



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS



ERICARLA DE JESUS SOUZA

ENSINO, APRENDIZAGEM E NEUROCIÊNCIA:

**Investigando as relações da Memória de Trabalho e da Carga Cognitiva com a
aprendizagem sobre eletricidade a partir de uma abordagem baseada
em Metodologias Ativas**

SALVADOR, BA

31 de janeiro, 2026

ERICARLA DE JESUS SOUZA

ENSINO, APRENDIZAGEM E NEUROCIÊNCIA:

Investigando as relações da Memória de Trabalho e da Carga Cognitiva com a aprendizagem sobre eletricidade a partir de uma abordagem baseada em Metodologias Ativas

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Linhas de Pesquisa: Ensino de Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Amantes

Coorientadores:

Prof. Dr. Raphael Silva do Rosário (IF-UFBA Prof.
Dr. Marcus Vinicius Alves (UFRN)

SALVADOR, BA

Janeiro, 2026

ERICARLA DE JESUS SOUZA

Souza, Ericarla de Jesus.

Ensino, aprendizagem e neurociência [recurso eletrônico] : investigando as relações da Memória de Trabalho e da Carga Cognitiva com a aprendizagem sobre eletricidade a partir de uma abordagem baseada em Metodologias Ativas / Ericarla de Jesus Souza. - Dados eletrônicos. - 2026.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Amanda Amantes Neiva.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Educação. Programa de Pós- Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, 2026.

Programa de Pós-Graduação em convênio com a Universidade Estadual de Feira de Santana.

Disponível em formato digital.

Modo de acesso: <https://repositorio.ufba.br/>

1. Neurociência cognitiva. 2. Teoria da carga cognitiva. 3. Ensino - Aprendizagem. 4. Eletricidade. 5. Metodologias ativas. I. Neiva, Amanda Amantes. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Educação. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDD 612.82 - 23. ed.



Ata da sessão pública do Colegiado do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS (PPGEFHC), realizada em 30/01/2026 para procedimento de defesa da Tese de DOUTORADO EM ENSINO, FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS no. 1, área de concentração Educação Científica e Formação de Professores, do(a) candidato(a) ERICARLA DE JESUS SOUZA, de matrícula 2022118477, intitulada ENSINO, APRENDIZAGEM E NEUROCIÊNCIA:

Investigando as relações da Memória de Trabalho e da Carga Cognitiva com a aprendizagem sobre eletricidade a partir de uma abordagem baseada em Metodologias Ativas. Às 14:00 do citado dia, no Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia, foi aberta a sessão pelo(a) presidente da banca examinadora Prof^a. Dra. AMANDA AMANTES NEIVA que apresentou os outros membros da banca: Prof. Dr. RAFAEL MOREIRA SIQUEIRA, Prof^a. Dra. MARIA FERNANDA VASQUEZ VALENCIA, Prof^a. Dra. LYNN ROSALINA GAMA ALVES, Prof. Dr. RAPHAEL SILVA DO ROSARIO, Prof. Dr. JOSE GARCIA VIVAS MIRANDA e Prof. Dr. GEIDE ROSA COELHO. Em seguida foram esclarecidos os procedimentos pelo(a) presidente que passou a palavra ao(à) examinado(a) para apresentação do trabalho de Doutorado. Ao final da apresentação, passou-se à arguição por parte da banca, a qual, em seguida, reuniu-se para a elaboração do parecer. No seu retorno, foi lido o parecer final a respeito do trabalho apresentado pelo candidato, tendo a banca examinadora aprovado o trabalho apresentado, sendo esta aprovação um requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor. Em seguida, nada mais havendo a tratar, foi encerrada a sessão pelo(a) presidente da banca, tendo sido, logo a seguir, lavrada a presente ata, abaixo assinada por todos os membros da banca.

Documento assinado digitalmente



GEIDE ROSA COELHO
Data: 30/01/2026 20:52:58-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. GEIDE ROSA COELHO, UFES

Examinador Externo à Instituição

Documento assinado digitalmente



RAPHAEL SILVA DO ROSARIO
Data: 31/01/2026 10:23:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. RAPHAEL SILVA DO ROSARIO, UFBA

Examinador Externo ao Programa

Documento assinado digitalmente



JOSE GARCIA VIVAS MIRANDA
Data: 31/01/2026 10:00:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. JOSE GARCIA VIVAS MIRANDA, UFBA

Examinador Externo ao Programa

Documento assinado digitalmente



RAFAEL MOREIRA SIQUEIRA
Data: 30/01/2026 21:04:11-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. RAFAEL MOREIRA SIQUEIRA, UFBA

Examinador Interno



Universidade Federal da Bahia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS (PPGEFHC)**



Documento assinado digitalmente
MARIA FERNANDA VASQUEZ VALENCIA
Data: 31/01/2026 06:37:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. MARIA FERNANDA VASQUEZ VALENCIA, UFBA

Examinadora Interna



Documento assinado digitalmente
LYNN ROSALINA GAMA ALVES
Data: 31/01/2026 10:08:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. LYNN ROSALINA GAMA ALVES, UFBA

Examinadora Interna



Documento assinado digitalmente
AMANDA AMANTES NEIVA
Data: 30/01/2026 21:00:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. AMANDA AMANTES NEIVA, UFBA

Presidente



Documento assinado digitalmente
ERICARLA DE JESUS SOUZA
Data: 31/01/2026 13:48:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ERICARLA DE JESUS SOUZA

Doutorando(a)

ENSINO, APRENDIZAGEM E NEUROCIÊNCIA:

Investigando as relações da Memória de Trabalho e da Carga Cognitiva com a aprendizagem sobre eletricidade a partir de uma abordagem baseada em Metodologias Ativas

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências, pelo Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana.

Aprovado em: 31 de Janeiro de 2026

Banca examinadora:

Amanda Amantes Neiva – Orientadora

Doutora em Educação – UFMG
Universidade Federal da Bahia

Raphael Silva do Rosário – Coorientador

Doutor em Física – UFBA
Universidade Federal da Bahia

Marcus Vinicius Alves – Coorientador

Doutor em Ciências – USP
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Lynn Rosalina Gama Alves – Avaliador interno

Doutora em Educação – UFBA
Universidade Federal da Bahia

María Fernanda Vásquez Valencia – Avaliador interno

Doutora em Ciências Humanas-UFSC
Universidade Federal da Bahia

Rafael Moreira Siqueira – Avaliador interno

Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências – UFBA
Universidade Federal da Bahia

Geide Rosa Coelho – Avaliador externo

Doutor em Educação – UFMG
Universidade Federal do Espírito Santo

José Garcia Vivas Miranda – Avaliador externo

Doutor em Ciências Ambientais-Universidad de La Coruña-UDC
Universidade Federal da Bahia

*Aos meus pais, José Carlos e Maria Selma
e à toda minha ancestralidade.
Eu sou uma, mas não sou só.*

AGRADECIMENTO

Chegou o momento de encerrar este ciclo, que é a realização de um sonho. Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida e por Sua infinita bondade. À toda falange da espiritualidade amiga, irmãos de luz e guias espirituais, bem como aos Orixás que guiam minha cabeça e meu coração (Oxóssi, Iemanjá e Iansã) e nosso senhor do Bomfim (muitos dos pedidos em cada fitinha se realiza com o fim desse ciclo), que sempre me fortaleceram e me deram fê, força, coragem e clareza para compreender o que eu ainda não podia enxergar.

Aos meus pais, José Carlos de Souza e Maria Selma de Jesus Souza, por serem meus grandes amores e porto seguro. Obrigada por serem fonte de amparo, acolhimento e orações. Sei que não deve ser fácil ser pai e mãe de uma filha que "pensa fora da caixinha" e que não tem medo de ir atrás do conhecimento. Aos meus irmãos, Emerson Carlos e Gabriel Carlos, por vibrarem e apoiarem, com todo zelo, a minha trajetória.

Aos meus avós e padrinhos que amo muito, Maria do Carmo e Osmaro Nunes de Souza, que torcem por mim desde os tempos do Ensino Fundamental. A todos os primos, tios, cunhadas, sobrinhos e afilhados: a família é grande demais para citar cada nome, mas todos vocês fazem parte desta conquista, pois, quando um de nós vence, todos vencemos juntos. Um agradecimento especial à minha tia Anitinha (Ane Souza), que sempre me deu apoio e me ajudou em todos os sentidos. Tia Anitinha, eu te amo!

Aos amigos fora da universidade, que foram alívio e escape nos momentos de tensão. À Suelayne, amiga e comadre que ouvia meus desabafos e me ajudava a rir de tudo aquilo. À Kelly, amiga que foi colo, abraço, carinho, alegria e companheirismo.

Aos professores do PPGEFHC, em especial Lynn Alves e Jonei Cerqueira, aos amigos do programa e em especial aos membros do LAMPMEC, por todo conhecimento compartilhado. Às professoras Ana Paula Guimarães e Viviane Melo, por serem espelhos de comprometimento e acolhimento. Muito obrigada.

Uma pesquisa desta magnitude não se faz sozinha. Agradeço a todos que contribuíram de forma direta e indireta: ao Professor José Garcia e todos do LABIOS e aos meus coorientadores, Marcos Vinícius e Raphael Rosário, pelos ensinamentos e suporte. Um obrigado especial ao professor Raphael Rosário que, sempre que eu enviava um áudio triste, nervosa ou revoltada com a coleta de EEG, respondia com sua calma característica, assegurando que tudo daria certo.

A todos os estudantes e alunos que se voluntariaram e participaram da minha coleta de dados, o meu muito obrigada.

E, com profunda emoção, agradeço à minha querida orientadora, Professora Amanda Amantes. Escrever sobre você faz as lágrimas molharem meu rosto e as palavras sumirem. Obrigada por ser a melhor orientadora do mundo, por segurar a minha mão e, nos momentos em que sentei e chorei, você na sua sabedoria e expertise apresentou rapidamente soluções. Obrigada por mudar a minha vida, por todos os conhecimentos. Como é bom aprender com você!

Além da orientação, ganhei uma família do coração: Francisco e Helena, que me arrancam as melhores risadas; Dona Marlinda, com as comidas mais gostosas do mundo; e o Professor Tertuliano. Ah, o Tertu tem um espaço especial na minha vida; jamais esquecerei o fato de ele ter ido à UFBA, em pleno feriado, me socorrer na configuração da tarefa, além de todas as suas contribuições ao longo dessa jornada.

Professora Amanda, obrigada por cada momento vivido, por cada semente de amor plantada, por abrir as portas do mundo para mim e por me fazer colher tantos frutos. Serei eternamente grata.

Num céu azul, contornado por nuvens brancas, surge — bem alto — uma gaivota.

Ela simplesmente voa.

Há em seu movimento uma certeza silenciosa, como se soubesse exatamente para onde ir, ainda que o destino não esteja visível aos nossos olhos.

O voo da gaivota é um mistério apenas para quem observa do chão.

Lá do alto, o céu parece menor, as distâncias se reorganizam, o medo perde forma. A gaivota não enfrenta o infinito — ela se entrega a ele. Confia no ar que a sustenta, nas asas que a conduzem, no instinto que a chama para frente. E segue. Até não mais se ver.

Talvez seja isso que ela nos ensine.

Que os sonhos não nascem para serem medidos pela lógica, mas pela coragem. Sonhar alto é aceitar que nem todos compreenderão o caminho, que muitos dirão ser ousado demais, distante demais, grande demais. Mas o céu só se torna pequeno para quem se atreve a atravessá-lo.

O voo da gaivota nos inquieta porque revela aquilo que evitamos:

sabemos onde queremos chegar, mas tememos a altura do percurso. Preferimos a segurança do chão, mesmo quando ele já não nos cabe. A gaivota, não. Ela entende que permanecer baixo demais é uma forma sutil de desistência.

Perseguir sonhos é como voar alto: exige silêncio interior, entrega e constância. Não é um bater de asas desesperado, mas um ritmo firme, quase sereno, que respeita o vento e ainda assim o desafia. Quem voa assim sabe que, em algum momento, deixará de ser visto — e isso não é perda, é passagem.

Quando a gaivota some no horizonte, algo em nós se move.

Tia Anitinha, 2026

RESUMO

O trabalho investiga a interface entre neurociência e ensino de Ciências, examinando as relações entre a aprendizagem de conceitos científicos, Carga cognitiva e a Memória de Trabalho (MT) no contexto de uma Sequência Didática (SD) fundamentada em metodologias ativas. O estudo busca responder em que medida a capacidade de processamento da memória de trabalho associa-se às demandas cognitivas impostas por tarefas científicas e ao desempenho acadêmico. A pesquisa está estruturada sob o formato *multipaper* em sete capítulos, insere-se no campo do Ensino de Física e temo como foco o estudo da evolução do entendimento dos conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos, tendo o funcionamento do aparelho celular como eixo temático. A investigação adotou uma abordagem metodológica mista, tem caráter longitudinal e contou com a aplicação da Sequência Didática (SD) intitulada "Entendendo o celular: entre correntes e circuitos". A amostra foi composta por 88 estudantes de Licenciatura em Física de instituições federais do Nordeste. A fundamentação teórica se baseia na Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) (Sweller, 1998) e na Teoria de Habilidades Dinâmicas (Fischer, 1980) para interpretação do desenvolvimento cognitivo em conjunto com a arquitetura funcional do cérebro. Os dados foram coletados em três etapas: (i) construção e validação da Sequência Didática e de um banco de itens sobre corrente e circuitos elétricos, (ii) aplicação da SD na forma de uma oficina interdisciplinar e do pré e pós teste, com suporte de materiais educacionais autorais (material do estudante, manual do professor e um site interativo); (iii) aplicação da tarefa Digit Span, visando à caracterização da memória de trabalho dos participantes. Para a análise quantitativa utilizamos softwares como R Studio, SPSS e Winsteps, contemplando a avaliação da aprendizagem, a modelagem dos dados da escala de carga cognitiva e a construção de perfis dos estudantes segundo características da memória de trabalho. De forma complementar, os registros do diário de bordo foram analisados qualitativamente, dando suporte à triangulação dos dados. Os resultados mostram que: i) houve aprendizagem em termos de aumento da complexidade do entendimento dos estudantes sobre os conteúdos abordados na sequência; ii) houve um aumento da carga intrínseca e da pertinente e uma diminuição da carga estranha ao longo de todo o processo de instrução; iii) determinados tipos de metodologia ativa otimizam a aprendizagem enquanto outros apresentam excesso de carga estranha, dificultando o processo; iv) os estudantes apresentam diferentes perfis de memória de trabalho; v) a memória de trabalho não está associada à construção de conhecimento científico levando-se em conta o tipo de abordagem empregada; vi) Há uma associação entre a aprendizagem e a carga pertinente e intrínseca das tarefas, mas o mesmo não ocorre em termos da carga estranha. Os achados do trabalho trazem apontamentos em relação a design instrucional e levantam hipóteses acerca dos tipos de função executiva associada à aprendizagem de conteúdos científicos: a capacidade em lidar com quantidade de informações não está associada necessariamente à aprendizagem nesse campo, mas outras variáveis como controle inibitório podem ser imprescindíveis. Ao integrar pressupostos da neurociência cognitiva ao ensino de Física, esta tese contribui tanto para o aprofundamento teórico sobre aprendizagem científica quanto para o aprimoramento metodológico do design instrucional e das estratégias de análise de dados em pesquisas educacionais.

Palavras-chave: Neurociência; Carga cognitiva; Memória de trabalho; Ensino-aprendizagem; Eletricidade; Metodologias ativas.

ABSTRACT

This study investigates the relationship between working memory, cognitive load, and learning in scientific tasks addressing the topic of electricity. A total of 88 students from higher education institutions in Northeastern Brazil participated, with 60 taking part in individual working memory tests. The research employed a didactic sequence based on Active Methodologies, implemented over six lessons, with data collected on performance, working memory profile, and perceptions of intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. The analysis involved association tests between variables such performance difference (as an indicator of learning), cognitive load measured by the PAAS scale, and performance profile assessed through a Digit Span task. Statistical analyses included ANOVA, Spearman's correlation, and Linear Mixed Models, given the longitudinal nature of the study. The results indicated that working memory profile was not significantly associated with either performance or cognitive load, suggesting that temporary information retention capacity is not a determining factor for scientific learning in this context. In contrast, performance showed significant associations with all three dimensions of cognitive load, demonstrating that mental effort varies according to changes in cognitive repertoire resulting from learning, as well as differences in task complexity. Another finding revealed a trend of decreasing extraneous cognitive load as students progressed, while intrinsic and germane load increased, indicating a dynamic relationship between acquired knowledge and the perception of cognitive effort. These findings underscore the importance of pedagogical planning that takes cognitive architecture and Cognitive Load Theory principles into account, as well as the use of Active Methodologies to modulate perceived effort and foster effective learning. Evidence also suggests that learning may be associated with other variables not analyzed in this study, such as executive functions like inhibitory control and cognitive flexibility, since working memory appears unrelated to the learning process.

Keywords: Working Memory; Cognitive Load; Active Methodologies; Scientific Learning; Linear Mixed Models.

