobre como a atenuação em uma fibra óptica interfere no desempenho das redes ópticas. O professor apresentou aos discentes uma situação-problema contextualizada, sobre o conceito de atenuação, dentro do conteúdo de Comunicações Ópticas. O problema de como a atenuação interfere numa rede óptica era proposto no formato de desafio, e os alunos, organizados em equipes, dedicavam-se à análise e à ponderação das diversas abordagens possíveis para a resolução. A apresentação da situação problema configura a tomada de posição, na sequência Fedathi (PRATA, 2023).

Após a proposição das questões, os alunos foram organizados em equipes para discutir e elaborar possíveis respostas. Foi concedido um tempo para a consolidação das ideias e posterior socialização com a turma. Durante todo o processo, o professor realizou observações e avaliações qualitativas das competências desenvolvidas, mantendo a postura denominada “mão no bolso” (MENEZES, 2018), caracterizada pela mediação por meio de questionamentos e contraexemplos, sem fornecer respostas prontas.

Após a socialização das respostas, foi lançada uma nova situação-problema: Quais são as formas de calcular a atenuação de uma fibra óptica? Os alunos, novamente organizados em equipes de até cinco integrantes, discutiram as possíveis soluções. Posteriormente, foi realizada uma breve exposição de conceitos básicos sobre fibra óptica, seguida de um período destinado à discussão coletiva nas equipes, esta etapa correspondente à Maturação da Sequência Fedathi.

Na sequência, cada equipe apresentou suas conclusões à turma, caracterizando a etapa de solução, com participação ativa tanto das equipes apresentadoras quanto das demais, que formularam questionamentos e observações. Ao final desse processo, o professor conduziu a sistematização do conhecimento, apresentando a formulação matemática correta para o cálculo da atenuação em redes ópticas, esta etapa é denominada de prova na Sequência Fedathi.

A apresentação da situação-problema, atenuação aplicada em redes ópticas, caracterizou a etapa de tomada de posição. O trabalho em equipe e a discussão coletiva corresponderam à etapa de maturação, enquanto a socialização das respostas configurou a etapa de solução. A sistematização final dos conceitos de atenuação aplicada em redes ópticas, conduzida pelo docente, representou a etapa de prova da Sequência Fedathi.

2.4.2 Aplicação da 2ª sessão didática

Na segunda sessão didática, mantendo-se o acordo didático estabelecido anteriormente, o docente identificou os conhecimentos prévios dos alunos acerca do conceito de dispersão em redes ópticas, procedimento novamente caracterizado como *Plateau*.

Para essa identificação, foram propostos os seguintes questionamentos:

- a) Poderiam os participantes compartilhar os seus conhecimentos prévios sobre a dispersão em redes ópticas?
- b) Quais os tipos de dispersão em redes ópticas?
- c) Como a distância da fibra óptica pode afetar a dispersão em redes ópticas?

Após esta etapa inicial, foi feita a apresentação de uma situação-problema relacionada ao conceito de dispersão em redes ópticas. O professor apresentou uma situação-problema contextualizada sobre como a dispersão da fibra óptica interfere

no desempenho de uma rede óptica, com o objetivo de estimular a participação ativa dos discentes. O problema foi proposto no formato de desafio, com os alunos organizados em equipes, de até 5 (cinco) estudantes, para análise e discussão das possíveis abordagens de resolução. Conforme Aquino (2025), essa etapa corresponde à tomada de posição na metodologia da Sequência Fedathi.

Após a discussão inicial, na etapa da tomada de posição, na etapa seguinte a Maturação na Sequência Fedathi os estudantes ainda em equipes, os alunos debruçaram sobre a situação-problema e iniciaram as discussões, e o professor mediador agiu de forma “fedathiana”, mediando com perguntas e contraexemplos, durante esse processo, o professor manteve a postura “mão no bolso”, mediando as discussões por meio de perguntas orientadoras, conforme Aquino (2025).

Após a etapa anterior da maturação na Sequência Fedathi, cada equipe apresentou suas conclusões sobre a situação-problema, a ideia era que as equipes socializassem o que foi discutido e apresentado para as demais equipes os conceitos discutidos por cada equipe, caracterizando a etapa de solução. Ao final, o professor sistematizou o conteúdo de todas as equipes, apresentando os diferentes tipos de dispersão que podem ocorrer em fibras ópticas.

A apresentação da situação-problema, dispersão aplicada em redes ópticas, caracterizou a etapa de tomada de posição. O trabalho em equipe e a discussão coletiva corresponderam à etapa de maturação, enquanto a socialização das respostas configurou a etapa de solução. A sistematização final dos conceitos de dispersão aplicada em redes ópticas, conduzida pelo docente, representou a etapa de prova da Sequência Fedathi.

2.4.3 Aplicação da 3ª sessão didática

Na terceira sessão didática mantendo-se o acordo didático estabelecido anteriormente nas sessões didáticas, foi feita com os estudantes a identificação o *Plateau* sobre os conceitos do MIN_BER e MAX_Q_FACTOR, para isso foi realizado o seguinte questionamento: Poderiam os estudantes compartilharem os seus conhecimentos prévios sobre o cálculo de MIN_BER e MAX_Q_FACTOR em redes ópticas?

Depois da etapa inicial, o professor faz a apresentação de uma situação-problema relacionada ao cálculo da MIN_BER e do MAX_Q_FACTOR em redes ópticas. O professor apresentou uma situação-problema contextualizada, destacando a importância desses parâmetros MIN_BER e do MAX_Q_FACTOR para o desempenho das redes ópticas, com o objetivo de estimular a participação ativa dos alunos. O problema foi proposto no formato de desafio, com os discentes organizados em equipes para análise e discussão.

Após lançado a situação problema, os alunos foram divididos em equipes de até cinco (5) alunos, para a discussão da solução. Foi dado um tempo para que houvesse o diálogo interno das equipes, entre seus membros, chamada de fase de maturação. Somente após essa mobilização inicial dos saberes dos alunos, foi apresentado a plataforma de simulação de IA (*OPILEARN*) que simula alguns parâmetros de atenuação e dispersão numa rede óptica.

Logo após a demonstração do simulador *OPTILEARN*, foi solicitado para que as equipes fizessem as próprias simulações, o professor agia de forma “fedathiana”, com a postura “mão no bolso”, mediando perguntas e contraexemplos.