SUMÁRIO

CAPÍTULO INTRODUTÓRIO	13
1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	13
1.1 Motivação inicial.....	13
1.2 A importância do ensino e aprendizagem de corrente e circuitos elétricos.....	15
1.3 O problema no campo	17
1.4 Objetivos e questão de pesquisa	20
1.5 Design da pesquisa.....	22
2 METODOLOGIA DE PESQUISA	25
2.1 Sujeitos e contextos.....	25
2.2 Materiais da Pesquisa.....	26
2.2.1 Sequência Didática	26
2.2.2 Testes de Conhecimento	27
2.2.3 Escala PAAS.....	28
2.2.4 Digit Span	29
3 APORTES TEÓRICOS	30
3.1 Aprendizagem	30
3.2 Metodologias ativas	33
3.3 Carga cognitiva e memória de trabalho	36
COMITÊ DE ÉTICA	40
Referências	40
CAPÍTULO 1: CARGA COGNITIVA: APROXIMAÇÕES TEÓRICAS PARA INVESTIGAR ASPECTOS DA APRENDIZAGEM	43
1- Introdução.....	44
2-Arquitetura Cognitiva Humana.....	45
3-Teoria da Carga Cognitiva	49
4-Propostas de acesso à Carga Cognitiva	52
5-Carga Cognitiva e aprendizagem.....	54
6- Considerações finais.....	58
7-Referências.....	59
CAPÍTULO 2:ENTRE CORRENTES E CIRCUITOS: CONSTRUINDO UMA INTERVENÇÃO DIDÁTICA A PARTIR DE METODOLOGIAS ATIVAS PARA INTEGRAR A FÍSICA AO CELULAR	62
1.Introdução	62

2. A importância da validação das Sequências Didáticas (SD).....	64
3. Metodologias Ativas: O Protagonismo do Aluno na Integração Científica e Tecnológica	65
4.Procedimentos Metodológicos	66
4.1 Construção da Intervenção Didática: "Entre Correntes e Circuitos"	66
4.2. Estratégia de Validação: Construção da Ferramenta (Barema)	74
4.3 Sujeitos e Contextos da Validação.....	75
5 Análise de Resultados	77
5.1 Análise 1: Avaliação da Adequação dos Objetivos Gerais das Aulas	77
5.2 Análise 2: Avaliação da Adequação dos Objetivos e das Metodologias	78
5.3 Análise Qualitativa: Comentários e Sugestões dos Avaliadores	80
6- Considerações Finais.....	82
Referências	83
CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA ALCANCE DA QUALIDADE DA PESQUISA EM ENSINO: EMPREGANDO RASCH PARA VALIDAÇÃO DE ITENS SOBRE CORRENTE E CIRCUITOS ELÉTRICOS.....	83
1 INTRODUÇÃO	87
2 Validação e Modelagem Rasch	88
2.1 Em que consiste o processo de validação?.....	89
2.2 Modelagem Rasch e Validação	89
3.2 Coleta e transformação dos dados	92
3.4 Método de análise	93
4.1 Itens dicotômicos	94
4.1.1 Dimensionalidade e validade	94
4.1.2 Confiabilidade e adequação do modelo.....	96
4.1.3 Ajuste dos itens	99
4.2 Itens discursivos.....	100
5 Discussão	102
6 Considerações Finais	103
REFERÊNCIAS	104
CAPÍTULO 4: O QUE SE APRENDE SOBRE CORRENTES E CIRCUITOS ELÉTRICOS EM ABORDAGENS COM METODOLOGIAS ATIVAS?.....	108
1 Introdução	109
2 Metodologias Ativas no Ensino de Física.....	110

3	Aprendizagem como Evolução do Entendimento	113
4	Método	114
4.1	Material Didático e Oficina	114
4.2	Validação dos Instrumentos.....	115
4.3	Sujeitos e Contexto	116
4.4	Instrumento de Coleta e Design da Pesquisa	116
5	Análise.....	118
6	Resultados	119
7	Considerações Finais	127
	Referências	129
	CAPÍTULO 5: AS CONTRIBUIÇÕES DAS METODOLOGIAS ATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO	129
1	Introdução	133
2	Taxonomia SOLO	134
3	Método	137
4	Análise dos Resultados	144
5	Discussão dos Resultados	154
6	Considerações Finais	155
	Referências	156
	CAPÍTULO 6: NEUROCIÊNCIA E ENSINO: INVESTIGANDO A CARGA COGNITIVA DE ABORDAGENS BASEADAS EM METODOLOGIAS ATIVAS	158
1	Introdução	158
2	Teoria da Carga Cognitiva e Design Instrucional.....	160
3	Mensuração da Carga Cognitiva	161
4	Método	164
5	Análise e Resultados	170
6	Considerações Finais	181
	Referências	182
	CAPÍTULO 7: RELACIONANDO APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS CIENTÍFICOS À CARGA COGNITIVA E À MEMÓRIA DE TRABALHO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM METODOLOGIAS ATIVAS	185
1	Introdução	186
2	Memória de Trabalho, Carga Cognitiva e Aprendizagem.....	187
3	Método	189

4 Análise e Resultados	196
5 Considerações Finais	205
Referências	206
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	209
Síntese dos Resultados.....	209
Relevância e implicações da pesquisa	213
Limitações e projeções para estudos futuros.....	214
Percalços Enfrentados	216
ANEXOS	221
-Parecer comitê de ética	221
APÊNDICES	221
-APÊNDICE A- Sequência didática.....	221
- APÊNDICE B- Barema.....	221
- APÊNDICE C- Banco de itens	221
-APÊNDICE D- Fotos coleta	221
- APÊNDICE E- Estatística e modelagem	221

CAPÍTULO INTRODUTÓRIO

Neste capítulo introdutório apresentamos o delineamento da pesquisa desenvolvida neste trabalho de doutoramento. O estudo está inserido na área de ensino de ciências, com foco no processo de aprendizagem a partir da evolução do entendimento de conceitos científicos e sua relação com Carga Cognitiva e Memória de Trabalho, delimitados teoricamente na perspectiva da neurociência. Os conteúdos científicos definidos foram no campo da eletricidade, especialmente os conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos, os quais são abordados na disciplina Física na Educação Básica, bem como em cursos de nível superior de Física e áreas afins. A escolha por essa temática se deve ao fato de ser um conteúdo que demanda muita abstração (SHIPSTONE, 1988), são reportados na literatura como de difícil entendimento (VIENNOT, 1996) e ainda se configura como conhecimento amplamente relacionado ao cotidiano, o que consideramos importante quando lidamos com uma educação formativa.

Visando facilitar a compreensão deste relato de tese, organizamos este capítulo introdutório em três seções distintas. Na primeira seção, realizamos a apresentação da pesquisa, abordando a motivação por trás da escolha do objeto de estudo, bem como as lacunas identificadas no ensino desse tema, apresentando, adicionalmente, os objetivos, o problema de pesquisa e o design metodológico. Na segunda seção detalhamos a metodologia empregada, fornecendo informações sobre os instrumentos de pesquisa desenvolvidos. Por fim, na terceira seção, demonstramos a conexão entre nossos fundamentos teóricos e a abordagem das questões de pesquisa, seguida de uma análise individual de cada uma dessas contribuições.

1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Esta seção tem o propósito de informar ao leitor as motivações que nos levaram a desenvolver esta pesquisa, bem como o problema identificado na literatura para o qual pretendemos contribuir. A fim de demonstrar a relevância deste estudo, apresentamos a justificativa, o objeto e as questões de pesquisa, seguidos dos objetivos e do *design* metodológico, finalizando com a indicação do formato escolhido para a estruturação desta tese.

1.1 Motivação inicial

O interesse pelo tema desta pesquisa de doutorado surgiu da minha inquietação enquanto docente. Ao longo dos anos em que lecionei física, tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior, sempre me questioneei sobre como ocorria o processo de aprendizagem dos conteúdos pelos estudantes. Por isso, busquei continuamente ferramentas e materiais que pudessem contribuir para o processo de ensino-aprendizagem. Durante toda a minha trajetória acadêmica (graduação em física e matemática, especializações e mestrado) desenvolvi pesquisas na área de ensino de Física, explorando recursos e criando materiais didáticos que pudessem apoiar o aprendizado dos alunos.

Apesar de sempre buscar diversificar e inovar nas abordagens e nos recursos utilizados, encontrei limitações para compreender o efeito real desses materiais e a extensão de suas contribuições no processo de aprendizagem. Ao ingressar no grupo de pesquisa LAMPMEC (Laboratório de Metodologia e Pesquisa Mista em Ensino de Ciências), coordenado por três pesquisadoras da área de ensino de Ciências (Dra. Amanda Amantes - Física, Dra. Ana Paula Guimarães - Biologia e Dra. Viviane Melo - Química), percebi a diversidade existente na pesquisa em ensino e a grande importância do processo de validação de instrumentos de investigação. Para mim, tornou-se evidente a necessidade de avaliar se os instrumentos desenvolvidos realmente medem o que se propõem e se fornecem informações confiáveis sobre as contribuições potenciais para a aprendizagem. Passei a compreender a aprendizagem sob a perspectiva do desenvolvimento cognitivo e senti, cada vez mais, o desejo de aprofundar meus conhecimentos sobre esses conceitos e abordagens. À medida que aprofundava meu estudo, tudo se conectava e fazia sentido diante das experiências acumuladas ao longo dos anos de ensino e pesquisa.

Além disso, recebi o convite da professora Amanda Amantes para integrar um grupo de estudos em neurociência, no qual tive meus primeiros contatos com conceitos e métodos dessa área. Posteriormente, passei a integrar um grupo de pesquisa dedicado ao estudo das cargas cognitivas e, também, o LABIOS (Laboratório de Biosistemas), grupo liderado pelo professor Dr. José Garcia, cujo objetivo é desenvolver modelos e tecnologias para a resolução de problemas interdisciplinares sob a ótica de sistemas complexos, com uma abordagem aplicada. O LABIOS atua, entre outras frentes, no desenvolvimento de tecnologias de rastreamento ocular aplicadas à acessibilidade e à inclusão de pacientes com deficiência motora grave, bem como na criação de métodos de análise de dados em eletroencefalografia (EEG) para auxiliar no diagnóstico de doenças como fibromialgia e artrite reumatoide.

Passei também a integrar o Laboratório Interdisciplinar de Neuropsicologia Social e Cognitiva (LINES), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, coordenado pelo

professor Dr. Marcus Vinicius Alves. Esse grupo desenvolve pesquisas em diferentes linhas, tais como: neuropsicologia da memória e do esquecimento incidental e motivado; processamento psicológico e social básico, percepção e atenção social; bases biológicas do esforço mental, do controle cognitivo e da atenção; reabilitação cognitiva e neuropsicológica; e psicobiologia social e cognitiva aplicada à saúde e à educação de populações diversas e/ou minorias.

Além disso, integrei o grupo de pesquisa do Laboratorio de la Universidad de Granada – Neurociencia Afectiva, Rehabilitación y Tratamiento (RVLAB_UGR), liderado pelo professor Dr. Miguel Ángel Muñoz García, que desenvolve diversos estudos um deles na área cognitiva com o uso de eletroencefalografia (EEG).

A partir das ricas discussões promovidas nesses diferentes grupos, passamos a investigar a relação entre a evolução do entendimento conceitual e as cargas cognitivas. Esse foi o contexto acadêmico no qual eu estava inserida quando surgiu a oportunidade de elaborar um projeto para o processo seletivo do doutorado em Ensino de Ciências. Percebi, então, que aquele era o momento ideal para aprofundar meus estudos, investigar a aprendizagem sob a perspectiva da evolução do entendimento e compreender as contribuições efetivas de uma intervenção didática, estabelecendo relações consistentes com aportes da neurociência.

Com o objetivo de responder às inquietações que me acompanham desde os primeiros anos da docência, dediquei-me ao estudo das cargas cognitivas, uma área que considero promissora para compreender o processo de ensino-aprendizagem, totalmente nova para mim e distinta de tudo que havia explorado no mestrado. Além disso, aprofundei-me em estudos sobre aprendizagem na perspectiva cognitivista para investigar quais traços latentes estão relacionados ao desenvolvimento do conhecimento. Estabelecer relações entre cargas cognitivas, evolução do entendimento e o desenvolvimento de materiais didáticos revelou-se uma abordagem potencialmente frutífera. A cada leitura, estudo e investigação sobre os tópicos desta pesquisa de doutorado, sinto-me cada vez mais motivada e encantada em aprofundar meus conhecimentos nessa linha. Assim, espero contribuir para ampliar a compreensão sobre estudos sobre cargas cognitivas e suas relações com o processo de evolução do entendimento de conteúdos de Física.

1.2 A importância do ensino e aprendizagem de corrente e circuitos elétricos

As discussões sobre ensino de ciências em termos de sua relevância curricular não são novas. Millar (2003), já apresentou e discutiu diferentes argumentos sobre o papel do ensino de

ciências na formação em geral. Apesar de diferentes pontos de vista há muito reportados na literatura, há um relativo consenso sobre a relevância da aprendizagem de conteúdos científicos para uma formação crítica, cidadã e que possa subsidiar posicionamentos mais conscientes na sociedade (MORTIMER; SCOTT, 2003). Nesse sentido, aprender conteúdos científicos, do ponto de vista formal, mas também em uma perspectiva de generalização, é imprescindível para subsidiar uma formação que atenda à demanda atual de posicionamento crítico frente a diversas situações.

Entendemos que o processo de ensino e aprendizagem de corrente e circuitos elétricos desempenha um papel crucial na formação dos estudantes, uma vez que a eletricidade é parte integrante da vida moderna. É impraticável conceber o cotidiano sem o suporte da energia elétrica, que viabiliza desde a iluminação básica até o funcionamento de dispositivos eletrônicos complexos que utilizamos diariamente. No entanto, reconhecemos que compreender os conceitos de eletricidade representa um desafio considerável devido à sua natureza abstrata e às exigências de generalização teórica. Muitos fenômenos elétricos demandam uma mudança na forma de racionalização, baseando-se em objetos teóricos que não são diretamente observáveis, como o movimento dos portadores de carga em um condutor, o que frequentemente dificulta a compreensão inicial desses princípios.

A literatura destaca diversas tentativas de abordar essas dificuldades e os esforços para desenvolver instrumentos que melhorem a compreensão conceitual, que muitas vezes conflitam com os modelos científicos formais e reforçam a necessidade de estratégias que permitam ao aluno visualizar e modelar fenômenos que fogem à percepção sensorial imediata, como os estudos de Millar e King (1993), Coelho e Borges (2011), Caramel e Pacca (2011), Coelho e Amantes (2014), Ulrich *et al.* (2017), Dalzotto, Saab e Brinatti (2018), Oliveira e Pereira (2020) e Hessel *et al.* (2024).

Para superarmos essas barreiras, especialmente no Ensino Médio, consideramos crucial adotar uma abordagem multifacetada. Isso inclui a implementação de práticas experimentais e contextualizados, aliados a recursos didáticos inovadores, como laboratórios virtuais e aplicativos educacionais, que auxiliam na visualização de grandezas como diferença de potencial e corrente.

Consideramos que o estudo da corrente e dos circuitos elétricos é fundamental para o desenvolvimento de competências cognitivas e práticas de alto nível. Ao resolver problemas relacionados à eletricidade, os alunos desenvolvem capacidades analíticas, enquanto a montagem e o teste de circuitos em laboratório promovem habilidades procedimentais valiosas.

Conforme sugerem Dalzotto, Saab e Brinatti (2018), essas competências são transferíveis e preparam os estudantes para enfrentar desafios em diversos contextos profissionais e pessoais, promovendo a autonomia técnica e intelectual. Estudos como os de Coelho (2011) e Oliveira e Pereira (2020) destacam a predominância de abordagens exploratórias e descritivas, que abrangem desde conceitos iniciais até conhecimentos mais formais de eletricidade, ressaltam que a transição de abordagens descritivas para conhecimentos formais exige um planejamento que considere o nível de complexidade cognitiva imposto ao estudante.

Acreditamos que a discussão dos fundamentos da eletricidade é o subsídio necessário para a compreensão das tecnologias contemporâneas. A eletricidade é um dos pilares da sociedade atual, sendo essencial para a geração e distribuição de energia e para os sistemas de comunicação. Compreender seus princípios básicos permite que futuros profissionais e cidadãos analisem e solucionem problemas em áreas estratégicas como engenharia, tecnologia da informação e telecomunicações. Além disso, o domínio desses fundamentos facilita a aprendizagem de conceitos mais complexos, como a eletrônica digital, a teoria de circuitos de corrente alternada e a física do estado sólido.

Por fim, reiteramos que uma formação sólida em eletrodinâmica constitui um elemento fundamental para a compreensão dos fenômenos elétricos presentes nas tecnologias contemporâneas. Essa compreensão não implica, de forma direta, a produção de inovação tecnológica, mas fornece subsídios conceituais para que os estudantes possam interpretar, utilizar e avaliar criticamente artefatos tecnológicos baseados em princípios da eletricidade, em consonância com o papel formativo atribuído ao ensino de Ciências (MILLAR, 2003; HODSON, 2003). Nesse sentido, o domínio dos fundamentos da eletrodinâmica contribui para a formação de cidadãos mais críticos e informados, capazes de compreender os impactos sociais, econômicos e ambientais das tecnologias, além de criar condições para trajetórias formativas posteriores que podem, em contextos específicos, resultar em processos de inovação (MORTIMER; SCOTT, 2003; MCDERMOTT; SHAFFER, 2002).

Em suma, consideramos que o ensino e aprendizagem de corrente elétrica e circuitos elétricos é essencial para preparar os alunos para os desafios e oportunidades do mundo moderno. Ao fornecer uma compreensão mais profunda desses conceitos, estamos capacitando os estudantes a se tornarem mais críticos, capazes de resolver problemas contextuais do seu cotidiano e agentes de mudança em suas famílias e comunidades.

1.3 O problema no campo

Na literatura, o ensino e a aprendizagem de Física têm sido objeto de intensa discussão acadêmica, com investigações que buscam compreender se as estratégias instrucionais, dentre outras questões, contribuem com promover aprendizagem. Conforme relatado por Costa Junior et al. (2017), o ensino de Física tem recebido atenção especial dos pesquisadores devido ao preocupante índice de reprovação escolar no Ensino Médio. Diante desse cenário, diversas investigações têm sido realizadas com o objetivo de identificar as causas das dificuldades de aprendizagem em conteúdos científicos, frequentemente centradas na falta de pré-requisitos matemáticos ou na abstração excessiva dos conceitos.

Uma grande diversidade de aportes teórico-metodológicos tem sido empregada nas pesquisas que buscam investigar a aprendizagem no domínio científico. Destacam-se, entre elas, a perspectiva cognitivista, voltada à compreensão dos processos mentais envolvidos na construção do conhecimento (SWELLER, 1988; NOVAK, 2010); a perspectiva sócio-cultural, que enfatiza o papel das interações sociais, da linguagem e dos contextos históricos na aprendizagem (VYGOTSKY, 1984; MORTIMER; SCOTT, 2002); e as abordagens construtivistas e de mudança conceitual, que investigam como os estudantes reorganizam seus esquemas cognitivos ao confrontar concepções prévias com explicações científicas (DRIVER, 1994). Apesar das contribuições relevantes dessas perspectivas, a aprendizagem em Ciências configura-se como um fenômeno complexo e multifacetado, o que impõe desafios metodológicos e interpretativos às pesquisas da área. Nesse sentido, a incorporação de referenciais provenientes de outros campos do conhecimento, como a Psicologia Cognitiva e a Neurociência, pode oferecer insights adicionais para a investigação dos processos subjacentes à aprendizagem científica, especialmente no que se refere aos limites e às potencialidades do funcionamento cognitivo durante a interação com tarefas instrucionais (PAAS; VAN MERRIENBOER; SWELLER, 1998; COWAN, 2014).