Após as simulações de cada equipe, os alunos foram convidados a apresentar os resultados obtidos e a discutir, em grupo, os diferentes comportamentos observados nas curvas de MIN_BER e MAX_Q_FACTOR. O docente atuou como mediador do debate, comparando os resultados, apontando eventuais equívocos e favorecendo a construção coletiva do conhecimento. A heterogeneidade das respostas foi utilizada como recurso pedagógico, com o objetivo de promover discussões mais ricas, críticas e aprofundadas.

Por fim, o professor conduziu a sistematização dos conceitos abordados, promovendo a formalização matemática dos parâmetros estudados, valores de MIN_BER e MAX_Q_FACTOR e suas relações com o desempenho das redes ópticas. Foram apresentadas definições formais e expressões teóricas, com o objetivo de consolidar o conteúdo aprendido de forma estruturada e generalizável.

A apresentação da situação-problema, conceitos sobre MIN_BER e MAX_Q_FACTOR aplicados em redes ópticas, caracterizou a etapa de Tomada de Posição. O trabalho em equipe e a discussão coletiva corresponderam à etapa de Maturação, enquanto a socialização das respostas configurou a etapa de Solução. A sistematização final dos conceitos de MIN_BER e MAX_Q_FACTOR aplicados em

redes ópticas, conduzida pelo docente, representou a etapa de Prova da Sequência Fedathi.

As intervenções didáticas foram aplicadas ao longo de três sessões didáticas, com duração de 120 minutos cada, contando com o apoio de recursos complementares, como guias de uso do simulador de inteligência artificial *Optilearn*, roteiros de exploração e planilhas para análise dos dados obtidos da saída da simulação com o *Optilearn*. Essa abordagem permitiu uma integração efetiva entre teoria e prática, valorizando o pensamento crítico e a construção ativa do conhecimento técnico em comunicações ópticas por parte dos estudantes.

3 RESULTADOS DOS TESTES APLICADOS

3.1 Análise estatística e testes de normalidade

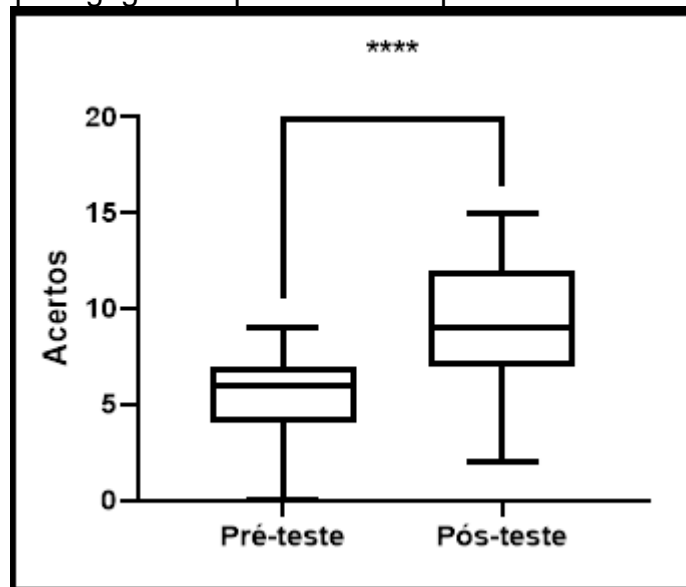
Para avaliar a eficácia da intervenção, aplicou-se um pré-teste e um pós-teste, ambos compostos por 15 questões de múltipla escolha. Inicialmente, a distribuição dos acertos foi analisada pelo teste de Shapiro-Wilk para determinar a natureza dos dados.

Os resultados indicaram que o pré-teste violou a suposição de normalidade ($p = 0,0016$), enquanto o pós-teste apresentou distribuição normal ($p = 0,0884$). Devido ao caráter pareado das amostras e à ausência de normalidade em um dos grupos, optou-se pelo uso do teste não paramétrico de *Wilcoxon*. Esta abordagem garante maior robustez estatística e confiabilidade na comparação das medianas antes e após a intervenção.

3.2 Estatística descritiva

Os resultados do desempenho acadêmico, representados pelo número de acertos, estão sintetizados no gráfico 1 e detalhados a seguir:

Gráfico 1 - Resultados da intervenção pedagógica no pré-teste e no pós-teste.



Fonte: Autoria própria.

No gráfico 1 podemos observar algumas leituras no pré-teste:

- a) mediana (Q2): a linha central dentro da caixa está em torno de 6 acertos, indicando o valor típico;
- b) 1º quartil (Q1): a base da caixa está próxima de 5 acertos, ou seja, 25% dos alunos tiveram ≤ 5 acertos;
- c) 3º quartil (Q3): o topo da caixa está em torno de 7 acertos, ou seja, 75% dos alunos tiveram ≤ 7 acertos;
- d) amplitude interquartilica ($AIQ = Q3 - Q1$): ≈ 2 , mostrando que a maioria das notas no pré-teste concentrou-se entre 5 e 7 acertos;
- e) extremos (bigodes): vão de 0 até cerca de 9, representando os valores mínimos e máximos (sem outliers).

Ainda no gráfico 1 podemos observar algumas leituras no pós-teste.

- a) mediana (Q2): a linha central está em torno de 9 acertos, mostrando melhora em relação ao pré-teste;
- b) 1º quartil (Q1): $\approx 7-8$ acertos, ou seja, 25% dos alunos ficaram abaixo desse valor;
- c) 3º quartil (Q3): ≈ 12 acertos, mostrando que 75% dos alunos tiveram até 12 acertos;
- d) $AIQ (Q3 - Q1)$: ≈ 4 , indicando maior dispersão das notas em relação ao pré-teste;

- e) extremos (bigodes): variam de ≈ 2 até ≈ 15 acertos, sugerindo maior amplitude total.

3.3 Análise inferencial e correlação

Continuando com os resultados do teste estatístico não paramétrico de Wilcoxon, temos outros dados descritivos obtidos a partir das respostas dos alunos, conforme mostrado na tabela 1:

Tabela 1 - Resultados obtidos através do Teste de *Wilcoxon*.