Uma abordagem emergente e promissora para entender esses processos reside na Teoria da Carga Cognitiva (TCCO). Em convergência com os estudos de Braga (2018), Franco (2019) e Falcade *et al.* (2020), entendemos que conteúdos de alta complexidade intrínseca, como os circuitos elétricos, exigem um gerenciamento rigoroso dos recursos cognitivos, sob o risco de sobrecarregar as estruturas de processamento temporário do estudante. Com os avanços da neurociência, passaram a emergir diálogos entre essa área e a educação (RELVAS, 2009). Compreender o funcionamento do cérebro diante de determinadas tarefas demanda a consideração de elementos como a carga cognitiva.

Investigar a aprendizagem de conteúdos com alto nível de abstração, como os conceitos da Física, exige uma abordagem que vá além das perspectivas puramente teóricas. O campo do

ensino de ciências enfrenta dificuldades de propor e, sobretudo, avaliar metodologias capazes de promover aprendizagem desses temas. Embora as metodologias ativas tenham surgido como inovações educacionais promissoras e sejam amplamente empregadas, ainda persiste uma lacuna na literatura quanto à evidência de que promovam ganhos no domínio de conteúdos complexos.

Diante desse cenário, surge uma questão central: como avaliar a aprendizagem considerando simultaneamente os aspectos instrucionais e os aspectos cognitivos dos estudantes? A triangulação metodológica onde combinando o desempenho acadêmico, o uso de escalas como por exemplo a Escala de Paas e a mensuração da memória de trabalho, apresenta-se como um caminho inovador e ainda pouco explorado no ensino de ciências. Sob essa perspectiva, a Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) atua como uma lente integradora, capaz de revelar como a organização do ensino impacta diretamente a arquitetura cognitiva humana.

A Teoria da Carga Cognitiva, desenvolvida por Sweller (1983), explica como o processamento da informação durante a aprendizagem influencia a capacidade dos estudantes de construir e consolidar conhecimentos na memória de longo prazo. Nesse contexto, teorias de aprendizagem fundamentadas no desenvolvimento cognitivo oferecem hipóteses sobre o funcionamento cerebral para explicar a interação do sujeito com o ambiente e os processos envolvidos na aprendizagem. O estudo da carga cognitiva dialoga, assim, de forma expressiva com teorias do desenvolvimento, influenciando a promoção do ensino de conteúdos complexos de Física. Essa pesquisa contribui para o avanço do conhecimento ao explorar a relação entre compreensão, carga cognitiva e aprendizagem, além de potencializar o uso de materiais didáticos e oferecer um aporte teórico-metodológico relevante. Também fornece subsídios para a integração de conhecimentos de diferentes domínios, levantando hipóteses e possibilidades para a melhoria do ensino de Física.

A articulação dessas diferentes lentes permite enfrentar lacunas fundamentais na área, até que ponto a aprendizagem de conteúdos científicos é determinada por aspectos individuais, e em que medida fatores instrucionais podem impactar e otimizar esse processo? A relevância deste estudo reside, portanto, em suprir a carência de investigações que utilizem a triangulação metodológica para compreender a aprendizagem sob a perspectiva cognitiva.

Nesse contexto, a presente pesquisa propõe uma abordagem inovadora ao investigar as associações entre carga cognitiva, aprendizagem e memória de trabalho, considerados fatores centrais do desenvolvimento cognitivo, em um contexto instrucional, fundamentado nas metodologias ativas. A integração desses elementos possibilita compreender de forma mais completa os diferentes aspectos do pensamento, da aprendizagem e do funcionamento cognitivo

dos estudantes diante de tarefas específicas, contribuindo para o avanço das investigações na interface entre ensino, cognição e neurociência.

1.4 Objetivos e questão de pesquisa

Este trabalho tem como objetivo geral *investigar em que medida a aprendizagem de conceitos científicos sobre eletricidade, ocorrida em uma instrução didática fundamentada em metodologias ativas está associada à carga cognitiva emergente nas tarefas e à memória de trabalho dos estudantes*. O estudo buscará responder às seguintes questões: I – Como ocorre a aprendizagem de conteúdos científicos em uma abordagem que emprega metodologias ativas? II- Como se apresenta as demandas cognitivas para diferentes tipos metodologias ativas? III- Como o perfil da memória de trabalho dos sujeitos e a carga cognitiva ao longo da instrução estão associadas à aprendizagem sobre eletricidade?

Uma contribuição acadêmica relevante o estudo se faz no âmbito metodológico, uma vez que o design compreende triangulação de dados referentes à carga cognitiva, aprendizagem e o perfil de memória de trabalho. O estabelecimento da relação entre esses elementos fornece parâmetros para orientar aspectos curriculares e instrucionais, tendo em vista resultados sobre a aprendizagem de longo prazo de conteúdos científicos e a eficiência do formato das tarefas elaboradas na perspectiva centrada no aluno.

Esta pesquisa de doutorado está organizada no formato multipaper, ou seja, como uma coletânea de artigos científicos. Mutti e Klüber (2018) definem esse formato como a apresentação de uma dissertação ou tese estruturada a partir de artigos passíveis de publicação em periódicos acadêmicos. Segundo Duke e Beck (1999), cada artigo deve conter seus próprios elementos estruturais, incluindo resumo, introdução, fundamentação teórica e metodológica, discussão dos resultados, considerações finais e referências.

O formato multipaper permite que cada artigo mantenha sua autonomia, facilitando a submissão e avaliação em periódicos científicos de forma independente, sem comprometer a unidade e coerência da pesquisa como um todo. Assim, embora cada artigo apresente autonomia estrutural e analítica, todos constituem desdobramentos de uma única investigação, compartilhando objetivos, fundamentos teóricos e metodológicos e o escopo geral da tese.

Nessa perspectiva, cada capítulo desta tese está estruturado no formato de artigo científico, correspondendo a um objetivo específico que contribui para o alcance do objetivo geral e para a resposta à questão de pesquisa.

Inicialmente, apresentamos e discutimos a Teoria da Carga Cognitiva e suas interfaces com o ensino e a aprendizagem, proporcionando a base conceitual para os elementos de neurociência utilizados ao longo da pesquisa. O segundo artigo consistiu na construção e validação de uma sequência didática baseada em metodologias ativas, fundamentada em investigação detalhada sobre diferentes tipos de metodologias ativas e no desenvolvimento de atividades para o ensino de corrente e circuitos elétricos a partir do funcionamento de um celular. O objetivo deste artigo é apresentar o processo de elaboração e validação da sequência, articulando metodologias ativas e o uso de tecnologias digitais.

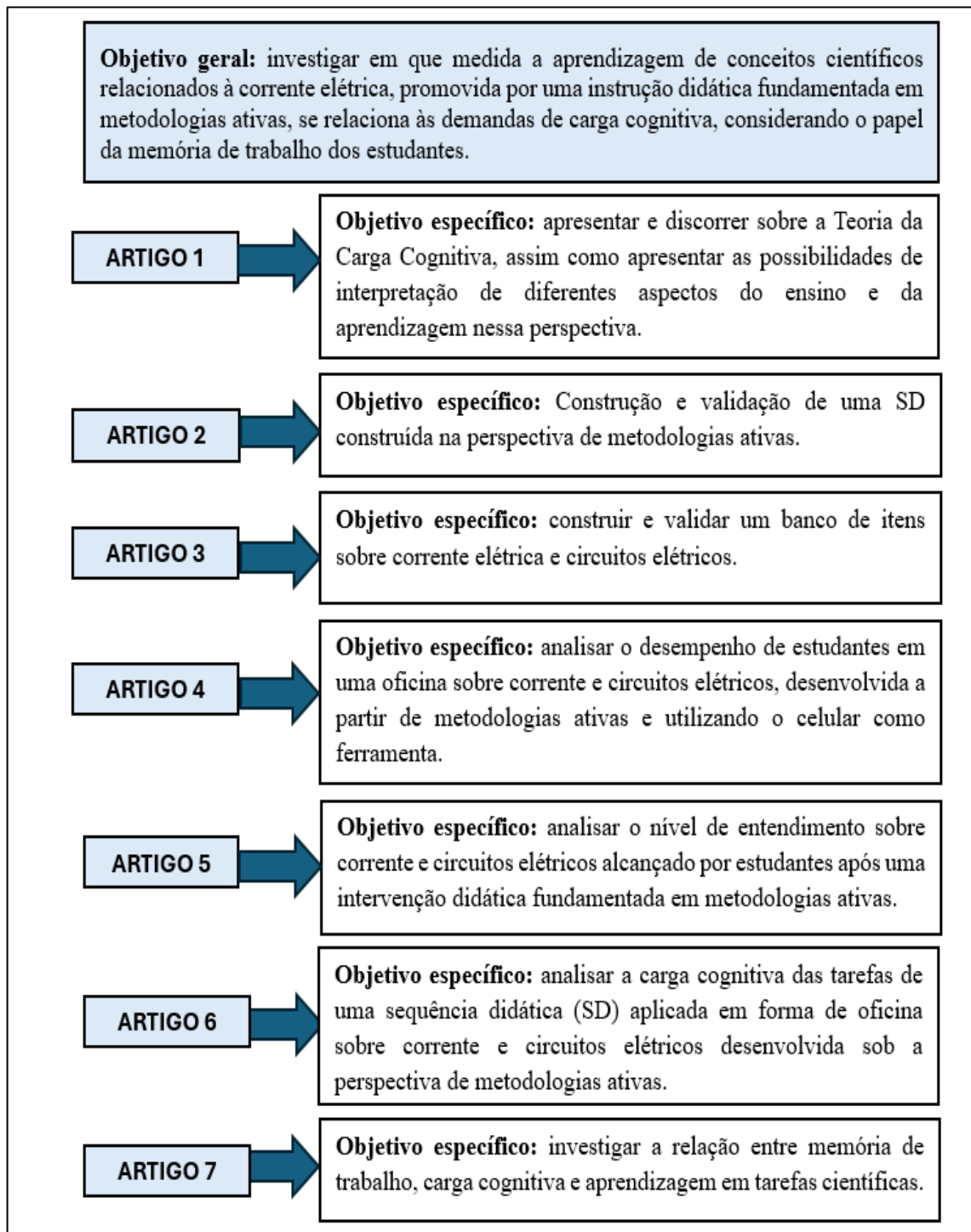
O terceiro passo da pesquisa envolveu a construção e validação de um banco de itens sobre corrente e circuitos elétricos. Este artigo inclui itens previamente validados na literatura, como Coelho (2011), Mazur (2015), Silveira et al. (1989) e Silveira (2011), além de novos itens que permitem avaliar conhecimentos não contemplados pelos testes existentes. A validação desse banco possibilita o desenvolvimento de um instrumento capaz de fornecer diagnósticos precisos do conhecimento dos estudantes, facilitando abordagens didáticas mais eficazes e personalizadas, e assegurando a confiabilidade e validade das avaliações.

O quarto artigo aborda a análise dos testes de conhecimento aplicados antes e depois da utilização do material didático, investigando a evolução do entendimento dos estudantes nas questões objetivas. O quinto artigo busca avaliar o nível de compreensão sobre corrente e circuitos elétricos alcançado pelos estudantes após a intervenção didática baseada em metodologias ativas.

O sexto artigo analisa a aplicação de uma sequência didática em formato de oficina, desenvolvida sob a perspectiva de metodologias ativas. A investigação fundamenta-se na Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), avaliando o esforço mental mobilizado durante a execução das tarefas, com o objetivo de fornecer subsídios para o aprimoramento do design instrucional no ensino de Ciências. Por fim, o sétimo artigo tem como objetivo investigar a relação entre o perfil de memória de trabalho, carga cognitiva e aprendizagem em tarefas científicas.

O delineamento da pesquisa e a organização da tese, com cada artigo vinculado ao seu objetivo específico, estão representados na Figura 1.

Figura 1- Delineamento da tese



Fonte: Os autores.

1.5 Design da pesquisa

A presente pesquisa é composta por diferentes etapas e procedimentos de coletas de dados:

A primeira etapa consistiu em pesquisar, estudar e selecionar metodologias ativas e atividades didáticas que pudessem ser criadas e adaptadas para o conteúdo corrente e circuitos elétricos. Com base nessa pesquisa, construímos e validamos uma sequência didática desenhada sob a perspectiva de metodologias ativas, utilizando recursos tecnológicos para o ensino.

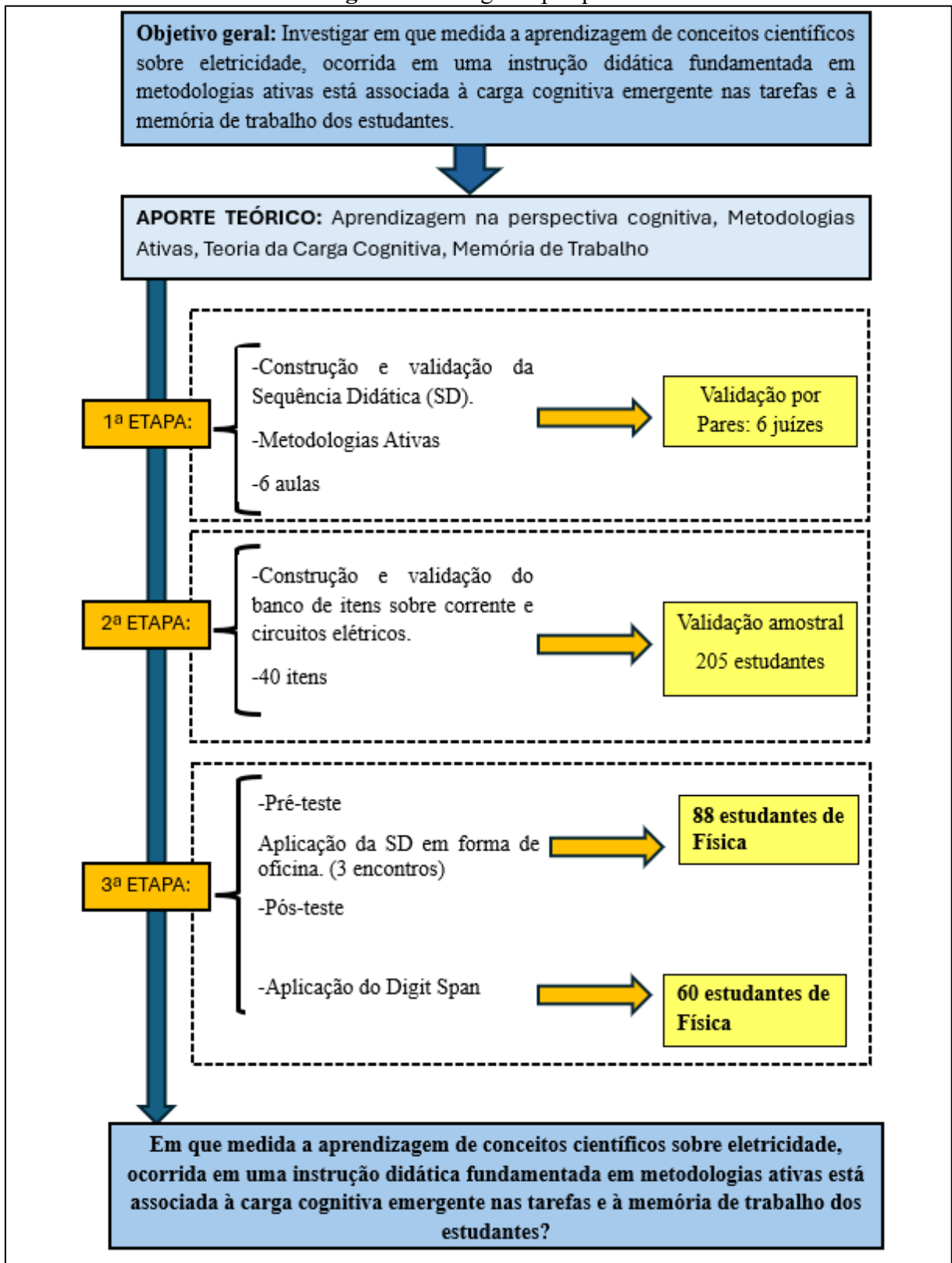
A segunda etapa desse estudo envolveu a construção e validação de um banco de 40 itens¹, baseando-se na inclusão de itens previamente validados na literatura e na construção e adaptação de novos itens necessários para acessar conhecimentos não contemplados pelos testes existentes. A terceira etapa do Estudo correspondeu a aplicação da oficina interdisciplinar, e a última etapa foi a aplicação do teste de Digit Span, que demandou um ambiente controlado e silencioso, compondo também a coleta simultânea de dados fisiológicos.

A Figura 2 sintetiza as etapas da pesquisa, proporcionando uma visão geral do design que detalha cada passo necessário para responder à questão-problema, incluindo o aporte teórico, informações sobre a sequência didática, os sujeitos da pesquisa e os instrumentos de coleta de dados.

O design adotado nesta pesquisa apresenta caráter metodológico inovador, pois subtende uma triangulação tanto teórica quanto metodológica na coleta e análise dos dados. Ao integrar diferentes perspectivas, como o desempenho acadêmico, autorrelato e perfil de memória de trabalho, o estudo propõe avanços na interpretação da complexidade do fenômeno de aprendizagem em conteúdos científicos de alto nível de abstração. Dessa forma, não se limita a uma análise unidimensional, mas combina múltiplos aportes teóricos e instrumentos de investigação, permitindo compreender de maneira mais completa como fatores instrucionais e cognitivos interagem para influenciar o processo de aprendizagem.

¹ Esse banco de itens se encontra no apêndice.