P value	<0,001
Exact or approximate P value?	Exact
P value summary	****
Significantly diferente (P < 0.05)?	Yes
One – or two – tailed P value?	Two-tailed
Sum of positive, negative ranks	1921, -95,00
Sum of signed ranks (W)	1826
Number of pairs	71
Number of ties (ignored)	8

Fonte: A autoria própria.

A comparação entre os dois momentos, pré-teste e pós-teste, revelou uma diferença estatisticamente significativa, ($W = 1826$; $n = 71$ pares; $p < 0,0001$), evidenciando que o desempenho no pós-teste foi superior ao do pré-teste. Observou-se predominância de postos positivos ($\Sigma r^+ = 1921$) em relação aos negativos ($\Sigma r^- = -95$), reforçando a tendência de melhora, enquanto oito empates foram desconsiderados da análise. Esses achados sugerem um efeito robusto da intervenção educacional, corroborando a eficácia da estratégia aplicada.

O valor de $p < 0,0001$, resultante de um teste bicaudal e exato, indica uma diferença estatisticamente significativa entre os dois momentos avaliativos. Essa precisão reforça a confiabilidade dos dados e evidencia uma melhora consistente no desempenho dos estudantes após a intervenção.

A diferença de três (3,0) pontos observados entre as medianas do pré-teste e do pós-teste revela uma tendência central clara de progresso individual. Tal resultado valida não apenas a eficácia da metodologia adotada, mas também demonstra um impacto educacional concreto e relevante, indicando que os alunos assimilaram e aplicaram os conteúdos com maior segurança e autonomia após a utilização da

metodologia de ensino Sequência Fedathi, aliada ao uso do simulador educacional *Optilearn*.

Além disso, a eficácia do pareamento entre os escores do pré-teste e do pós-teste foi verificada por meio da correlação de *Spearman*, conforme observamos na tabela 2. Os resultados apontaram uma correlação positiva e estatisticamente significativa ($r_s = 0,23$; $p = 0,0267$; unilateral), ainda que de magnitude fraca. Esse resultado confirma que os valores do pré e do pós-teste apresentaram associação consistente, justificando a adoção de um procedimento estatístico para dados dependentes. Assim, conclui-se que o pareamento foi significativamente eficaz, fortalecendo a validade do uso do teste de Wilcoxon na comparação entre os dois momentos avaliados.

Tabela 2 - Valores de correlação entre os dados.

Rs (Speaman)	0,2303
P value (onde tailed)	0,0267
P value summary	*
Was the pairing significantly effective?	Yes

Fonte: Autoria própria.

De forma geral, os dados reforçam que a integração entre a metodologia de ensino Sequência Fedathi e o simulador educacional *Optilearn* não apenas promoveu um ambiente de ensino mais participativo e dinâmico, mas também resultou em ganhos mensuráveis na mediana dos testes, com consistência estatística e relevância pedagógica.

3.4 Discussão dos resultados

As evidências dos testes aplicados confirmam que a integração da Sequência Fedathi ao simulador *Optilearn* promoveu ganhos mensuráveis no desempenho acadêmico. A análise estatística, realizada por meio do teste de *Wilcoxon* ($p < 0,0001$), ratifica que a melhora observada não ocorreu ao acaso, mas reflete a eficácia da intervenção didática proposta. Assim, os resultados evidenciam uma diferença estatisticamente significativa entre o desempenho inicial e o final dos alunos.

O aumento médio de três (3,0) pontos entre a mediana do pré-teste e do pós-teste reforça que os alunos foram capazes de assimilar mais efetivamente os

conceitos abordados e aplicar os conhecimentos adquiridos com maior precisão ao final da intervenção.

Para além dos números, a aplicação revelou que o uso da Sequência Fedathi, mediado pelo simulador *Optilearn*, favoreceu o protagonismo discente. O ambiente tornou-se mais dinâmico e investigativo, permitindo que os alunos assimilassem conceitos complexos de atenuação e dispersão com maior autonomia. Ao contrário do ensino tradicional, essa abordagem da Sequência Fedathi estimulou o pensamento crítico e a capacidade analítica, competências essenciais para a Engenharia de Telecomunicações.

Conclui-se que a sinergia entre a Sequência Fedathi mediado pelo simulador *Optilearn* possui um potencial transformador, validado aqui tanto pela robustez estatística quanto pela relevância pedagógica observada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que a integração da Sequência Fedathi ao simulador *Optilearn* promoveu avanços expressivos no ensino de comunicações ópticas. A análise quantitativa ratificou essa eficácia ao revelar um ganho de desempenho robusto entre o pré-teste e o pós-teste. Tais achados confirmam uma diferença estatisticamente significativa entre o desempenho inicial e o final dos alunos, demonstrado no teste estatístico de Wilcoxon, validando a efetividade da intervenção pedagógica realizada.

A incorporação do simulador *Optilearn* ao ambiente didático não apenas simplificou a interpretação de fenômenos complexos, como atenuação e dispersão, mas também atuou como catalisadora de habilidades investigativas e analíticas nos estudantes. O uso do simulador como suporte à mediação docente revelou-se uma estratégia eficaz para elevar a compreensão conceitual e o engajamento discente, superando as limitações dos métodos tradicionais.

Em suma, a abordagem proposta configura-se como uma estratégia inovadora e replicável, apta a ser adaptada para outros domínios das ciências exatas e tecnológicas. Recomenda-se, portanto, a ampliação de investigações que explorem simuladores educacionais baseados em IA e a metodologia de ensino Sequência

Fedathi, visando consolidar práticas digitais avançadas que atendam às demandas contemporâneas da educação superior e profissional.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Eliene Alves de. **Avaliação de aprendizagem por competências no ensino de ciências: a sequência Fedathi e as metodologias ativas**. 2025. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Morfofuncionais) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/81894>. Acesso em: 8 ago. 2025.

BORGES NETO, Hermínio. (org.). **Sequência Fedathi além das ciências duras**. Curitiba: CRV, 2017.

CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 75264-75278, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9069875>. Acesso em: 11 fev. 2024.

GOMES, Sebastião Elvis *et al.* Um desenvolvimento de aplicativo para predição de parâmetros de redes de comunicações ópticas voltado para o ensino. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 21, n. 13, p. e11507, 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/11507>. Acesso em: 24 out. 2025.

MENEZES, Daniel Brandão. **O ensino do cálculo diferencial e integral na perspectiva da sequência Fedathi: caracterização do comportamento de um bom professor**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Educação Brasileira) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2018.

PRATA, Glessiane Coeli Freitas Batista. **A formação de professores de matemática: a tomada de consciência como interseção entre letramento matemático, sequência Fedathi e a teoria da objetivação**. 2023. 181 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Brasileira, Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach**. 2 nd. New Jersey: Pearson, 2016.

SIEMENS, George; GAŠEVIĆ, Dragan; DAWSON, Shane. **Preparing for the digital university: a review of the history and current state of distance, blended, and online learning**. Athabasca AB Canada: Athabasca University Press, 2015. Disponível em: https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/256525723/256524746_oa.pdf. Acesso em: 26 out. 2023.

SOUZA, Maria José Araújo. Sequência FEDATHI: apresentação e caracterização. *In*: SOUSA, Francisco Edisom Eugenio de *et al.* **Sequência FEDATHI: uma proposta pedagógica para o ensino de ciências matemáticas**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

p. 15-47.

TORRES, Antonia Lis de Maria Martins. **Laboratório de multimeios entre gigas e megabytes:** (re) criando percursos formativos. Fortaleza: Edições UFC, 2018.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese investigou a interseção entre a IA e o ensino de Comunicações Ópticas na Engenharia, culminando na validação de uma proposta pedagógica que associa a metodologia Sequência Fedathi ao uso de simuladores baseados em modelos preditivos de IA.

O ponto de partida desta pesquisa, consolidado no artigo 1, consistiu em uma revisão sistemática da literatura que mapeou a produção científica sobre o uso da IA no ensino dentro dos programas brasileiros de pós-graduação *stricto sensu*. O estudo revelou um crescimento expressivo nessas publicações, especialmente a partir de 2022. Geograficamente, a produção concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, com contribuições notórias de instituições como USP, UNESP, UNB e UCS e as áreas de conhecimento com maior frequência de estudos foram Ensino/Educação, Ensino de Ciências e Ensino de Matemática. Por fim, a distribuição de autoria apontou uma ligeira prevalência de pesquisadores homens, embora a participação feminina se mantenha próxima.

O estudo subsequente, detalhado no artigo 2, investigou a aplicação da Sequência Fedathi no ensino de física e outras ciências exatas. O trabalho reforçou achados da literatura que posicionam a SF como uma metodologia eficaz para ser adaptada ao ensino de engenharia e física. Através de suas fases naturais e repetíveis, a SF permite que o aluno desenvolva autonomia, tornando-se consciente de sua capacidade de construir o próprio conhecimento.

Nesta pesquisa, demonstrou-se que a utilização da IA como substituto do software *Optisystem*® é economicamente mais viável, por ser gratuita, e tecnicamente eficiente, reduzindo o tempo de processamento de dados. No artigo 3, os resultados obtidos com o simulador *Optilearn* indicaram que os modelos preditivos DTR e RFR apresentaram desempenhos satisfatórios e semelhantes, com taxas de erro dentro de limites aceitáveis. Ambos foram capazes de prever consistentemente variáveis de atenuação e distorção na propagação da luz, destacando a importância da escolha adequada do modelo preditivo para otimizar o processo de ensino com a SF.

As descobertas do artigo 4 confirmaram, de forma estatística, que a aplicação da Sequência Fedathi em sinergia com o simulador *Optilearn* constitui uma estratégia pedagógica eficaz. Os dados estabelecem que a integração dessas ferramentas

contribuiu de maneira significativa para o aprimoramento do ensino em cursos de Engenharia de Telecomunicações e afins.

A análise realizada por meio do teste de *Wilcoxon* ($p < 0,0001$) ratifica que a melhora observada não ocorreu ao acaso, refletindo a eficácia da intervenção didática. O aumento de três (3,0) pontos entre as medianas do pré-teste e do pós-teste reforça que os alunos assimilaram os conceitos com maior precisão e autonomia ao final da intervenção.

As possibilidades de trabalhos futuros decorrem da limitação de tempo para aplicação em um maior número de turmas e instituições. Pretende-se aprimorar a robustez do simulador *Optilearn* para contemplar mais variações de parâmetros reais de redes ópticas. Além disso, sugere-se a expansão do estudo através de grupos de controle para permitir uma análise comparativa ainda mais detalhada entre o método proposto e o ensino tradicional.

Este estudo reitera que a modernização das práticas de ensino nas engenharias é fundamental para a comunidade acadêmica. É imperativo investir em metodologias de ensino como a Sequência Fedathi para aprimorar o aprendizado e reduzir as taxas de evasão. A próxima fronteira pedagógica reside na integração de metodologias de ensino com novos simuladores inovadores e na introdução estratégica da IA como ferramenta de apoio didático. Somente através desse esforço multidimensional será possível formar profissionais preparados para os complexos desafios da engenharia moderna.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Govind P. **Sistemas de comunicação por fibra óptica**. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2014.

ALVES, Francisco Regis Vieira; CALDERÓN, Adolfo Ignacio Calderón. Do PhD tradicional ao PhD por publicações: análise histórico-comparativa internacional e proposição de parâmetros. **SciELO Preprints**, 2025. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/13767>. Acesso em: 30 out. 2025.

AQUINO, Eliene Alves de. **Avaliação de aprendizagem por competências no ensino de ciências: a sequência Fedathi e as metodologias ativas**. 2025. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Morfofuncionais) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/81894>. Acesso em: 8 ago. 2025.

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton, 1963.

BOOTE, David N.; BEILE, Penny. Scholars before researchers: on the centrality of the dissertation literature review in research preparation. **Educational Researcher**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 3-15, 2005. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3102/0013189X034006003>. Acesso em: 11 fev. 2024.

BORGES NETO, Hermínio (org.). **Sequência Fedathi: fundamentos**. Curitiba: CRV, 2018. 3 v.

BORGES NETO, Hermínio. **Uma proposta lógico-construtiva-dedutiva para o ensino de matemática**. 2016. 28 f. Tese (Ascensão a Professor Titular) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BORGES NETO, Hermínio (org.). **Sequência Fedathi: além das ciências duras**. Curitiba: CRV, 2017.