Figura 2 - Design da pesquisa



Fonte: os autores

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Em concordância com o objetivo geral deste trabalho, é possível classificá-lo como empírico e de campo, porque lida dos dados coletados no campo de pesquisa, fazendo análises e inferência para entender o fenômeno almejado. Trata-se de um estudo longitudinal e se fundamenta na abordagem metodológica mista, utilizando métodos qualitativos e quantitativos tanto na fase de coleta quanto na análise dos dados que formam esta investigação (Creswell, 2007).

2.1 Sujeitos e contextos

Conduzimos a presente investigação com estudantes de licenciatura em Física, localizando o estudo no contexto do Ensino Superior. O público-alvo constituiu-se de discentes matriculados até o quarto semestre, que ainda não haviam cursado disciplinas formais de Eletromagnetismo ou Circuitos Elétricos em sua matriz curricular. Adotamos tal critério para garantir que os participantes possuíssem um conhecimento sobre o tema predominantemente intuitivo ou remanescente da Educação Básica, o que nos permitiu avaliar com maior precisão a evolução do entendimento conceitual após a intervenção.

Sediamos o estudo no Instituto de Física de uma Universidade Federal, onde realizamos a intervenção sob a forma de uma oficina extracurricular fundamentada em metodologias ativas de ensino. A ação alcançou, adicionalmente, estudantes também graduandos do curso de Licenciatura em Física de um Instituto Federal da mesma região, ampliando o escopo de participação. Na primeira fase da coleta de dados, a amostra total foi composta por 88 estudantes. Do ponto de vista demográfico, observamos um perfil heterogêneo: o grupo contou com 68 participantes do sexo masculino e 20 do sexo feminino, com uma amplitude etária expressiva, variando entre 18 e 56 anos. Essa diversidade reflete a realidade típica dos cursos de Licenciatura em instituições federais brasileiras (Dalla, 2017).

Em um segundo momento, destinado à aplicação da tarefa de *Digit Span*, contamos com a participação de 60 estudantes que haviam integrado a etapa anterior, sendo 45 do sexo masculino e 15 do sexo feminino. A redução no número de sujeitos entre as duas fases justifica-se pelas condições específicas de aplicação da tarefa, que ocorreu de forma individual e com duração média de 1h45min por participante. Esta etapa exigiu um ambiente controlado e silencioso para a coleta simultânea de dados fisiológicos, o que, somado ao tempo prolongado

de cada sessão e à logística de agendamento de equipamentos, inviabilizou a inclusão da totalidade dos estudantes que compuseram a fase inicial da pesquisa, os dados fisiológicos não serão analisados nesse trabalho.

2.2 Materiais da Pesquisa

2.2.1 Sequência Didática

A intervenção pedagógica teve como eixo a implementação de uma oficina temática fundamentada em uma Sequência Didática (SD), concebida a partir dos princípios das Metodologias Ativas, voltada ao ensino dos conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos. A proposta buscou articular conteúdos conceituais a situações contextualizadas, de modo a favorecer a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. A SD, intitulada *“Entendendo o celular: entre correntes e circuitos”*, foi estruturada em três encontros presenciais, correspondentes a 6 aulas de 50min cada, com duração total de 100 minutos por encontro. O funcionamento do aparelho celular foi adotado como eixo central de contextualização, atuando como mediador para a introdução e a discussão de conceitos fundamentais da Física.

O material instrucional foi organizado em três recursos educacionais complementares, concebidos para atender tanto estudantes quanto professores. Optou-se por uma linguagem acessível na qual a introdução dos conteúdos ocorre por meio de narrativas em formato de tirinhas, protagonizadas pelos personagens fictícios Eletrikarla, uma cientista, e Celuquinho, um celular futurista. Essa estratégia teve como objetivo reduzir barreiras iniciais de compreensão e favorecer o engajamento dos estudantes com os temas abordados.

A Sequência Didática foi planejada de modo a promover o protagonismo discente, integrando diferentes abordagens pedagógicas ativas. As aulas seguiram uma progressão temática, iniciando-se pela contextualização histórica e funcional do celular e avançando para a compreensão dos princípios físicos subjacentes ao seu funcionamento. Entre os temas abordados destacam-se a evolução das tecnologias de comunicação, a representação simbólica de circuitos elétricos, os mecanismos de transmissão de sinais, o funcionamento de telas sensíveis ao toque, bem como aspectos relacionados à segurança no uso de baterias e carregadores.

A SD foi estruturada a partir de diferentes metodologias ativas como: Aprendizagem Baseada em Projetos, Aprendizagem Baseada em Problemas, Estudo de Caso, Gamificação e Aprendizagem Baseada em Investigação, com o uso de simuladores e atividades experimentais, além de propostas no formato *Escape Room*. Cada aula foi antecedida por um momento de pré-aula, no qual os estudantes tiveram acesso, por meio de QR Code, a materiais de apoio como vídeos, animações e conteúdos digitais, incentivando o estudo prévio e o desenvolvimento da autonomia.

A SD passou por um processo sistemático de validação por especialistas, envolvendo seis docentes pesquisadores da área de Ensino de Física. Os avaliadores analisaram a coerência entre os objetivos pedagógicos, os conteúdos e as estratégias metodológicas, bem como a adequação das atividades propostas ao público-alvo. Os resultados indicaram predominância das classificações “adequado” e “muito adequado”, evidenciando a consistência interna da proposta e seu alinhamento com os pressupostos teórico-metodológicos que a fundamentam.

2.2.2 Testes de Conhecimento

O banco de itens foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o conhecimento formal sobre corrente elétrica e circuitos elétricos em nível equivalente ao Ensino Médio. A elaboração dos itens baseou-se em instrumentos consolidados na literatura da área, contemplando dimensões conceituais, procedimentais e matemáticas do conteúdo. O banco final foi composto por 40 itens, sendo 37 objetivos e 3 discursivos. O instrumento passou por um processo de validação amostral com 205 estudantes da 3ª série do Ensino Médio, provenientes de instituições das redes estadual e federal. As respostas aos itens objetivos foram codificadas de forma dicotômica e analisadas por meio do Modelo Rasch, utilizando o software Winsteps®, considerando critérios de ajuste, dimensionalidade e confiabilidade.

A partir desse banco validado, foram construídos dois testes equivalentes (pré-teste e pós-teste) em termos de conteúdo e nível de dificuldade, com o objetivo de avaliar o entendimento conceitual dos estudantes sobre corrente elétrica e circuitos elétricos. Cada teste foi originalmente composto por 30 questões, sendo 27 objetivas, de múltipla escolha e 3 discursivas. Ressalta-se que ambos os testes continham um conjunto de questões idênticas, utilizadas como itens âncora. A inclusão desses itens é estratégica para a análise psicométrica, especialmente no âmbito do Modelo Rasch, pois possibilita a equiparação entre o pré-teste e o pós-teste, permitindo a comparação da proficiência e da evolução do entendimento conceitual dos estudantes ao longo da intervenção pedagógica.

2.2.3 Escala PAAS

Para a avaliação da carga cognitiva imposta pelas tarefas da Sequência Didática (SD), utilizou-se o instrumento multidimensional proposto por Leppink et al. (2013) denominado de Escala PAAS. Essa escala permite distinguir os três componentes da carga cognitiva de forma independente: a Carga Intrínseca (CI), a Carga Estranha (CE) e a Carga Pertinente (CP). O instrumento é composto por 10 itens respondidos em uma escala de diferencial semântico de 11 pontos (0 a 10), onde 0 indica "não é o caso" e 10 "totalmente o caso". A estrutura do questionário organiza-se da seguinte forma: Carga Intrínseca (Itens 1, 2 e 3): Avalia a complexidade percebida dos tópicos, fórmulas e conceitos; Carga Estranha (Itens 4, 5 e 6): Mede que a instrução não contribuiu com a aprendizagem e a falta de clareza da linguagem utilizada; Carga Pertinente (Itens 7, 8, 9 e 10): Mensura o quanto a atividade contribuiu efetivamente para a melhoria do conhecimento e da compreensão do estudante.

A aplicação ocorreu imediatamente ao final de cada aula da SD. O procedimento consistiu em uma breve orientação aos participantes, reforçando que o foco deveria ser a percepção sobre a atividade recém-concluída. A escolha por este modelo justifica-se por sua capacidade de fornecer um diagnóstico detalhado sobre quais aspectos da instrução podem ter sobrecarregado a memória de trabalho ou favorecido a construção de esquemas mentais na aprendizagem de conteúdos científicos. A estrutura do da escala PAAS está detalhada no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Escala Paas (2013)

<p>Um questionário de dez itens para a medição de Carga cognitiva Intrínseca (IL) (itens 1, 2 e 3), Carga cognitiva Extrínseca (EL) (itens 4, 5 e 6) e Carga cognitiva pertinente (GL) (itens 7, 8, 9 e 10). Todas as perguntas a seguir referem-se à atividade (palestra, aula, sessão de discussão, treinamento de habilidades ou sessão de estudo) que acabou de terminar. Por favor, responda a cada uma das perguntas na seguinte escala (0 significa que não é o caso e 10 significa que é totalmente o caso).</p>	
[1] O/s tópico/tópicos abordado/s na atividade foi/eram muito complexo.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[2] A atividade abrangeu fórmulas que percebi como muito complexas.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[3] A atividade abordou conceitos e definições que percebi como muito complexos.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[4] As instruções e/ou explicações durante a atividade não foram muito claras.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[5] As instruções e/ou explicações foram, em termos de aprendizagem, muito ineficazes.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[6] As instruções e/ou explicações estavam cheias de linguagem pouco clara.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[7] A atividade realmente melhorou minha compreensão do/s tópico/s abordado/s.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[8] A atividade realmente melhorou meu conhecimento e compreensão de corrente e circuitos.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[9] A atividade realmente melhorou minha compreensão das fórmulas abordadas.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
[10] A atividade realmente melhorou minha compreensão de conceitos e definições.	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Fonte: Traduzido de Leppink et al. (2013).

2.2.4 Digit Span

O perfil da memória de trabalho dos participantes foi avaliada por meio do teste *Digit Span*, instrumento amplamente utilizado em contextos clínicos na psicologia e em pesquisa cognitiva. Na aplicação clássica, o pesquisador apresenta verbalmente uma sequência de números e registra a repetição do participante, tanto na ordem direta (*Digit Span Forward*) quanto na inversa (*Digit Span Backward*), servindo como um indicador da capacidade de armazenamento e manipulação de informações (BADDELEY, 2000).

Para o presente trabalho, o teste foi aplicado em formato digital, utilizando uma versão automatizada na linguagem Python. O instrumento foi desenvolvido por Amantes (2023), acompanhado de um protocolo de coleta específico para a padronização dos dados. Nesta versão digital, as sequências numéricas compostas por dígitos de 0 a 9, eram exibidas no centro da tela com um intervalo de um segundo entre cada numeral. Durante essa etapa, o sujeito deve memorizar os numerais e sua ordem de aparecimento. Ao final de cada série, um teclado virtual é disponibilizado na tela, no qual o participante deve assinalar os números respeitando a ordem exata em que foram apresentados; em caso de esquecimento de algum dígito, o participante pode indicar a lacuna por meio de um símbolo de interrogação. Adaptações semelhantes foram utilizadas em pesquisas sobre funções executivas na área de psicologia (GRABNER, 2004), sendo esse formato digital considerado robusto principalmente para lidar com os dados de saída posteriores.

No presente estudo, foram utilizadas 50 sequências, distribuídas em: 14 sequências de três dígitos, 16 de cinco dígitos e 20 de sete dígitos. Diferentemente do protocolo tradicional, optou-se pela aplicação exclusiva da ordem direta, sem a etapa de ordem inversa, garantindo a aleatoriedade completa na geração dos números. Ao final da tarefa, as respostas registradas eram automaticamente exportadas para uma planilha em formato Excel, assegurando o armazenamento padronizado e a integridade dos dados para as análises posteriores.

A coleta de dados ocorreu de forma individual e controlada, em ambiente silencioso e com condições de iluminação e temperatura adequadas. Cada sessão teve duração média de aproximadamente 1h45min, uma vez que incluiu o registro de dados fisiológicos simultaneamente à execução do teste (os dados fisiológicos não serão analisados nesse estudo). Essa adaptação digital manteve a essência do *Digit Span* tradicional, garantindo padronização, confiabilidade e precisão na avaliação da memória de trabalho dos estudantes.

3 APORTES TEÓRICOS

3.1 Aprendizagem

Segundo Piaget (1987):

[...] não se pode falar de aprendizagem ou de aquisição se não há conservação do que é aprendido, e, reciprocamente, não se utiliza o termo “memória” a não ser no caso da conservação de informações de fonte exterior [...] a memória de um esquema não é assim outra coisa senão esse esquema como tal. Pode-se, portanto, a respeito dele evitar falar de “memória”, exceto para fazer do esquema um instrumento da memória. PIAGET (1987)

Piaget destaca que a verdadeira aprendizagem não é apenas sobre receber novas informações, mas também sobre como essas informações são construídas e organizadas. Esquemas são estruturas mentais que ajudam na recuperação do conhecimento. Em termos educacionais, isso sugere que, para um aprendizado significativo, é crucial focar em como os conceitos são integrados e estruturados na mente dos alunos, além de simplesmente introduzir novos conteúdos.

A aprendizagem é concebida como um processo dinâmico de evolução do entendimento, caracterizado pela mudança de atributos do sujeito ao longo do tempo. Nesse sentido, aprender significa conectar, interpretar e incorporar novas informações ao conhecimento pré-existente, promovendo a construção de novos saberes por meio de contínuas assimilações, acomodações e reestruturações cognitivas (PIAGET, 2014; FISCHER, 2008; BIGGS; COLLIS, 1982).

O atributo que muda ao longo do processo de aprendizagem pode ser concebido, na perspectiva cognitivista, como um traço latente do sujeito: uma característica que não pode ser acessada diretamente, mas que pode ser inferida a partir de comportamentos ou desempenho em tarefas observáveis. Amantes, Coelho e Marinho (2015) definem traços latentes como atributos abstratos construídos teoricamente, mas relacionados a dados observáveis, permitindo analisar dimensões do conhecimento ou da habilidade do indivíduo indiretamente.

Essa concepção dialoga com o conhecimento tácito, proposto por Polanyi (1966), e complementada por Cardoso e Cardoso (2007), segundo os quais sabemos mais do que conseguimos explicitar. O conhecimento tácito consiste naquilo que o sujeito sabe e utiliza, embora nem sempre consiga articular em palavras, sendo inferido por meio de ações, escolhas e decisões. Assim, os traços latentes e o conhecimento tácito convergem para uma compreensão

de que grande parte do aprendizado envolve processos internos e implícitos, acessíveis apenas por instrumentos que avaliem o desempenho do sujeito em contextos específicos.

A avaliação da aprendizagem, portanto, considera a mudança no traço latente como indicador de progresso do entendimento. Tal mudança pode ser identificada pela análise do nível de articulação do conhecimento do estudante em respostas a estímulos externos, como testes ou tarefas específicas. Fischer (1980) propõe que esse atributo pode ser compreendido como habilidade em desenvolvimento, enquanto Biggs e Collis (1982) o relacionam ao pensamento, que evolui em complexidade ao longo do tempo e das interações em diversos contextos educacionais.

Essas teorias concebem o desenvolvimento cognitivo e o pensamento em camadas ou modos, semelhantes aos estágios piagetianos, porém mais detalhados em termos de complexidade interna. Cada modo ou camada contém níveis de complexidade, de forma que a mudança do traço latente pode ser medida pelo progresso nesses níveis, caracterizando efetivamente a aprendizagem. Diferentemente de Piaget, que organiza o desenvolvimento em estágios sequenciais fixos, Fischer e Biggs & Collis enfatizam a possibilidade de evolução gradual dentro de cada camada, permitindo uma avaliação mais refinada do progresso cognitivo (Fischer, 1980; Biggs & Collis, 1982).

A Taxonomia SOLO fundamenta-se em um modelo classificatório estruturado em cinco níveis de complexidade da aprendizagem, considerando tanto a quantidade quanto a qualidade das informações mobilizadas. Neste trabalho, ela é utilizada para analisar as respostas discursivas. Inserida na vertente neopiagetiana, a Taxonomia SOLO configura-se como um sistema categorial destinado à análise da estrutura das respostas dos estudantes, com o propósito de identificar o tipo de pensamento evidenciado (BIGGS; COLLIS, 1982). O foco recai, portanto, sobre a produção elaborada em uma situação específica. Assim, a SOLO não busca determinar o modo geral de funcionamento cognitivo do aluno como ocorreria na identificação de estágios de desenvolvimento, mas examinar como ele operou em determinada tarefa ou resposta, evitando extrapolações sobre seu desempenho cognitivo global.

Nessa abordagem, admitem-se modos de pensamento que orientam formas particulares de operar cognitivamente, em certa analogia aos estágios de Piaget. Contudo, em cada modo há níveis internos de complexidade crescente, que possibilitam diferentes formas de tratamento do conhecimento, organizadas de maneira hierárquica e multimodal.

O caráter multimodal decorre do pressuposto de que um mesmo sujeito pode mobilizar distintos modos de pensamento, dependendo do domínio conceitual envolvido. Ao contrário da teoria piagetiana, que associa estágios a faixas etárias e níveis gerais de maturação, a perspectiva neopiagetiana entende que os modos de pensamento são dependentes do campo de conhecimento e não seguem, necessariamente, uma progressão uniforme para todos os indivíduos (Amantes & Oliveira, 2012).

No âmbito da Taxonomia SOLO, os modos de pensamento correspondem às formas pelas quais o conhecimento é organizado e utilizado em tarefas específicas. Cada modo contém níveis graduais de complexidade, permitindo analisar tanto a passagem entre modos quanto o aprofundamento dentro de um mesmo modo. No modelo de Biggs e Collis (1982), esses níveis são definidos como: pré-estrutural, uniestrutural, multiestrutural, relacional e abstrato estendido. Essa classificação considera a quantidade de informações mobilizadas e, sobretudo, o grau de integração estabelecido entre elas, possibilitando uma avaliação progressiva da aprendizagem.