BORREGO, Maura; FOSTER, Margareth J.; FROYD, Jeffrey. E. Systematic literature reviews in engineering education and other developing interdisciplinary fields. **Journal of Engineering Education**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 45-76, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jee.20038>. Acesso em: 11 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Documento Orientador de APCN**. Área 46: ensino. Brasília: MEC: CAPES, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/ensino1.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.

CATHRIN, Shely; WIKANDARU, Reno. The future of character education in the era of artificial intelligence. **Humanika: Kajian Ilmiah Mata Kuliah Umum**, [s. l.], v. 23,

n. 1, p. 91-100, 2023. Disponível em:
<https://jurnal.uny.ac.id/index.php/humanika/article/view/59741>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CHEN, Lijia; CHEN, Pingping; LIN, Zhijian. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 75264-75278, 2020. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9069875>. Acesso em: 11 fev. 2024.

COSTA, Alan Júnior da Silva *et al* (org.). **Matemática e suas possibilidades: ensino, pesquisa, formação docente e práticas pedagógicas**. Iguatu-CE: Quipá Editora, 2024. 4 v.

CRESWELL, John W; CRESWELL. J. David. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5. ed. Porto Alegre: Penso Editora, 2021.

DUKE, Nell K.; BECK, Sarah W. Research news and comment: education should consider alternative formats for the dissertation. **Educational Researcher**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 31-36, 1999.

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

FONTENELE, Francisca Cláudia Fernandes. **A sequência Fedathi no ensino da álgebra linear: o caso da noção de base de um espaço vetorial**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2013.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 1991.

GOMES, Sebastião Elvis *et al*. Um desenvolvimento de aplicativo para predição de parâmetros de redes de comunicações ópticas voltado para o ensino. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 21, n. 13, p. e11507, 2024. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/11507>. Acesso em: 24 out. 2025.

GOMES, Sebastião Elvis; GUIMARÃES, Glendo de Freitas. A pesquisa na pós-graduação stricto sensu acerca do uso de inteligência artificial no ensino: uma revisão sistemática de literatura. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 22, n. 13, p. e21406, 2025. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/21406>. Acesso em: 25 nov. 2025.

KENDALL, Maurice G. **Rank correlation methods**. 4th ed. London: Charles Griffin & Co, 1975.

KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele: Keele University, 2004. Disponível em:
https://www.elsevier.com/___data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf. Acesso em: 11 fev. 2024.

LIMA, S. A. de *et al.* O ensino de cálculo diferencial e integral em um curso de administração: principais dificuldades de aprendizagem dos alunos. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, IV.*, 2014, Ponta Grossa-PR. **Anais [...]**. Ponta Grossa-PR: UTFPR, 2014.

MAULUD, Dastan; ABDULAZEEZ, Adnan M. A review on linear regression comprehensive in machine learning. **Journal of Applied Science and Technology Trends**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 140-147, 2020. Disponível em: <https://jastt.org/index.php/jasttpath/article/view/57>. Acesso em: 26 out. 2023.

MELLO, Luiz Brasil; MAGALHÃES, Rachel Madeira; COSTA, Isa Gomes da. A utilização de metodologias ativas nos cursos de engenharia de produção nas universidades federais da região sudeste: uma avaliação crítica. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 42, 2023. Disponível em: <https://revista.abenge.org.br/index.php/abenge/article/view/2163/1152>. Acesso em: 13 out. 2025.

MENDES, Iran Abreu. **História da matemática no ensino**: entre trajetórias, epistemologias e pesquisas. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

MENEZES, Daniel Brandão. **O ensino do cálculo diferencial e integral na perspectiva da sequência Fedathi**: caracterização do comportamento de um bom professor. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Educação Brasileira) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro Editora, 2010.

MORELATTI, Maria Raquel Mito. **Criando um ambiente construcionista de aprendizagem em cálculo diferencial e integral I**. 2001. 260 f. Tese (Doutorado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2001.

MUTTI, Gabriele de Sousa Lins; KLÜBER, Tiago Emanuel. Formato multipaper nos programas de pós-graduação stricto sensu brasileiros das áreas de educação e ensino: um panorama. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESQUISA E ESTUDOS QUALITATIVOS, SIPEQ, 5.*, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: SEPQ; UNIOESTE, 2018.

PINHEIRO, Elisângela; DICKMANN, Ivo; MULLER, Felipe Martins. Metodologias ativas no ensino da engenharia de produção: aprendizagem baseada em experiências (ABEX). **Revista de Ensino de Engenharia**, [s. l.], v. 42, 2023. Disponível em: <https://revista.abenge.org.br/index.php/abenge/article/view/2110/1134>. Acesso em: 24 jun. 2025.

PRATA, Glessiane Coeli Freitas Batista. **A formação de professores de matemática**: a tomada de consciência como interseção entre letramento matemático, sequência Fedathi e a teoria da objetivação. 2023. 181 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Brasileira, Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach**. 2 nd. New Jersey: Pearson, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76348>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SARKER, Iqbal H. Machine learning: algorithms, Real-World applications and research directions. **SN Computer Science**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 160, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-021-00592-x>. Acesso em: 26 out. 2023.

SIEMENS, George; GAŠEVIĆ, Dragan; DAWSON, Shane. **Preparing for the digital university: a review of the history and current state of distance, blended, and online learning**. Athabasca AB Canada: Athabasca University Press, 2015. Disponível em: https://researchmgt.monash.edu/ws/portalfiles/portal/256525723/256524746_oa.pdf. Acesso em: 26 out. 2023.

SOARES, Thiago Arrais; NOBRE, Francisco Augusto Silva. A contribuição da sequência de ensino Fedathi no processo de ensino e aprendizagem em física. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 37–53, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7071>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SOUSA, Francisco Edisom Eugenio de *et al.* (org.). **Sequência Fedathi: uma proposta pedagógica para o ensino de Ciências e Matemática**. Fortaleza: Edições UFC, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47513>. Acesso em: 26 out. 2024.

SOUSA NETO, Miguel Leocádio de *et al.* Impacto dos cursos introdutórios de cálculo diferencial e integral para estudantes de engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, [s. l.], v. 41, p. 412-421, 2022. Disponível em: <https://revista.abenge.org.br/index.php/abenge/article/view/1803/1105>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SOUZA, Luzia Aparecida de. **Trilhas na construção de versões históricas sobre um grupo escolar**. 2011. 420 f. Tese (Doutorado em Educação Matemática) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, São Paulo, 2011.