A Taxonomia SOLO tem sido amplamente empregada em pesquisas educacionais, contemplando avaliação docente, análise curricular e categorização de produções estudantis (Biggs, 1994; Bond et al., 2000). Nesta investigação, foi utilizada para classificar o entendimento dos estudantes acerca dos conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos. As respostas foram organizadas segundo níveis de operação cognitiva, conforme descrito a seguir:

- **Pré-estrutural (P):** respostas inadequadas, com ausência de compreensão pertinente ou presença de elementos irrelevantes;
- **Uniestrutural (U):** respostas corretas, porém limitadas a um único aspecto relevante;
- **Multiestrutural (M):** presença de vários elementos corretos, ainda apresentados de forma pouco articulada;
- **Relacional (R):** integração consistente das informações, com estabelecimento de relações coerentes entre os elementos mobilizados.

Nesse contexto, a Taxonomia SOLO constitui um referencial teórico-metodológico robusto para análises qualitativas da aprendizagem, pois permite identificar não apenas a existência de conhecimentos, mas o nível de integração e sofisticação do entendimento demonstrado pelos estudantes em diferentes situações.

Dessa forma, considerar o entendimento como um traço latente permite articular teorias cognitivas e procedimentos metodológicos para modelar e mensurar o aprendizado. Instrumentos validados podem acessar esse traço latente e, por meio da análise do desempenho, inferir o grau de articulação do conhecimento do estudante, oferecendo um panorama detalhado da evolução do aprendizado em conteúdos complexos, como os de Física.

3.2 Metodologias ativas

A abordagem de metodologia ativa abrange uma variedade de práticas em sala de aula com o objetivo de promover a autonomia e o protagonismo dos estudantes em sua jornada educacional. Sob essa perspectiva, os alunos assumem um papel ativo no processo de aprendizagem, enquanto os professores desempenham o papel de mediadores do conhecimento. Berbel (2012) explica que essas metodologias visam promover o processo de aprendizagem através da utilização de estratégias que simulem situações reais, preparando os alunos para os desafios práticos que enfrentarão em suas vidas profissionais. Para Reis (2025) as metodologias ativas têm se consolidado como práticas pedagógicas capazes de promover maior autonomia, engajamento e participação dos estudantes no processo de aprendizagem.

As metodologias ativas têm sido apresentadas como alternativas aos modelos expositivos tradicionais, ao deslocarem o foco do ensino para a aprendizagem e atribuírem ao estudante papel central na construção do conhecimento. Contudo, o conceito não é homogêneo na literatura, o que gera ambiguidades teóricas e práticas (PAIXÃO, 2026). Moran (2015) complementa essa visão ressaltando que o conhecimento é adquirido de forma mais eficaz quando os alunos são expostos a problemas e situações autênticos, proporcionando uma preparação mais eficiente para suas futuras carreiras. Lima (2017) em sua pesquisa defende que essa autonomia e esse protagonismo podem ser alcançados por meio de metodologias ativas que visam a proatividade, o desenvolvimento do raciocínio e a vinculação com a realidade.

As metodologias ativas de ensino são de muitos tipos, destacando-se o Estudo de Caso, a Gamificação, a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), a Instrução entre Pares (*Peer Instruction*), o Ensino Just-in-Time (*Just-in-Time Teaching*), entre outras. A análise dessas abordagens permite não apenas identificar seus potenciais vantagens, mas também compreender os desafios e as limitações que podem surgir em contraste com o modelo tradicional de ensino. Esse exame crítico é essencial para orientar a implementação eficaz das metodologias ativas e maximizar os benefícios para o processo de aprendizagem dos alunos.

Na construção da Sequência Didática foram utilizadas as seguintes metodologias ativas: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), Estudo de Caso, Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), Aprendizagem Baseada na Investigação (ABI)- (IBL, do inglês Inquiry-Based Learning), Gamificação, Aprendizagem baseada em simulações (SBL), Aprendizagem Por pares, Escape Room.

As abordagens ativas de ensino, como Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPj), Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e Aprendizagem Baseada na Investigação (ABI), apresentam diferenças importantes, embora compartilhem a perspectiva centrada no estudante e na construção ativa do conhecimento. A Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPj ou Project-Based Learning, PjBL) consiste na realização de projetos reais ou simulados, nos quais os estudantes integram conhecimentos de diferentes disciplinas para desenvolver um produto ou solução concreta. O foco dessa abordagem está no processo de planejamento, execução e avaliação do projeto, promovendo autonomia, colaboração e aplicação prática do conteúdo. Um exemplo de aplicação no ensino de Física seria a construção de um protótipo de circuito elétrico sustentável, em que os estudantes documentam todo o processo e apresentam o produto final, promovendo a integração entre teoria e prática (THOMAS, 2000; BELL, 2010).

Por outro lado, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP ou Problem-Based Learning, PBL) utiliza problemas contextualizados e complexos como ponto de partida para a aprendizagem. Nessa abordagem, os estudantes devem investigar, analisar e propor soluções, mobilizando seu conhecimento prévio e adquirindo novos saberes durante o processo. O objetivo principal é desenvolver pensamento crítico, habilidades de investigação e colaboração, ao mesmo tempo em que se integra teoria e prática. Um exemplo típico seria a investigação de uma falha em um circuito elétrico doméstico, na qual os estudantes formulam hipóteses, testam soluções e justificam suas decisões, aproximando o aprendizado do contexto real (BARROWS, 1996; SAVERY, 2006).

A Aprendizagem Baseada na Investigação (ABI ou Inquiry-Based Learning, IBL), por sua vez, centra-se na curiosidade e exploração guiada, estimulando os estudantes a formularem perguntas científicas, conduzirem experimentos e construir conhecimento a partir de evidências. Essa abordagem visa desenvolver habilidades de pesquisa, análise crítica de dados e compreensão científica profunda, promovendo autonomia na construção do conhecimento. Um exemplo no ensino de Física seria um estudo em que os estudantes investigam como diferentes materiais afetam a condutividade elétrica, realizando experimentos, coletando dados e apresentando conclusões baseadas nas evidências observadas (HMELO-SILVER, DUNCAN, CHINN, 2007).

Embora todas essas abordagens compartilhem o foco na aprendizagem ativa, cada uma possui características distintas: a ABPj enfatiza o desenvolvimento de produtos concretos e integrados, a ABP prioriza a resolução de problemas contextualizados e a ABI foca na investigação científica guiada por hipóteses e evidências. A escolha da abordagem deve considerar o objetivo de aprendizagem, o nível de abstração do conteúdo e a experiência prévia dos estudantes, permitindo que o ensino de Ciências seja estruturado de forma a promover compreensão profunda, pensamento crítico e habilidades práticas aplicáveis à vida real.

A Gamificação envolve o uso de jogos ou games projetados de maneira lúdica, porém com objetivos educativos. A Gamificação é o processo de incorporar elementos de jogos (como pontos, medalhas, níveis, recompensas e desafios) em contextos de aprendizagem com o propósito de aumentar a motivação, o engajamento e a participação dos estudantes (VLACHOPOULOS, MAKRI,2017). A integração entre tecnologia e ensino pode favorecer ambientes mais dinâmicos e inclusivos. Nesse contexto, o uso de recursos gamificados, como o TestTube Games, é apontado como potencialmente relevante para o ensino de Física, embora sua efetividade dependa da articulação entre docentes, gestores e desenvolvedores, bem como de condições institucionais adequadas (CUTRIM, 2026).A ideia é usar mecânicas e dinâmicas típicas de jogos em atividades educativas para torná-las mais interativas e estimulantes, por exemplo, sistemas de pontuação ou tabelas de líderes aplicados a tarefas escolares.

Já a Aprendizagem Baseada em Simulações (SBL) é uma abordagem pedagógica que emprega a simulação de situações reais para facilitar a aquisição de conhecimentos e habilidades (NOVAES,2025; ALHARBI et al, 2024). O foco aqui é oferecer experiências práticas e imersivas que permitem aos estudantes testarem hipóteses, tomar decisões e observar consequências em um ambiente seguro e controlado, facilitando a compreensão de conceitos complexos e habilidades cognitivas profundas, como tomada de decisão, análise e resolução de problemas.

Essas metodologias permitem que os alunos vivenciem e pratiquem diversos cenários sem enfrentar os riscos das situações reais. Ao interagir com as simulações, os estudantes têm a oportunidade de explorar, cometer erros e aprender com suas experiências, promovendo o desenvolvimento de competências de maneira mais eficaz.

A metodologia ativa conhecida como Aprendizagem por Pares, ou *Peer Instruction*, foi proposta por Eric Mazur na década de 1990, com base em suas aulas de física na Harvard University (EUA). Esse método centra-se nas interações entre pares, onde os alunos colaboram para interpretar questões de um questionário e formular respostas que evidenciem sua compreensão de conceitos específicos. De acordo com Mazur (2015), o objetivo da *Peer*

Instruction é promover o engajamento e a interação dos alunos durante a aula expositiva, garantindo que eles se concentrem nos conceitos fundamentais abordados pelo professor.

De acordo com Sanches (2019) O Escape Room ou fuga da sala numa tradução literal, é uma experiência de jogo que desafia os participantes a sair de uma sala onde se encontram fechados. A metodologia ativa do *Escape Room* educativo é uma metodologia ativa que pode ser utilizada para ensinar diversos conteúdos curriculares. Essa estratégia incentiva a colaboração e o trabalho em equipe, aprimora habilidades de resolução de problemas, e desenvolve competências comunicativas e colaborativas, ao mesmo tempo em que fortalece a perseverança diante de desafios e pressões.

Todas essas abordagens têm ganhado expressão na área de ensino de ciências como inovações em potencial para ensino de conteúdos complexos. Contudo, há poucos trabalhos que reportam sua contribuição em atingir objetivos de ensino estipulados a priori. Entender a potencialidade e limitações dessas abordagens, assim como o melhor design para garantir o alcance das metas educacionais e curriculares é essencial no âmbito escolar. Para garantir um ensino que possa promover qualidade, é fundamental validar essas abordagens, possibilitando que os professores as utilizem de forma mais eficiente, alinhando-as aos seus objetivos de ensino. Esse procedimento proporciona maior propriedade para que professores empreguem tais práticas no ambiente escolar, adaptando-as de maneira mais alinhada aos seus objetivos. Isso garante um ensino de maior qualidade e um impacto positivo no aprendizado dos estudantes (Leite *et al.*, 2018; Coluci, 2016).

Nesse estudo iremos discutir não só a elaboração e validação de diferentes tipos de tarefas desenhadas na perspectiva de metodologias ativas como iremos avaliar as demandas cognitivas de cada uma delas. Do ponto de vista acadêmico, proporemos interpretações que relacionam a aprendizagem com tais demandas, o que pode elucidar muitos aspectos sobre a aprendizagem de conteúdos científicos. Do ponto de vista pedagógico uma série de materiais validados e resultados de aprendizagem para que docentes possam avaliar sua adequação em suas aulas envolvendo o conteúdo de eletricidade.

3.3 Carga cognitiva e memória de trabalho

A Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) surgiu na década de 1980, fundamentando-se na compreensão da arquitetura cognitiva humana e nos conceitos de memória de trabalho e memória de longo prazo (SWELLER; VAN MERRIËNBOER; PAAS, 2019). Seu objetivo é

compreender de que forma a carga de processamento de informações gerada por atividades de aprendizagem influencia a capacidade de processar novos conteúdos e consolidá-los na memória de longo prazo.

A carga cognitiva pode ser definida como um construto multidimensional que representa a demanda imposta ao sistema cognitivo do indivíduo durante a realização de uma tarefa específica (PAAS et al., 2003; PAAS; VAN MERRIËNBOER, 1994). Sweller et al. (1998) propuseram um modelo amplamente adotado, distinguindo três tipos de carga cognitiva: (1) intrínseca, relacionada à complexidade da informação e à interação com as habilidades do sujeito; (2) extrínseca ou estranha, resultante de atividades que não contribuem diretamente para a aprendizagem; e (3) pertinente, necessária para aprender, referindo-se aos recursos de memória de trabalho alocados para lidar com as cargas intrínseca e extrínseca (SWELLER; VAN MERRIËNBOER; PAAS, 2019).

A mensuração da carga cognitiva é um campo em desenvolvimento, com grande potencial investigativo em diferentes áreas. Apesar da ausência de consenso sobre técnicas específicas de análise, sua aplicação tem se mostrado relevante. Na Saúde, por exemplo, contribui para o estudo de doenças associadas a déficits cognitivos, como paralisia cerebral e Alzheimer. Na Psicologia, permite investigar processos cognitivos e emocionais relacionados ao pensamento lógico e à resolução de problemas.

No contexto educacional, a mensuração da carga cognitiva possibilita o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem mais eficazes e a análise do processamento cognitivo dos alunos. Faria (2019) investigou a percepção de estudantes de Licenciatura em Física sobre dificuldades nas disciplinas e estratégias utilizadas, relacionando-as à TCCO. Oliveira e Moreira (2016) analisaram a interação de estudantes com hipermídia, considerando diferentes níveis de dificuldade definidos teoricamente pela TCCO, demonstrando a importância da teoria no desenvolvimento de materiais instrucionais. Além disso, Dan e Reiner (2015) argumentam que estudos dessa natureza permitem avaliar variáveis de aprendizagem e aprimorar métodos de instrução adaptados aos estados cognitivos dos estudantes.

A presente pesquisa insere-se nesse contexto, buscando estabelecer associações entre a evolução do entendimento de conceitos científicos, instrução didática baseada em metodologias ativas e demandas de carga cognitiva relacionadas à memória de curto prazo. Para isso, utilizamos a triangulação de dados, com o objetivo de identificar correlações e padrões que aprofundem a compreensão do processo de aprendizagem.

A memória de trabalho é uma função executiva da arquitetura cognitiva humana, responsável pela manutenção temporária e manipulação ativa de informações necessárias a

tarefas complexas, como compreensão, raciocínio e aprendizagem (BADDELEY, 2000; COWAN, 2014). Diferentemente de modelos unitários de memória de curto prazo, concepções contemporâneas consideram-na um sistema funcionalmente limitado, cuja capacidade restrita condiciona o processamento de novas informações.

O modelo multicomponente de Baddeley e Hitch (1974), posteriormente ampliado, descreve a memória de trabalho como um sistema coordenado por um executivo central e composto por subsistemas especializados: alça fonológica, esboço visuoespacial e buffer episódico (BADDELEY, 2011). Este último estabelece a interface com a memória de longo prazo (MLP), permitindo integrar informações verbais, visuais e episódicas na construção de representações mentais complexas. Os subsistemas fonológicos e visuoespacial atuam na aquisição da linguagem e no processamento de informações espaciais, funcionando como sistemas auxiliares ou “zonas de retenção”. Diferentemente da memória de curto prazo, a MLP apresenta grande capacidade e persistência temporal das informações armazenadas (GAZZANIGA; HEATHERTON, 2005), servindo de base para que a memória de trabalho organize atividades estratégicas de processamento e armazenamento temporário.

No ensino de Ciências, a limitação cognitiva é particularmente relevante, pois conceitos abstratos, múltiplas representações e relações causais complexas exigem elevado esforço de processamento. Quando a demanda cognitiva excede a capacidade da memória de trabalho, ocorre sobrecarga cognitiva, prejudicando a compreensão e a consolidação de esquemas mentais (SWELLER; VAN MERRIËNBOER; PAAS, 2019).

A memória de trabalho, uma das funções executivas, que regulam o comportamento orientado a objetivos, incluindo atualização de informações, inibição de respostas irrelevantes e flexibilidade cognitiva (MIYAKE et al., 2000). Essas funções permitem ao estudante selecionar informações relevantes, manter atenção e integrar novos conhecimentos aos esquemas existentes. Diferenças individuais na capacidade da memória de trabalho podem influenciar o desempenho acadêmico, especialmente em tarefas que exigem raciocínio abstrato e compreensão conceitual (COWAN, 2014).

Estudantes com maior capacidade apresentam melhor coordenação de múltiplas informações simultâneas, enquanto aqueles com menor capacidade são mais vulneráveis à sobrecarga. A avaliação da memória de trabalho ocorre frequentemente por meio de tarefas de span, que medem o número máximo de itens que um indivíduo consegue manter e manipular ativamente em curto período. Tarefas simples, como o *Digit Span Forward*, avaliam predominantemente o armazenamento temporário, enquanto tarefas complexas, como *Operation Span*, *Reading Span* e *Listening Span*, envolvem armazenamento e processamento

simultâneos, simulando demandas cognitivas reais (COWAN, 2014; BADDELEY, 2000; MIYAKE et al., 2000).

No ensino de Ciências, essas tarefas permitem analisar a capacidade dos estudantes de lidar com demandas simultâneas, como interpretar gráficos, compreender textos e relacionar conceitos teóricos a experimentos, fornecendo parâmetros para alinhar design instrucional aos limites cognitivos dos aprendizes. O Digit Span é uma medida clássica para avaliação da memória de trabalho e memória de curto prazo, amplamente utilizada em contextos psicológicos, neuropsicológicos e educacionais. Incorporada às escalas de Wechsler, apresenta dígitos que devem ser lembrados na ordem de apresentação (Forward) ou na ordem inversa (Backward) (WECHSLER, 2008). O Digit Span Forward mobiliza principalmente a alça fonológica e o armazenamento temporário passivo (BADDELEY; HITCH, 1974), enquanto o Digit Span Backward exige manipulação ativa, controle atencional e atualização da informação, funções do executivo central (BADDELEY, 2000).

Estudos indicam que o desempenho no Digit Span Backward se correlaciona com habilidades cognitivas superiores, como compreensão leitora, resolução de problemas e aprendizagem conceitual em Ciências (COWAN, 2014), reforçando o papel da memória de trabalho na integração e transformação de informações durante a aprendizagem. Assim, a tarefa de Digit Span constitui instrumento metodológico essencial para investigar diferenças individuais na capacidade cognitiva e o alinhamento entre atividades pedagógicas e limitações da memória de trabalho, fornecendo subsídios para intervenções instrucionais mais eficazes (SWELLER; VAN MERRIËNBOER; PAAS, 2019).

Na presente pesquisa, empregamos a Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) como lente teórico-metodológica para compreender como os diferentes tipos de carga cognitiva (intrínseca, estranha e pertinente) emergem durante a aprendizagem de conceitos de corrente e circuitos elétricos. O Digit Span, por sua vez, foi utilizado para mensurar a capacidade de memória de trabalho dos estudantes, fornecendo um indicador individual do processamento cognitivo e da capacidade de lidar com múltiplas informações simultaneamente. A combinação dessas abordagens permitiu articular aspectos instrucionais e cognitivos, oferecendo uma visão do processo de aprendizagem e possibilitando investigar como o *design* da sequência didática e as características dos sujeitos interagem para influenciar o desempenho e a percepção de esforço mental durante as atividades.

Todos os elementos expostos nessa apresentação do trabalho serão aprofundados nos artigos específicos que subtendem cada um. Em seguida apresentamos os artigos na sequência previamente explicitada.

COMITÊ DE ÉTICA

A submissão de pesquisas que envolvem seres humanos ao Comitê de Ética em Pesquisa é um procedimento fundamental para garantir que todos os aspectos do estudo respeitem os princípios éticos de proteção aos participantes, como consentimento informado, confidencialidade, segurança e minimização de riscos. Esse processo não apenas assegura o cumprimento das normas legais e regulatórias, como também fortalece a credibilidade científica da pesquisa, promovendo a integridade dos dados e a responsabilidade do pesquisador. A avaliação ética permite identificar potenciais riscos, avaliar a pertinência do protocolo e assegurar que os direitos e o bem-estar dos participantes sejam preservados, além de promover transparência e confiabilidade nos resultados obtidos. No caso desta pesquisa de doutorado, o projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia (CEP-FACED/UFBA), em conformidade com a Resolução CNS nº 510/2016, e recebeu aprovação formal, sendo o comprovante de aceite apresentado em anexo, demonstrando que todos os procedimentos adotados respeitam integralmente as diretrizes éticas aplicáveis a pesquisas com participantes humanos.

REFERÊNCIAS

- ACCA, Jesuína L. A. et al. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 151-167, 2003. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6541>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- ALHARBI, A. et al. The effectiveness of simulation-based learning (SBL) on students' knowledge and skills in nursing programs: a systematic review. *BMC Medical Education*, v. 24, n. 1, p. 1099, 2024.
- ALARCON, Diego Antonio Urdanivia; TALAVERA-MENDOZA, Fabiola; PAUCAR, Fabian Hugo Rucano. Evaluation of the serious game ABCCI: usability and gamification in teacher training for science education and environmental sustainability. *IEEE Access*, 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3569258.
- AMANTES, Amanda. *Contextualização no ensino de Física: efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes*. 2009. 275 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- AMANTES, Amanda; COELHO, Geide Rosa; MARINHO, Rafael. A medida nas pesquisas em Educação: empregando o Modelo Rasch para acessar e avaliar traços latentes. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 657-684, 2015. DOI: 10.1590/1983-21172015170306.
- BARROWS, Howard S. Problem-based learning in medicine and beyond: a brief overview. *New Directions for Teaching and Learning*, n. 68, p. 3-12, 1996. DOI: 10.1002/tl.37219966804.

BELL, Stephanie. Project-based learning for the 21st century: skills for the future. *The Clearing House*, v. 83, n. 2, p. 39-43, 2010.

BERBEL, Neusi Aparecida Navas. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2012. DOI: 10.5433/1679-0383.2011v32n1p25.

BIGGS, John; COLLIS, Kevin. *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press, 1982.

BOLLEN, Kenneth A. Latent variables in psychology and the social sciences. *Annual Review of Psychology*, v. 53, p. 605-634, 2002.

BRAGA, N. A. *A teoria cognitiva da aprendizagem multimídia e o desenvolvimento de atividades de alfabetização matemática*. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

CAMEL, Neusa J. C.; PACCA, Jesuína L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 7-26, 2011. DOI: 10.5007/2175-7941.2011v28n1p7.

COELHO, Geide Rosa. *A evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade: um estudo longitudinal*. 2011. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

COELHO, Geide Rosa; BORGES, Oto. A evolução do entendimento dos estudantes sobre o funcionamento do circuito elétrico simples em uma estrutura curricular recursiva. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 11, n. 1, p. 191-210, 2011.

COELHO, Geide Rosa; AMANTES, Amanda. A influência do engajamento sobre a evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 13, n. 1, p. 48-72, 2014.

COLUCI, Marina Zambon Orpinelli; ALEXANDRE, Neusa Maria Costa; MILANI, Daniela. Construção de instrumentos de medida na área da saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 20, n. 3, p. 925-936, 2015.

COWAN, Nelson. Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, v. 26, n. 2, p. 197-223, 2014.

CRESWELL, John W. *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DAN, Alex; REINER, Miriam. Real time EEG based measurements of cognitive load indicates mental states during learning. *Journal of Educational Data Mining*, v. 9, n. 2, p. 31-44, 2017.

DRIVER, Rosalind et al. Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, v. 24, p. 75-100, 1994.

FALCADE, Andressa; ABEGG, Ilse; FALCADE, Laís. Teoria da carga cognitiva: aproximação de ideias e conceitos. *Revista Inter-Ação*, v. 45, n. 3, p. 795-810, 2021.

HESSEL, Roberto et al. Teoria e construção de um gerador eletrostático simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20230359, 2024.

- HODSON, Derek. Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 6, p. 645-670, 2003.
- MAZUR, Eric. *Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa*. Porto Alegre: Penso, 2015.
- MCDERMOTT, Lillian C. et al. *Tutorials in introductory physics*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
- MILLAR, Robin. Um currículo de ciências voltado para a compreensão por todos. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 5, n. 2, p. 146-164, 2003.
- MORAN, José. Mudando a educação com metodologias ativas. In: SOUZA, Carlos Alberto de; MORALES, Ofelia Elisa Torres (org.). *Convergências midiáticas, educação e cidadania*. Ponta Grossa: UEPG, 2015.
- MORTIMER, Eduardo; SCOTT, Philip. *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: McGraw-Hill Education, 2003.
- NOVAK, Joseph D. *Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. 2. ed. New York: Routledge, 2010.
- PAAS, Fred G. W.; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G. Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, v. 6, p. 351-371, 1994.
- PIAGET, Jean. *O juízo moral na criança*. São Paulo: Summus, 1994.
- POLANYI, Michael. *The tacit dimension*. London: Routledge & Kegan Paul, 1966.
- SAVERY, John R. Overview of problem-based learning: definitions and distinctions. In: WALKER, Andrew et al. (ed.). *Essential readings in problem-based learning*. West Lafayette: Purdue University Press, 2015.
- SHIPSTONE, David. Pupils' understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, v. 23, n. 2, p. 92-96, 1988.
- SILVEIRA, Fernando Lang da; MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, 1989.
- SWELLER, John; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G.; PAAS, Fred G. W. Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, v. 10, p. 251-296, 1998.
- THOMAS, John W. *A review of research on project-based learning*. San Rafael: Autodesk Foundation, 2000.
- VIENNOT, Laurence. *Raisonnement en physique: la part du sens commun*. Bruxelles: De Boeck, 1996.
- VLACHOPOULOS, Dimitrios; MAKRI, Agoritsa. The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, v. 14, n. 22, 2017.

CAPÍTULO 1: CARGA COGNITIVA: APROXIMAÇÕES TEÓRICAS PARA INVESTIGAR ASPECTOS DA APRENDIZAGEM

COGNITIVE LOAD: THEORETICAL APPROACHES TO INVESTIGATING ASPECTS OF LEARNING

Resumo

Apresenta-se uma discussão sobre aprendizagem pautada em aspectos da Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), cujos pressupostos estão fundamentados no funcionamento cerebral e na sua relação com a construção do conhecimento. Com os avanços da Neurociência, emergem novas possibilidades para o estabelecimento de conexões entre os processos cognitivos e os dados observáveis, o que contribui para o aprofundamento, no campo educacional, de conhecimentos relativos a aspectos do ensino e da aprendizagem. Tem-se como objetivo apresentar a Teoria da Carga Cognitiva e suas interfaces com o ensino e a aprendizagem, explorando possibilidades a partir de estudos empíricos sobre o tema. A TCCO, proposta por Sweller (1988), considera que o ganho de aprendizagem no ensino depende do alinhamento entre o design instrucional e as características da cognição humana. Nesse sentido, a elaboração de materiais educacionais e de estratégias pedagógicas pode ser favorecida ao se considerar a interação entre os três tipos de Carga Cognitiva: intrínseca, estranha e pertinente. Ao integrar conhecimentos sobre Carga Cognitiva a práticas educacionais, é possível apontar direcionamentos para otimizar o processo de ensino e aprendizagem, delimitando estratégias para minimizar a sobrecarga cognitiva e potencializar um ensino mais eficiente. A presente discussão se mostra relevante para pesquisadores e/ou profissionais da área da Educação fundamentarem propostas e elaborarem materiais didáticos (instrucionais e de avaliação), assim como planejarem ações pedagógicas nos mais diversificados contextos de ensino.

Palavras-chave: Teoria da Carga Cognitiva; Memória de trabalho; Memória de longo prazo, Desing instrucional; Aprendizagem.

Abstract

We present a discussion on learning based on aspects of the Cognitive Load Theory (CLT), whose assumptions are based on brain function and its relationship with the construction of knowledge. With advances in neuroscience, new possibilities emerge for establishing connections between cognitive processes and observable data, which contributes to the deepening, in the educational field, of knowledge related to aspects of teaching and learning. Our objective is to present the Cognitive Load Theory and its interfaces with teaching and learning, exploring possibilities based on empirical studies on the subject. The CLT, proposed by Sweller (1988), considers that the effectiveness of teaching depends on the alignment between instructional design and the characteristics of human cognition. In this sense, the development of educational materials and pedagogical strategies can be favored by considering the interaction between the three types of cognitive load: intrinsic, extraneous and pertinent. By integrating knowledge about cognitive load into educational practices, it is possible to point out directions to optimize the teaching and learning process, defining strategies to minimize cognitive overload and enhance more efficient teaching. This discussion is relevant for researchers and/or professionals in the field of Education to support proposals and develop teaching materials (instructional and assessment), as well as plan pedagogical actions in the most diverse teaching contexts.

Keywords: *Cognitive Load Theory; Working Memory; Long-Term Memory; Instructional Design Learning.*

1- Introdução

Explicar como as pessoas aprendem tem sido objeto de pesquisa de muitas investigações no campo educacional. Um dos aportes teóricos adotados considera que o desenvolvimento cognitivo é determinante para explicar fenômenos de aprendizagem, sendo um foco de estudo comum os processos em que os estudantes abstraem, significam, internalizam, aplicam e generalizam as informações, mediados pela interação (Piaget, 1975; Biggs; Collis, 1982; Commons, 2004; Fischer, 2008).

Nessa perspectiva, a concepção sobre aprendizagem se fundamenta em hipóteses sobre o neurodesenvolvimento para explicar maneiras de interagir com o contexto e com os objetos de conhecimento. Considerando o desenvolvimento cognitivo, o processo de aprendizagem é entendido como dinâmico, compreendendo a mobilização de diferentes habilidades para que novas informações sejam relacionadas, interpretadas e incorporadas ao repertório, o que determina a construção de um novo conhecimento. Assim, a aprendizagem ocorre por sucessivas assimilações, acomodações e reestruturações do arcabouço de conhecimentos já existentes (Piaget, 1964; Fischer, 2008). Argumenta-se que tais habilidades podem ser entendidas em termos de funcionamento do cérebro, pois dependem do seu desenvolvimento para que se tornem mais complexas ao longo da vida. Logo, entender como o cérebro funciona e como é usado para processar, armazenar e utilizar informações contribui potencialmente para o avanço de pesquisas no campo de ensino.

Com o avanço de pesquisas em Neurociência e o surgimento de novas tecnologias para dimensionamento de dados fisiológicos, como os aparelhos de Eletroencefalograma (EEG) e Ressonância Magnética Funcional (fMRI), torna-se possível o emprego de medidas como sinais de ondas cerebrais para o estudo sobre o funcionamento do cérebro. Abre-se um campo para a condução de estudos que, além de interpretar dados observáveis usuais para inferir sobre processos de aprendizagem (como avaliação de performance ou interpretação de discursos), também possam se valer de dados fisiológicos para esse fim, abrindo possibilidades de interfaces diversas para lidar com a complexidade do fenômeno educacional. Uma teoria promissora para o estabelecimento dessa interface é a Teoria de Carga Cognitiva (TCCO), proposta por Sweller (1998).

Um dos pressupostos da TCCO é o de que qualquer instrução só será eficaz se o seu *desenho* estiver levando em consideração as características da cognição humana. Nesse sentido, é fundamental compreender como os processos cognitivos estão relacionados ao cérebro, ou

seja, como se dão o processamento, o armazenamento e a transformação das informações enquanto produtos neurais e quais funções cognitivas atuam no processo de formação do conhecimento.

Buscando contribuir para um aprofundamento das possíveis interfaces entre Neurociência e educação, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e discorrer sobre a Teoria da Carga Cognitiva, assim como apresentar as possibilidades de interpretação de diferentes aspectos do ensino e da aprendizagem nessa perspectiva. Os apontamentos resultantes dessa discussão são relevantes para que pesquisadores e/ou profissionais da área da Educação possam utilizar as informações aqui disponibilizadas como orientação ao construir materiais didáticos (instrucionais e de avaliação) e ao conduzirem ações pedagógicas nos mais diversificados contextos de ensino.

2-Arquitetura Cognitiva Humana

Uma das dificuldades em abordar um tema como cargas cognitivas na área educacional se refere ao uso da mesma nomenclatura para termos distintos no campo da Neurociência. Isso porque as explicações e definições conceituais da TCCO em muitos casos são postas fazendo-se referência a outros conceitos, os quais possuem significados diferentes quando se faz referência a pesquisas educacionais. Segundo Sweller (1998), a concepção da arquitetura cognitiva humana abrange explicações de como ocorrem o processamento, a interação e o armazenamento de informações no cérebro. Essa noção se refere à maneira como as estruturas mentais e as funções cognitivas são organizadas e processadas no cérebro (Shaffer *et al.*, 2003; Sweller, 2008; Andrade-Lotero, 2012). As funções cognitivas são empregadas pelo cérebro para realizar atividades cotidianas e processar informações do ambiente, aplicando-as em atividades mentais como o pensamento e a resolução de problemas.

Dentro de um amplo espectro das funções cognitivas, encontram-se as funções executivas (FE), que representam um conjunto de processos cognitivos que envolvem capacidades de planejamento, execução de atividades complexas e outros processos que permitem que o indivíduo organize e estruture seu ambiente (Foster *et al.*, 1987). Desse modo, as FE não se referem a uma única habilidade ou a um atributo isolado, mas a um conjunto diversificado de capacidades que operam de forma integrada no processo executivo.

De acordo com Miyake *et al.* (2000), há um consenso na literatura de que as funções executivas são um construto multidimensional. Isso significa que existem diferentes facetas desse construto, consideradas inter-relacionadas. A ideia de que as funções executivas são

multidimensionais reflete a complexidade do funcionamento cognitivo humano, na medida em que se reconhece que habilidades como planejamento, memória de trabalho, flexibilidade cognitiva e controle inibitório, embora distintas em suas operações, interagem e se complementam para permitir um comportamento adaptativo eficiente.

A memória de trabalho (MT), ou memória operacional, refere-se ao mecanismo que permite o armazenamento e processamento de informações, bem como a manipulação dessas informações (Baddeley; Hicht, 1974; Baddeley, 2000). Engle *et al.* (1999) defendem que a memória de trabalho possui um componente de armazenamento puro, a memória de curto prazo, e um componente executivo central (CE), que envolve vários processos executivos, como recuperação e atualização de informações ou atenção controlada (seletiva). Conforme o modelo de memória de trabalho desenvolvido por Baddeley e Hitch em 1974, a capacidade de memória não reflete completamente seu aspecto dinâmico.

Em 1974, Baddeley e Hitch apresentaram um modelo de memória de trabalho que tem sido amplamente utilizado pelas ciências cognitivas, o qual trata de um sistema de manipulação de informações a curto prazo com capacidade limitada, envolvendo, simultaneamente, o processamento, a manipulação e o armazenamento temporários de informações. Esses autores propuseram três componentes da memória de trabalho, a saber: o executivo central, o componente fonológico e o viso-espacial, em que o componente nuclear é o executivo central, que possui capacidade de controle atencional.

Baddeley (2000) complementou esse modelo de memória de trabalho adicionando o retentor episódico (*episodic buffer*), ou seja, o quarto componente. Corso e Dorneles (2012) afirmam que o *buffer episodic* corresponde a um sistema de capacidade limitada no qual o armazenamento acontece de forma temporária, contida num código multimodal (que não se restringe às modalidades verbais ou viso-espaciais), sendo capaz de juntar a informação provinda dos sistemas subsidiários, e da memória de longo prazo, numa representação episódica unitária.

A memória de trabalho é responsável por manter e manipular informações temporariamente, facilitando a compreensão e a resolução de problemas em tempo real. A capacidade de retenção e manipulação de informações da memória de trabalho é especialmente relevante na Teoria da Carga Cognitiva, que explica como o cérebro gerencia e processa novas informações. Atkinson e Shiffrin (1968) são responsáveis pelo modelo mais tradicional acerca das divisões da memória a distinção entre memória sensorial, memória de curto prazo e memória de longo prazo, baseado no modelo de múltiplos armazenamentos, em que cada tipo de memória corresponde a um estágio específico do processamento da informação. Carneiro

(2008) explica que nesse modelo a informação é captada através da memória sensorial, onde é mantida frações de segundo após o desaparecimento do estímulo. Em seguida, a informação é transferida para a memória de curto prazo, que retém uma quantidade limitada de informação por menos de um minuto. A todo momento, a informação pode ser esquecida ou, se processada adequadamente, como por meio da recapitulação, pode ser transferida para a memória de longo prazo, onde pode permanecer indefinidamente devido à sua capacidade ilimitada.