SOUZA, Maria José Araújo. Sequência FEDATHI: apresentação e caracterização. *In*: SOUSA, Francisco Edisom Eugenio de *et al.* **Sequência FEDATHI: uma proposta pedagógica para o ensino de ciências matemáticas**. Fortaleza: Edições UFC, 2013. p. 15-47.

TALIM, Sérgio Luiz. A atitude no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 313-324, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6422>. Acesso em: 17 mai. 2021.

TORRES, Antonia Lis de Maria Martins. **Laboratório de multimeios entre gigas e megabytes: (re) criando percursos formativos**. Fortaleza: Edições UFC, 2018.

APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA

1 ARTIGOS PUBLICADOS

ARTIGO 1

Título: A pesquisa na pós-graduação stricto sensu acerca do uso de inteligência artificial no ensino: uma revisão sistemática de literatura

Link: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/21406>

DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n13-105>

Revista: REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO - ISSN: 1983-0882 - A2 CAPES

ARTIGO 2

Título: A proposed Fedathi teaching sequence and the use of artificial intelligence techniques applied to the teaching of optical networks in telecommunications engineering

Link: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/2656>

DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n2-016>

Revista: REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO - ISSN: 1983-0882 - A2 CAPES

ARTIGO 3

Título: Um desenvolvimento de aplicativo para predição de parâmetros de redes de comunicações ópticas voltado para o ensino

Link: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/11507>

DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-060>

Revista: REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO - ISSN: 1983-0882 - A2 CAPES

ARTIGO 4

Título: A Sequência Fedathi no ensino de comunicações ópticas mediada por um simulador educacional com inteligência artificial: uma análise quantitativa

Link: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/22853>

DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv23n1-138>

Revista: REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO - ISSN: 1983-0882 - A2 CAPES

2 CAPÍTULO DE LIVRO PUBLICADO

Título do Livro: Educação, ensino e formação docente: tendências atuais

Capítulo do livro: A pesquisa na pós-graduação stricto sensu acerca do uso de inteligência artificial no ensino: uma revisão sistemática de literatura

Link:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/744885/2/Educacao_Ensino%20e%20Formacao%20docente%20tendencias%20atuais.pdf

ISBN: 978-65-5376-321-0

Editora: Quipá Editoria

APÊNDICE B – ELEMENTOS DO FORMATO MULTIPAPER

ELEMENTOS OBRIGATÓRIOS E OPCIONAIS	DESCRIÇÃO
Capa	Segundo normas da ABNT
Folha de rosto	Segundo normas da ABNT
Ficha Catalográfica	Segundo normas da ABNT
Folha de aprovação	Segundo normas da ABNT
Dedicatória	Segundo normas da ABNT
Agradecimentos	Segundo normas da ABNT
Epígrafe	Segundo normas da ABNT
Resumo / Palavras-chaves	Segundo normas da ABNT
Abstract / Keywords	Segundo normas da ABNT
Listas (ilustrações, tabelas, abreviaturas e siglas)	Segundo normas da ABNT
Sumário	Segundo normas da ABNT
Apresentação	Estrutura da tese no formato <i>multipaper</i> .
Memorial	Trajetória acadêmica e profissional do autor
Introdução	Deve conter todos os pontos exigidos numa introdução: contexto da pesquisa, objetivos, problema e justificativa; abordagem teórico-metodológica; e, quadro síntese dos estudos com título, objetivos da pesquisa, metodologia e contribuições teóricoprática.
Artigo 1	1 Introdução 2 Marco teórico 3 Metodologia 4 Resultados / Contribuições teóricas / Implicações práticas 5 Considerações finais 6 Referências (A ordem desta estrutura pode variar, mas deve conter todos os itens)
Artigo 2	Idem ao artigo 1
Artigo 3	Idem ao artigo 1
Considerações finais	Articulações entre os resultados dos artigos alinhados aos objetivos da pesquisa, assim como as contribuições da pesquisa.
Referências	Segundo normas da ABNT
Apêndices / anexos	Segundo normas da ABNT

APÊNDICE C – PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

NOME: _____ DATA: _____

15 questões objetivas - Dispersão e Atenuação em Fibras Ópticas

1. Dispersão Modal - Qual é a principal causa da dispersão modal em fibras multimodo?

- (A) Diferentes modos (trajetórias) viajam distâncias distintas, causando variação no tempo de chegada.
- (B) Absorção da luz pelo material da fibra.
- (C) Reflexão total interna inadequada.
- (D) Variação da temperatura ao longo da fibra.

2. Dispersão Cromática - A dispersão cromática ocorre devido:

- (A) À variação do índice de refração com o comprimento de onda.
- (B) Ao número de modos propagados dentro da fibra.
- (C) À absorção dos fótons pela estrutura da fibra.
- (D) À degradação do sinal devido ao espalhamento Rayleigh.

3. Tipos de Dispersão - Qual dos seguintes tipos de dispersão não ocorre em fibras monomodo?

- (A) Dispersão modal
- (B) Dispersão cromática
- (C) Dispersão do guia de ondas
- (D) Dispersão do material

4. Atenuação em Fibras Ópticas - O principal fator que influencia a atenuação intrínseca em uma fibra óptica é:

- (A) A absorção do material da fibra.
- (B) O espalhamento de Rayleigh.
- (C) A dispersão intermodal.
- (D) As interferências eletromagnéticas externas.

5. Espalhamento Rayleigh - Por que o espalhamento Rayleigh afeta mais os comprimentos de onda menores?

- (A) Porque a atenuação é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda.
- (B) Porque comprimentos de onda maiores não sofrem atenuação.
- (C) Porque a fibra óptica é projetada para minimizar os efeitos do espalhamento.
- (D) Porque comprimentos de onda menores não sofrem reflexão interna total.

6. Janela de Baixa Atenuação - A atenuação em fibras ópticas é menor para qual dos seguintes comprimentos de onda?

- (A) 850 nm
- (B) 1310 nm
- (C) 1550 nm
- (D) 650 nm

7. Dispersão em Sistemas Ópticos - O aumento da dispersão em um sistema óptico causa:

- (A) Aumento da largura de banda.
- (B) Redução da taxa de transmissão.
- (C) Melhoria na propagação do sinal.
- (D) Maior eficiência da comunicação óptica.