De modo geral, a memória sensorial capta informações do ambiente de forma rápida e temporária; a memória de trabalho usa o sistema de atenção para manutenção e manipulação de informações, permitindo a aplicação imediata de conhecimentos, e a memória de longo prazo armazena informações de maneira duradoura, facilitando a recuperação futura. Para Eysenck e Keane (1994), a memória sensorial tem como característica a permanência por algum tempo das informações após o fim da estimulação, o que auxilia na sua análise mais detalhada.

De acordo com Sperling (1960), a memória sensorial permite a retenção das informações recebidas através dos sentidos, como estímulos visuais, auditivos, gustativos, olfativos, táteis ou proprioceptivos, e se caracteriza por sua curtíssima duração caso o estímulo não seja recuperado. Do mesmo modo, Baddeley (1986) define que o conceito de MT está relacionado ao Executivo Central (CE) e à memória de curto prazo (MCP). Nesse contexto, tarefas que exigem apenas armazenamento temporário de informações pode ser diferenciado das que necessitam de armazenamento e processamento de informações de forma simultânea.

Uma das principais características da memória de trabalho é a sua limitada capacidade de retenção de informações. Miller (1956) e Baddeley (1992) apontam esse fato como sendo um desafio que o uso da memória de trabalho impõe. Segundo Miller (1956), essa memória está limitada a cerca de sete elementos de informação, com uma variação de mais ou menos dois elementos que podem ser processados e armazenados ao mesmo tempo.

Cowan (2001) revisou a ideia de capacidade da retenção na memória de trabalho e propôs que a capacidade real da memória de trabalho é mais restrita, situando-se entre quatro e seis itens. Essa revisão traz implicações significativas para explicar como se realizam o processamento de informações, a aprendizagem e as habilidades cognitivas.

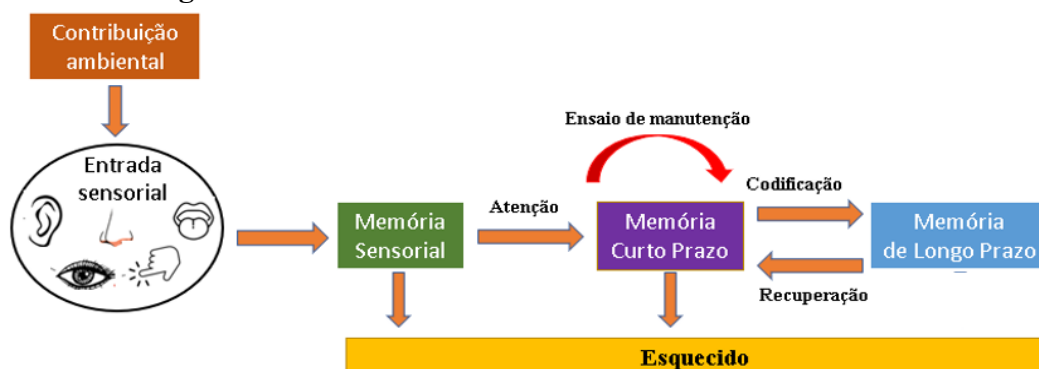
Se a memória de trabalho é limitada, isso pode explicar as dificuldades em manter e compreender grandes volumes de informação simultaneamente. A proposta de Cowan (2001) desafia a visão mais ampla da capacidade da memória de trabalho e sugere que estratégias e abordagens práticas devem levar em conta essas limitações para melhorar a eficiência do processamento cognitivo.

A memória de longo prazo é responsável por armazenar informações por períodos prolongados, sem um período delimitado, podendo durar meses, anos ou até mesmo décadas. Andrade-Lotero (2012) afirma que esse tipo de memória armazena informações em “esquemas” que incorporam múltiplas unidades de informação dentro de uma única unidade de nível superior. Esses esquemas fazem parte do repertório cognitivo, que consiste em conhecimentos e habilidades mais permanentes (Bower, 1975). Os esquemas incluem todas as informações armazenadas na memória que, embora não estejam sendo usadas no momento, são necessárias para a compreensão e o entendimento de uma forma geral.

A Figura 1, a seguir, apresenta o modelo de memória estrutural de multiarmazenamento proposta por Atkinson e Shiffrin (1968); ela ilustra o fluxo da informação no processamento mental, começando com um estímulo do ambiente, como a percepção visual de palavras em um texto, até sua codificação e integração na memória. A extensão e a profundidade dessa integração influenciam a facilidade com que a informação pode ser recuperada posteriormente. A informação precisa ser repetida para ser mantida na memória de curto prazo. Para ser transferida para a memória de longo prazo, essa informação deve ser elaborada, ou seja, precisa ser classificada, organizada, conectada e armazenada junto com o conhecimento já existente na memória de longo prazo (Boruchovitch, 1999).

Dependendo do repertório cognitivo e das estruturas cognitivas do leitor, esquemas prévios podem ser acessados (recuperados) e transferidos para a memória de trabalho. Na memória de trabalho (MT), esses esquemas facilitam o processamento e a compreensão das novas informações. Essas informações são reorganizadas considerando-se as características individuais do sujeito e a capacidade da memória de trabalho. Posteriormente, as informações reorganizadas podem ser processadas em novos esquemas e transferidas para a memória de longo prazo. Caso esse processo não ocorra, as informações permanecerão na memória de curto prazo por um breve intervalo de tempo e serão esquecidas (Boruchovitch, 1999).

Figura 1- Modelo de memória multiarmazenamento



Fonte: Adaptado do modelo de Memória de Atkinson e Shiffrin (1968).

3-Teoria da Carga Cognitiva

A Teoria da Carga Cognitiva, desenvolvida por John Sweller em 1988, explica como a carga de processamento de informações induzida por tarefas de aprendizagem pode afetar a capacidade de receber, processar e organizar novas informações na memória de longo prazo. Essa teoria foi projetada para fornecer diretrizes destinadas a auxiliar na apresentação de informações de maneira a incentivar atividades que otimizem o desempenho (Sweller *et al.*, 1998). De acordo com Cooper (1998), a TCCO descreve a aprendizagem como um sistema em que a memória de longo prazo armazena conhecimentos de forma permanente e a memória de trabalho executa tarefas conscientes, armazenando as informações por um curto período de tempo.

A Carga Cognitiva é uma demanda que emerge a partir da interação do sujeito com o contexto, como por exemplo com uma atividade ou uma tarefa, por isso ela considera as características da tarefa e compreende aspectos individuais do sujeito (como esforço mental) e funções executivas (como memória de trabalho e memória de longo prazo). Para Alves *et al.* (2017), o foco principal da TCCO está na compreensão de como as limitações da capacidade de retenção de informações pela memória operacional, ou seja, a estrutura básica cognitiva dos indivíduos, influenciará a habilidade destes de gerir seus recursos mentais para um determinado fim (aprendizagem, por exemplo) quando confrontados com tarefas que exigem mais ou menos dessa capacidade.

Nesse sentido, a Carga Cognitiva pode ser entendida como um construto multidimensional que se impõe ao sistema cognitivo do aluno durante a realização de uma determinada tarefa (Paas; Aires; Pachman, 2008). Sweller, Van Merriënboer e Paas (1998) sistematizaram um modelo para a Carga Cognitiva que passa a ser utilizado e referenciado em diferentes estudos, propondo a existência de três tipos de Carga, interdependentes e somativas: Carga Intrínseca (CI - *Intrinsic Load*); Carga Estranha ou Irrelevante (CE - *Extraneous Load*) e Carga Relevante ou Pertinente (CP - *Germane Load*).

De acordo com Sweller *et al.* (2019), a Carga Cognitiva Intrínseca (CI) refere-se à complexidade da informação que está sendo processada e se relaciona ao conceito de interatividade do elemento². Nessa perspectiva, a CI diz respeito à dificuldade inerente à tarefa e aos atributos cognitivos do sujeito em relação ao conteúdo abordado na tarefa. Por exemplo, resolver uma operação de soma do tipo $35 + 12$ será sempre mais fácil do que encontrar a

² Interatividade do elemento aqui é considerada o número de elementos que devem ser processados na memória de trabalho ao mesmo tempo, como defendem Chen e Kalyuga (2020).

solução de uma operação de soma de nove números ($9+7+8+3+(-5) +4+8+9+4$), como exemplificado na Figura 2 a seguir. Sendo assim, resolver a operação 2 implicará maior CI do que a operação 1.

Figura 2- Exemplo de operações de soma com diferentes dificuldades

<p>1) Resolva a seguinte operação: $35 + 12 = 47$</p>	<p>2) Resolva a seguinte operação: $9+7+8+3+(-5)+4+8+9+4= 47$</p>
---	---

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Carga Cognitiva Intrínseca está relacionada ao grau de interatividade dos elementos de informação que serão processados. Quanto maior a interação entre o sujeito e a tarefa, ou seja, quanto maior a quantidade de elementos, mais complexa será essa tarefa e, conseqüentemente, maior será a Carga Cognitiva Intrínseca envolvida nesse processo, como no caso da operação 2 da Figura 2.

A Carga Intrínseca (*Intrinsic Load*) está associada diretamente a uma tarefa ou instrução específica, estando implícita ao material e diretamente ligada aos elementos que precisam ser processados (Sweller, 1988; Debus; Van de Leemput, 2014). A CI também se relaciona com o repertório cognitivo dos indivíduos e com o conteúdo e o formato da tarefa. Alves *et al.* (2017) mencionam que um aluno com domínio prévio de um assunto e esquemas cognitivos formados sobre o conteúdo necessitará de menos recursos cognitivos para aprender um novo conceito, em contraste com um aluno que está sendo exposto ao conteúdo pela primeira vez. Portanto, a carga intrínseca também está associada à quantidade de recursos cognitivos exigidos para se compreender o conteúdo de uma aula.

Por exemplo, indivíduos com menos conhecimentos de operação de soma necessitarão de maior interatividade de seus recursos para resolver ambas as operações da Figura 2. Em contrapartida, indivíduos com alto conhecimento sobre o conteúdo, ou seja, com esquemas formados a respeito de operações de soma, resolverão a tarefa com menor interação, resultando em uma Carga Cognitiva Intrínseca reduzida. Portanto, a mesma tarefa pode demandar diferentes níveis de esforço mental e Carga Cognitiva Intrínseca, dependendo do repertório cognitivo dos sujeitos.

A Carga Relevante ou Pertinente (CP - *Germane Load*) está intrinsecamente relacionada ao repertório cognitivo dos sujeitos. Ela é responsável por direcionar os recursos da memória de trabalho para atividades diretamente ligadas ao aprendizado, concentrando-se nas

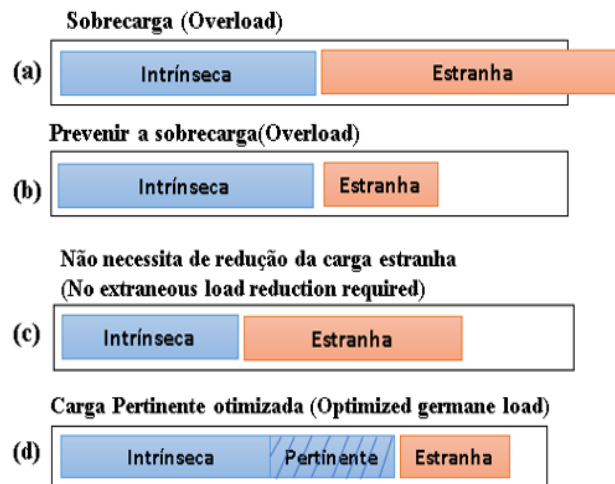
informações essenciais da tarefa (Sweller; Van Merriënboer; Paas, 2019). Dessa forma, a CP contribui para a formação de esquemas que serão transferidos para a memória de longo prazo.

A Carga Cognitiva Estranha (CE - *Extraneous Load*), também chamada de carga irrelevante, é determinada pela maneira como os materiais de aprendizagem são estruturados e exibidos. Para Sweller *et al.* (2019), a CE é determinada de acordo com o modo como as informações são apresentadas e como o aluno utiliza essas informações durante a resolução da tarefa. Paas e Van Merriënboer (2020) afirmam que a CE pode ser causada por características da tarefa (como seu formato), por aspectos do aluno (por exemplo, pensamentos intrusivos sobre o fracasso) e por aspectos do ambiente de aprendizagem (por exemplo, distratores em sala de aula).

A Carga Cognitiva Estranha é variável e pode depender das características individuais de cada sujeito; ou seja, o que é ruído para um indivíduo pode não sê-lo para outro, pois depende da arquitetura cognitiva e do nível de expertise do sujeito em relação ao conteúdo abordado. Por exemplo, uma tarefa que apresenta informações repetidas em formato de texto, gráfico e tabela pode se apresentar com alta carga estranha para os sujeitos com baixo conhecimento prévio sobre o conteúdo abordado, visto que essa repetição exige grande esforço mental para processar e gerenciar todas as informações, deixando pouco ou nenhum espaço na memória de trabalho para aprender. Em contrapartida, um sujeito com amplo conhecimento sobre o conteúdo realizará a mesma tarefa com maior facilidade, uma vez que ele inibe as informações irrelevantes e emprega esquemas que ocupam menos espaço na memória de trabalho.

As cargas cognitivas intrínseca, estranha e pertinente são aditivas, e essa soma resulta em uma carga total. Diante disso, as instruções e tarefas de ensino que objetivam aumentar o desempenho dos estudantes e contribuir com sua aprendizagem devem procurar reduzir a carga irrelevante e aumentar a carga pertinente, respeitando o limite da capacidade da memória de trabalho. É importante considerar que a carga estranha só se torna problemática para os estudantes se a carga intrínseca também for elevada e a soma das duas ultrapasse os limites da memória de trabalho, causando uma sobrecarga cognitiva (*Cognitive Overload*). Para prevenir essa sobrecarga, pode-se reduzir a carga estranha, como ilustrado nas Figuras 3(a) e 3(b).

Figura 3- A natureza aditiva da carga intrínseca e estranha



Redução da carga estranha como prevenção da sobrecarga cognitiva (*Cognitive Overload*).
 Fonte: Adaptado de Van Merriënboer e John Sweller (2009).

Van Merriënboer e Sweller (2009) apontam que, em situações em que a carga intrínseca é baixa, a carga estranha é alta e a soma entre elas permanece dentro dos limites da memória de trabalho, como ilustrado na Figura 3(c), reduzir a carga estranha não será necessário, pois terá pouco ou nenhum efeito na aprendizagem, já que os recursos cognitivos são suficientes para lidar com essas cargas. Portanto, de forma geral, quanto mais a Carga Cognitiva Estranha/Irrelevante for reduzida, mais recursos da memória de trabalho poderão ser aproveitados e utilizados na construção de esquemas cognitivos. Isso torna mais fácil induzir a Carga Cognitiva pertinente para a aprendizagem, conforme demonstrado na Figura 3(d).

A Teoria da Carga Cognitiva recomenda que provas, materiais instrucionais, aulas e palestras sejam construídos mantendo a Carga Cognitiva Estranha/Irrelevante no nível mais baixo possível. Assim, o sujeito terá recursos cognitivos disponíveis para processar as informações inerentes à tarefa ou prova, além de utilizar seu repertório cognitivo, aumentando suas chances de obter êxito na execução da tarefa e na trajetória de aprendizagem. Nessa perspectiva, poder acessar e avaliar os diferentes tipos de cargas cognitivas presentes em proposições didáticas se mostra um procedimento em potencial para que a construção de materiais instrucionais seja conduzida de maneira a otimizar sua capacidade para alcançar o melhor aprendizado possível.

4-Propostas de acesso à Carga Cognitiva

Acessar a Carga Cognitiva não é uma tarefa simples devido ao seu caráter multidimensional e às complexas relações estabelecidas teoricamente entre o desempenho, a carga mental e o esforço mental.

Através da aferição da quantidade de esforço mental investido na realização de uma tarefa, é possível avaliar sua eficiência, assim como o conhecimento dos indivíduos (Kirschner; Kirschner, 2012). Alves *et al.* (2017) apontam que existem três formas principais de mensurar o esforço mental: a) medidas subjetivas; b) medidas baseadas no desempenho; c) medidas fisiológicas.

As técnicas subjetivas são baseadas na suposição de que as pessoas são capazes de fazer uma introspecção sobre seus processos cognitivos e relatar a quantidade de esforço mental dispendido (Sweller; Van Merriënboer; Paas, 1998). Essas medidas subjetivas são realizadas através de escalas, as quais são muito utilizadas na pesquisa educacional e psicológica, aplicadas geralmente após uma intervenção ou a realização de alguma tarefa.

Nessa perspectiva de escalas, a Carga Cognitiva é normalmente medida a partir de classificações numéricas como a Likert, e os dados são empregados para realizar análises estatísticas. A escala mais popular para essas medidas com fins educacionais foi proposta por Paas em 1992. Por meio dessa escala, os sujeitos são solicitados a avaliar o esforço mental investido enquanto aprendem, em uma escala do tipo Likert de item único de nove pontos, variando de “esforço mental muito, muito baixo” a “esforço mental muito, muito alto”.

Um outro instrumento de medidas subjetivas utilizado é o NASA TLX. Esse instrumento avalia o esforço mental a partir da perspectiva dos entrevistados. Diniz (2003) escreve que responder a escala NASA gera um escore geral da percepção dos indivíduos em relação à Carga Cognitiva a partir da avaliação de seis itens distribuídos em subescalas e das escolhas entre pares. A escala NASA é uma escala de 20 pontos e foi desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para avaliação de tarefas realizadas por astronautas em treinamento.

Leppink *et al.* (2013) aperfeiçoaram a primeira escala utilizada e construíram um novo instrumento psicométrico no qual os diferentes tipos de carga cognitiva poderiam ser mensurados. Esse novo instrumento é formado por 10 itens: os três itens iniciais correspondem a dados de carga intrínseca, os itens 4, 5 e 6 identificam a carga estranha, e os quatro itens finais (7, 8, 9 e 10) referem-se às informações de Carga Cognitiva Pertinente. Essa escala tem sido utilizada para avaliar atividades como palestras, aulas, sessões de discussão, treinamento de habilidades, entre outras, devendo ser aplicada após a ação que será avaliada. As medidas adequadas dos três tipos de Carga Cognitiva (Intrínseca, Estranha e Pertinente) podem contribuir para se compreender por que a aprendizagem pode diferir em função dos formatos instrucionais e das características do aluno.