8. Amplificadores Ópticos - Os amplificadores ópticos são usados em sistemas de fibra óptica para:

- (A) Aumentar a potência do sinal sem necessidade de conversão elétrica.
- (B) Reduzir a dispersão modal.
- (C) Evitar interferências externas.
- (D) Melhorar a reflexão total interna.

9. Perdas em Conectores - Uma das principais causas de perdas em conectores ópticos é:

- (A) Espalhamento Rayleigh
- (B) Desalinhamento dos núcleos das fibras
- (C) Dispersão intermodal
- (D) Reflexão total interna

10. Dispersão e Largura de Banda - Qual relação pode ser estabelecida entre dispersão e largura de banda em sistemas ópticos?

- (A) Quanto maior a dispersão, maior a largura de banda.
- (B) A dispersão não influencia a largura de banda.
- (C) A dispersão reduz a largura de banda do sistema.
- (D) A dispersão melhora a propagação do sinal.

11. Perdas em Emendas Ópticas - A atenuação causada por emendas em fibras ópticas pode ser minimizada por:

- (A) Uso de conectores de alta precisão.
- (B) Aumento da potência do transmissor.
- (C) Redução do comprimento de onda.
- (D) Uso de fibras multimodo.

12. Multiplexação WDM - A técnica de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM) é utilizada para:

- (A) Reduzir a dispersão modal nas fibras ópticas.
- (B) Aumentar a capacidade de transmissão por meio do uso de múltiplos comprimentos de onda.
- (C) Minimizar as perdas por absorção.
- (D) Aumentar a potência do sinal óptico.

13. Cálculo de Atenuação - Uma fibra óptica apresenta atenuação de 0,5 dB/km. Se a potência inicial for 10 mW, qual será a potência após 40 km?

- (A) 2.51 mW
- (B) 0,10 mW
- (C) 5.25 mW
- (D) 1.76 mW

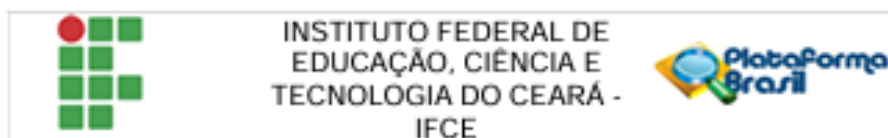
14. Potência de Sinal após Transmissão - Uma fibra tem uma perda de 0,4 dB/km. Se um sinal de 20 mW for transmitido por 50 km, qual será a potência final?

- (A) 1.58 mW
- (B) 3.22 mW
- (C) 0,20 mW
- (D) 4.79 mW

15. Método de Redução de Dispersão - Qual das seguintes técnicas é usada para reduzir os efeitos da dispersão cromática?

- (A) Uso de fibras compensadoras de dispersão.
- (B) Aumento da largura espectral da fonte.
- (C) Utilização de fibras multimodo.
- (D) Uso de fontes de luz de banda larga.

ANEXO A – APROVAÇÃO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (CEP) – IFCE – PARECER CONSUBSTANCIADO – Nº 6533946



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: O USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA, APLICADO AO ENSINO DE REDES ÓPTICAS NA ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES.

Pesquisador: SEBASTIAO ELVIS GOMES

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 74328023.5.0000.5589

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO CEARA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.533.946

Apresentação do Projeto:

Resumo:

Aplicação em sala de aula com alunos de nível superior, em uma sequência didática, de uso de simuladores de Inteligência Artificial para simular redes de fibra óptica.

Metodologia:

Usaremos em sala de aula a aplicação de uso de simuladores de inteligência artificial para simular redes ópticas. Analisaremos os resultados obtidos e faremos comparação com as respostas corretas para saber se houve aprendizado.

Critério(s) de inclusão: Não apresenta.

Critério(s) de exclusão: Não apresen

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo geral: Ensinar o uso de simuladores de Inteligência Artificial no ensino de redes ópticas.

Objetivo(s) específico/secundário: Verificar se o uso de simuladores de Inteligência Artificial melhora o ensino de redes ópticas

Endereço: Rua Jorge Dantas, nº 1100

Bairro: Jardim América

UF: CE

Telefone: (85)3401-2332

CEP: 60.410-426

Município: FORTALEZA

E-mail: cep@ifce.edu.br

**ANEXO B – INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 01/2024/PPGED – UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SERGIPE – UFS**

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 01/2024/PPGED

Dispõe sobre a estrutura e a formatação de dissertação e tese do Programa de Pós-graduação em Educação no formato multipaper.

O COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO da Universidade Federal de Sergipe, no uso de suas atribuições legais;

CONSIDERANDO o disposto da Resolução n.º 04/2021/CONEPE que estabelece normas acadêmicas da pós-graduação stricto sensu da UFS e dá outras providências;

CONSIDERANDO o disposto no Capítulo V – Do Regime Acadêmico da Resolução n.º 06/2022/CONEPE, em especial o Art. 36;

CONSIDERANDO a Instrução Normativa 01/2022 do PPGED que dispõe sobre a estrutura curricular do curso de mestrado em Educação do PPGED;

CONSIDERANDO a Instrução Normativa 02/2022 do PPGED que dispõe sobre a estrutura curricular do curso de doutorado em Educação do PPGED;

CONSIDERANDO a decisão deste Colegiado, em sua reunião ordinária realizada em 11/10/2023.

RESOLVE:

Art. 1. As dissertações e teses do PPGED poderão ser elaboradas no formato multipaper.

§ 1º Entende-se por formato multipaper a apresentação de uma dissertação ou tese como uma coletânea de artigos publicáveis, acompanhados de uma seção introdutória e de considerações finais.

§ 2º Recomenda-se o uso do formato multipaper para trabalhos em que a tese forme parte de um projeto de pesquisa maior, habitualmente de grupos de pesquisa

consolidados, ou quando o aluno está dando continuidade a um tema já estudado anteriormente, que ainda apresente questões em aberto.

§ 3º No formato multipaper os artigos têm uma certa independência, mas articulados entre si, com pontos de coesão entre si.

Art. 2. Cada artigo deve ter seu próprio objetivo, revisão da literatura, método de pesquisa, resultados, discussões e conclusões.

Art. 3. Deve-se atentar para a combinação desses artigos. Serão aceitas as seguintes opções: 1) Quando os artigos da dissertação ou tese propõem estudar um mesmo problema sobre perspectivas diferentes. Neste caso, ao final, no capítulo de considerações finais, poderia propor o comparativo de entre as propostas; 2) Quando cada artigo da dissertação ou tese aborda um novo problema e objetivos específicos baseados nos resultados do artigo precedente. Neste caso, ao final, no capítulo de considerações finais, os resultados de cada artigo vão compor um resultado final que se complementa.

Art. 4 No formato multipaper, o discente deverá, articulado ao seu relatório de pesquisa, apresentar uma seção de apresentação explicitando a organicidade dos artigos a serem inseridos nesse formado.

Art. 5. Para a defesa em formato multipaper, exige-se que o discente apresente, no mínimo, dois artigos para o mestrado e três para o doutorado. Esses artigos já devem ter sido submetidos ou aceitos ou publicados em periódicos com Qualis A1, A2, A3 ou A4, devendo o discente entregar os comprovantes de submissão ou aceite ou a publicação dos artigos, no ato do depósito do texto para a defesa, na secretaria do PPGED.

Art. 6. Os artigos publicados devem ser prioritariamente em coautoria com o orientador.

Art. 7. O discente regular, em acordo com seu orientador, deverá requerer à Comissão de Supervisão Discente a autorização para a adoção do formato multipaper.

§ 1º O requerimento mencionado no artigo anterior deverá ser apresentado no prazo de seis meses para discentes de mestrado e um ano para discentes de doutorado, a contar da data da matrícula no PPGED.

Art. 8. A parte Introdutória da obra deverá seguir as normas da ABNT mais atuais e do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa, porém os artigos poderão ser aceitos segundo a norma da revista submetida, seja ABNT, APA (American Psychological Association), Vancouver.

§ 1º O relatório da pesquisa deverá conter os elementos previstos n NBR 14724 ABNT (Informação e Documentação - Trabalhos Acadêmicos - Apresentação) tais como: capa; folha de rosto; ficha catalográfica; folha/termo de aprovação; dedicatória (opcional); agradecimentos (opcional); epígrafe (opcional); resumos (em português e língua estrangeira); listas de abreviaturas, siglas, figuras (quando forem apresentadas mais que três); tabelas (quando forem apresentadas mais que três); sumário; introdução; artigo 1; artigo 2; artigo 3 (para doutorado); referências; apêndices e anexos (opcionais) (APÊNDICE I).

Art. 9. Esta Instrução Normativa entra em vigor nesta data, ficando revogadas as disposições em contrário.

Cidade Universitária "Prof. José Aloísio de Campos", 22 de fevereiro 2024.

Profa. Dra. Rosana Carla do Nascimento Givigi
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Educação
Universidade Federal de Sergipe
Portaria 381 de 03/2023/GR

ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

O USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA, APLICADO AO ENSINO DE REDES ÓPTICAS NA ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Sebastião Elvis Gomes, Glendo de Freitas Guimarães.

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento.

Justificativa e objetivos:

A pesquisa tem como justificativa a dificuldade dos alunos da Engenharia Telecomunicações em modelar redes ópticas complexas através de simuladores convencionais. Os objetivos desta pesquisa é simular redes ópticas através de inteligência artificial e aplicar novas metodologias de ensino em uma sequência didática na disciplina de redes ópticas.

Procedimentos:

Participando do estudo você está sendo convidado a: alunos participarão de aulas com o simulador de redes ópticas fazendo o uso de inteligência artificial.

Observações:

- A duração deste experimento pode durar até 2 horas, ou durante o horário da aula, o mesmo ocorrerá em sala de aula (laboratório), sem necessidade de deslocamento adicional para outro lugar. O tempo médio de resolução é de 1 hora e 30 minutos.
- Os questionários e/ou dados coletados durante o experimento será guardado em HD próprio do aplicador, sem estar na internet, no período mínimo de 2 anos, sem os dados publicados, sem identificação individual de nenhum participante.

Desconfortos e riscos:

Você não deve participar deste estudo se sentir qualquer desconforto durante o processo de aplicação da sequência didática. Esta pesquisa poderá ser interrompida pelo aluno a qualquer momento se ele assim decidir ou se sentir desconfortável, apesar desta pesquisa ter um grau mínimo de risco à saúde emocional do ser humano.

Benefícios:

Ao participar desta pesquisa, o aluno estará colaborando com o desenvolvimento da metodologia de ensino da disciplina.

Acompanhamento e assistência:

O professor estará presente em sala de aula(laboratório) durante a aplicação do formulário escrito para os participantes desta pesquisa, e também será disponibilizado para o participante desta pesquisa, caso sejam detectados situações decorrente exclusiva da aplicação da pesquisa, em situações que indiquem necessidade de acompanhamento e assistência médica, pedagógica, nutricional, psicológica, fisioterápica, fonoaudiológica, o participante será encaminhado para um posto de saúde ou de atendimento médico, de forma gratuita para o participante mesmo após a interrupção ou encerramento da pesquisa (Item II, Resolução CNS 466/2012).

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Ressarcimento e Indenização:

Você terá direito ao ressarcimento das despesas diretamente decorrentes de sua participação na pesquisa e à indenização pelos danos resultantes desta, nos termos da Lei.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com os pesquisadores Sebastiao Elvis Gomes, IFCE- campus Fortaleza, departamento de Telemática-DTEL, telefone: 85-33073607, ou por e-mail: elvis@ifce.edu.br.

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE das 08:00hs às 12:00hs e das 13:00hs às 17:00hs no IFCE Reitoria - R. Jorge Dumar, 1703 - Jardim América, Fortaleza - CE, 60410-426; fone (85) 34012332 e-mail: cep@ifce.edu.br

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar e declaro estar recebendo uma via original deste documento assinada pelo pesquisador e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas:

Nome do(a) participante:

Contato telefônico (opcional):

E-mail (opcional):

(Assinatura do participante ou nome e assinatura do seu RESPONSÁVEL LEGAL)

Data: ____/____/____.

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

Nome dos pesquisadores:

Sebastião Elvis Gomes, Glendo de Freitas Guimarães.

Sebastião Elvis Gomes

Data: 08/08/2023.