As medidas baseadas em desempenho são consideradas simples e se referem à quantidade de acertos e erros do sujeito ao realizar uma tarefa. Além disso, as medidas de desempenho podem ser relacionadas a tarefas secundárias (ou seja, aquelas que ocorrem concomitantemente a outra tarefa) e a medidas fisiológicas de Carga Cognitiva. Sweller, Van Merriënboer e Paas (2019) apontam que os resultados de desempenho em uma tarefa secundária podem ser um indicador de Carga Cognitiva imposta por uma tarefa primária. De acordo com Alves *et al.* (2017), a tarefa secundária normalmente é uma tarefa simples que requer a utilização mínima de recursos atencionais, mas que, quando os recursos são esgotados pela tarefa primária, tende a se tornar de difícil realização.

Klepsch, Schmitz e Seufert (2017) realizaram dois estudos para validar instrumentos de medição das cargas cognitivas intrínseca, estranha e pertinente. Os resultados indicaram que os instrumentos são úteis, viáveis e confiáveis.

Outra forma de avaliar cargas cognitivas diz respeito ao dimensionamento de observáveis fisiológicos que possam ser interpretados a partir de relações que são estabelecidas entre eles e os atributos definidos pela teoria (esforço mental, memória de trabalho etc.). As técnicas fisiológicas são baseadas na suposição de que as mudanças no funcionamento cognitivo são refletidas por medidas fisiológicas que variam durante a realização de uma tarefa. Os avanços relativos a técnicas de coleta de dados no campo da Neurociência, tais como o uso de neuroimagem, Ressonância Magnética Funcional (fMRI), Eletroencefalograma (EEG) e rastreamento ocular (Pupilometria), têm proporcionado um campo fértil para a investigação de cargas cognitivas a partir de medidas fisiológicas (Whelan, 2007; Antonenko *et al.*, 2010; Antonenko; Niederhauser, 2010; Ahmadi *et al.*, 2024).

Integrar dados fisiológicos com os comportamentais é um procedimento metodológico promissor para superar as limitações das avaliações baseadas exclusivamente em autoavaliações e fornecer uma compreensão mais abrangente da Carga Cognitiva.

5-Carga Cognitiva e aprendizagem

Entender as demandas e os aspectos individuais de como as pessoas se esforçam para interagir com qualquer tipo de material proposto é crucial para que o objetivo de ensino seja alcançado. Cada indivíduo possui um repertório cognitivo único e utiliza as mesmas instruções de forma diferente. As diferenças no repertório cognitivo, a interação com a tarefa e a familiaridade com o conteúdo influenciam significativamente a trajetória de aprendizagem. Considerar o esforço mental necessário para aprender um novo conceito ou realizar uma tarefa

específica nos ajuda a identificar possíveis dificuldades e ajustar o nível de complexidade e o design das instruções para melhor atender às necessidades dos alunos.

John Sweller, ao longo da sua pesquisa sobre Carga Cognitiva, dedicou-se a identificar e testar uma série de efeitos que, quando aplicados, resultam na melhoria da Carga Cognitiva Total. Entre esses efeitos destacam-se: os problemas sem objetivo específico (Sweller, 1983), o efeito da redundância (Chandler; Sweller, 1991), o efeito da atenção dividida (Ayres; Sweller, 2005) e o efeito dos problemas resolvidos (Sweller, 2006). Van Merriënboer e Sweller (2010) utilizaram 15 efeitos e estratégias da TCCO aplicados à educação profissional em saúde. Compreender esses efeitos permite aos educadores criar estratégias de ensino mais personalizadas, que consideram as capacidades individuais e promovem uma aprendizagem mais eficaz.

Nessa perspectiva, Sweller *et al.* (2006) apresentam em seu livro, intitulado *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load* (Eficiência na Aprendizagem: Diretrizes Baseadas em Evidências para Gerenciar a Carga Cognitiva), 29 recomendações instrucionais com base no conhecimento da cognição humana que podem ser usadas para impor Carga Cognitiva Pertinente por meio de técnicas que podem resultar em aprendizagem, como reportado no Quadro 1. Essas instruções foram baseadas em experimentos múltiplos e sobrepostos, realizados em vários centros de pesquisa ao redor do mundo, usando uma variedade de materiais e de amostras populacionais (Sweller; Van Merriënboer; Paas, 2019).

Quadro 1- Diretrizes e estratégias de design recomendadas pela TCCO

DIRETRIZES	
Use narração visual e de áudio para explorar os recursos da memória de trabalho	
1	Use diagramas para otimizar o desempenho em tarefas que requeiram manipulações espaciais.
2	Use diagramas para promover a aprendizagem de regras envolvendo relações espaciais.
3	Use diagramas para ajudar os aprendentes a construir uma compreensão mais profunda.
4	Explique o diagrama com palavras apresentadas em áudio-narração.
Concentre a atenção e evite a atenção dividida	
5	Use pistas e sinais para focar a atenção em conteúdos visuais e textuais importantes.
6	Integre o texto explicativo próximo aos visuais correspondentes nas páginas e telas.
7	Integre, em um só modo de apresentação, palavras e visuais usados para ensinar aplicações de computador.
Elimine os ruídos para gerenciar a capacidade limitada da memória de trabalho	
8	Reduza o conteúdo ao essencial.
9	Elimine elementos visuais, textos e áudios estranhos ao conteúdo a ser aprendido.
10	Elimine a redundância nos modos de apresentação do conteúdo.
Forneça suporte de memória externa para reduzir a carga na memória de trabalho	
11	Forneça auxílios/subsídios para o desempenho sob a forma de memória externa suplementar.
12	Elabore auxílios/subsídios para o desempenho aplicando as técnicas de gerenciamento da Carga Cognitiva.
Use segmentação, sequenciamento e o ritmo do aluno para impor o conteúdo gradualmente	

13	Ensine as componentes do sistema antes de ensinar o processo completo.
14	Ensine o conhecimento de apoio/suporte separadamente dos passos do procedimento.
15	Considere os riscos de sobrecarga cognitiva antes de elaborar um ambiente de tarefa-integral (<i>whole task</i>).
16	Dê aos aprendentes o controle sobre o ritmo e gerencie a Carga Cognitiva quando o ritmo tiver de ser controlado pelo sistema instrucional.
Transição dos Exemplos Resolvidos para a Prática: impor trabalho mental gradualmente	
17	Substitua alguns problemas a resolver por exemplos resolvidos.
18	Use “exemplos parcialmente resolvidos” para promover o processo de aprendizagem.
19	Faça a transição de “exemplos resolvidos” a exercícios a resolver com “ <i>forword fading</i> ”.
20	Apresente “exemplos resolvidos” e “exemplos parcialmente resolvidos” em formatos que minimizem a Carga Cognitiva Estranha.
21	Use exemplos resolvidos diversos para promover a transferência do aprendizado.
22	Ajude os alunos a explorar exemplos por meio de autoexplicações.
23	Transição de “exemplos resolvidos” para “exercícios a resolver” à medida que os aprendentes ganham expertise.
Estratégias para lidar com o efeito especialidade de reversão	
24	Ajude os aprendentes a automatizar novos conhecimentos e habilidades.
25	Promova uma prática (ensaio) mental do conteúdo complexo após os modelos mentais estarem formados.
26	Escreva textos com alta coerência para leitores com pouco conhecimento.
27	Evite interromper a leitura de leitores com pouca habilidade.
28	Elimine conteúdos redundantes para os aprendentes mais experientes.
29	Para alunos novatos, elabore aulas com ensino dirigido (direto, explícito) em vez de aulas por redescoberta guiada.

Fonte: Adaptado de Sweller *et al.* (2006).

As diretrizes apresentadas no Quadro 1 podem servir como um guia para a preparação de aulas, palestras, materiais instrucionais, tarefas e avaliações de desempenho, entre outros. Por exemplo, um palestrante pode utilizar as diretrizes de 5 a 10 para ajudar na concentração e evitar a atenção dividida, além de eliminar ruídos. Isso ajudará a montar a apresentação utilizando o princípio de multimídia, de forma a reduzir a carga estranha e prender a atenção do público, garantindo que eles compreendam o tema debatido (carga pertinente).

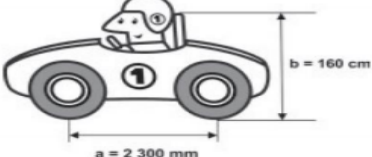
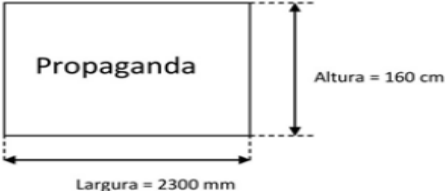
Como apontado por Mayer (2001), o princípio da multimídia sugere que os alunos aprendem melhor quando palavras e imagens são combinadas, em vez de usar apenas palavras. Esse princípio destaca que a aprendizagem é mais eficaz quando construímos recursos multimídia que integram palavras e imagens, como no estudo de conceitos geométricos, em que a combinação de explicações textuais e visuais facilita a compreensão do aluno. No ensino da Matemática, essa abordagem pode ser avaliada através da resolução de problemas quando os alunos são incentivados a aplicar o material apresentado de novas maneiras (Mayer, 2003).

Os professores devem se atentar ao efeito reverso; de acordo com Van Merriënboer e Sweller (2010), esse aspecto indica que princípios que funcionam bem para alunos iniciantes na aprendizagem do conteúdo podem não funcionar bem ou podem até gerar efeitos negativos para alunos mais experientes. Estudantes com menos conhecimento prévio podem necessitar de materiais mais detalhados e guiados, enquanto aqueles com maior conhecimento podem se

beneficiar de tarefas mais complexas, menos detalhadas, que desafiem suas habilidades cognitivas. Esse efeito pode ser evitado seguindo as diretrizes 24, 25, 26, 27, 28 e 29, apresentadas no Quadro 1.

Do ponto de vista instrucional, analisar o design de testes é fundamental para avaliar o esforço mental exigido. Identificar se um teste demanda mais ou menos esforço mental, ou seja, se está impondo uma carga estranha/irrelevante excessiva ou adequada, contribui para fazer ajustes nos instrumentos de avaliação. Ao elaborar uma avaliação, o professor poderá, com base nas diretrizes 1 a 10, construir perguntas mais diretas, com menos efeito de atenção dividida ou efeito da redundância. Chagas e Kleinke (2019) discutem a influência do desempenho entre homens e mulheres em uma prova de múltipla escolha com itens de matemática que possuem maior ou menor Carga Cognitiva Estranha/Irrelevante. Utilizando itens originais (IO) da prova do ENEM, eles transformaram esses itens em versões com Carga Cognitiva Reduzida (IR), conforme mostrado na Figura 3. Os resultados da pesquisa indicam que, ao simplificar os contextos dos itens do ENEM para um formato mais enxuto e com um construto matemático mais evidente, houve um benefício maior para as mulheres em comparação aos homens.

Figura 4- Questão da prova do ENEM e sua respectiva versão reduzida

<p>IO - 01 (Enem 2011) Um mecânico de uma equipe de corrida necessita que as seguintes medidas realizadas em um carro sejam obtidas em metros: a) distância a entre os eixos dianteiro e traseiro; b) altura b entre o solo e o encosto do piloto.</p>  <p>Ao optar pelas medidas a e b em metros, obtêm-se, respectivamente, a) 0,23 e 0,16 b) 2,3 e 1,6 c) 23 e 16 d) 230 e 160 e) 2300 e 1600</p>	<p>IR - 01 Considere a seguinte placa de propaganda e suas dimensões</p>  <p>Ao optar pelas medidas da largura e da altura em metros, obtêm-se, respectivamente, a) 0,23 e 0,16 b) 2,3 e 1,6 c) 23 e 16 d) 230 e 160 e) 2300 e 1600</p>
--	--

Fonte: Chagas e Kleinke (2019).

Testes bem desenhados são aqueles que avaliam com precisão o conhecimento dos alunos sem adicionar cargas desnecessárias que poderiam interferir no desempenho. Essa abordagem de avaliação e ajuste permite criar instrumentos que melhor avaliam as habilidades e os conhecimentos das pessoas. Ao reduzir a carga estranha/irrelevante desnecessária, os alunos podem concentrar seus recursos cognitivos na resolução de problemas, o que melhora a efetividade das avaliações.

6- Considerações finais

A Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), proposta por Sweller (1988), defende que a efetividade do ensino está relacionada diretamente ao alinhamento do design instrucional com as características da cognição humana. Compreender a estrutura e o funcionamento do cérebro no processamento, armazenamento e transformação das informações é crucial para fundamentar teorias de aprendizagem que dão suporte à elaboração de estratégias de ensino e de materiais instrucionais. Como consequência dessa aceção, é posta a necessidade de adaptar métodos de ensino que considerem as diversas cargas cognitivas envolvidas no processo de aprendizagem.

Este artigo apresentou uma visão geral da Teoria da Carga Cognitiva e suas interfaces com o ensino e a aprendizagem, destacando a importância de um design instrucional que minimize a sobrecarga cognitiva e maximize a eficiência do aprendizado. As cargas cognitivas estão relacionadas tanto com a execução da tarefa quanto com o repertório do sujeito, além de influenciarem no processo de construção de esquemas e aprendizagem que acontece na limitada memória de trabalho.

O modelo sistematizado da Carga Cognitiva é empregado em diferentes estudos e pauta-se na existência de três tipos de carga, que são as cargas intrínseca, estranha e pertinente. Através da exploração de estudos empíricos e de mensuração da Carga Cognitiva, foi possível evidenciar como a combinação de medidas autodeclaradas, medidas de desempenho e medidas fisiológicas pode proporcionar uma análise mais precisa das demandas cognitivas.

Espera-se que este trabalho contribua para a ampliação da divulgação de estudos sobre a Carga Cognitiva na área educacional. Além disso, as informações apresentadas oferecem, ainda que de maneira sumarizada, orientação prática para pesquisadores e profissionais da Educação na construção de materiais didáticos mais robustos que possam subsidiar investigações e abordagens pedagógicas. Ao aplicar os princípios da TCCO, os educadores poderão ajustar suas estratégias de ensino de acordo com a arquitetura cognitiva dos alunos.

Dessa forma, embora o tema ainda necessite de mais estudos e pesquisas empíricas, a teoria tem potencial para inovar e melhorar o processo de ensino e aprendizagem. A integração de conhecimentos sobre Carga Cognitiva com práticas educacionais pode contribuir significativamente em diferentes aspectos do cenário da educação, possibilitando que pesquisadores, professores e profissionais dessa área desenvolvam materiais mais adaptados às necessidades e demandas cognitivas dos alunos.

7-Referências

- AHMADI, M. et al. EEG, pupil dilations, and other physiological measures of working memory load in the Sternberg task. *Multimodal Technologies and Interaction*, v. 8, n. 4, p. 34, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2414-4088/8/4/34>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- ALVES, M. V. C. et al. As dimensões da carga cognitiva e o esforço mental. *Revista Brasileira de Psicologia*, v. 4, n. 1, p. 2-16, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revbraspsicol/issue/download/1843/490>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- ANDRADE-LOTTERO, L. A. Teoria da carga cognitiva, design multimídia e aprendizagem: um estado da arte. *Magis: Revista Internacional de Investigación en Educación*, v. 5, n. 10, p. 75-92, 2012. DOI: 10.11144/Javeriana.m5-10.tccd.
- ANTONENKO, P. D.; NIEDERHAUSER, D. S. The influence of leads on cognitive load and learning in a hypertext environment. *Computers in Human Behavior*, v. 26, p. 140-150, 2010. DOI: 10.1016/j.chb.2009.10.014.
- ANTONENKO, P. D. et al. Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, v. 22, p. 425-438, 2010. DOI: 10.1007/s10648-010-9130-y.
- ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. Human memory: a proposed system and its control processes. In: SPENCE, K. W.; SPENCE, J. T. (ed.). *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press, 1968. p. 89-195.
- AYRES, P.; SWELLER, J. The split-attention principle in multimedia learning. In: MAYER, R. E. (ed.). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 135-146. DOI: 10.1017/CBO9780511816819.009.
- BADDELEY, A. D. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, v. 4, p. 417-423, 2000. DOI: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2.
- BADDELEY, A. D.; HITCH, G. Working memory. In: BOWER, G. A. (ed.). *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press, 1974. p. 47-89.
- BIGGS, J. B.; COLLIS, K. F. *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press, 1982.
- BLAIR, C.; DIAMOND, A. Biological processes in prevention and intervention: the promotion of self-regulation as a means of preventing school failure. *Development and Psychopathology*, v. 20, p. 899-911, 2008. DOI: 10.1017/S0954579408000436.
- BORUCHOVITCH, E. Estratégias de aprendizagem e desempenho escolar: considerações para a prática educacional. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, v. 12, n. 2, 1999. DOI: 10.1590/S0102-79721999000200008.

CARNEIRO, M. P. Desenvolvimento da memória na criança: o que muda com a idade? *Psicologia: Reflexão e Crítica*, v. 21, p. 51-59, 2008. DOI: 10.1590/S0102-79722008000100007.

CHANDLER, P.; SWELLER, J. Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, v. 8, n. 4, p. 293-332, 1991. DOI: 10.1207/s1532690xci0804_2.

CHEN, O.; KALYUGA, S. Exploring factors influencing the effectiveness of explicit instruction first and problem-solving first approaches. *European Journal of Psychology of Education*, v. 35, n. 3, p. 607-624, 2020. DOI: 10.1007/s10212-019-00445-5.

CLARK, R. C.; NGUYEN, F.; SWELLER, J. *Efficiency in learning: evidence-based guidelines to manage cognitive load*. San Francisco: Pfeiffer, 2006.

COMMONS, M. L.; PEKKER, A. Hierarchical complexity: a formal theory. 2004. Disponível em: [https://dareassociation.org/documents/Hierarchical%20Complexity%20-%20A%20Formal%20Theory%20\(Commons%20&%20Pekker\).pdf](https://dareassociation.org/documents/Hierarchical%20Complexity%20-%20A%20Formal%20Theory%20(Commons%20&%20Pekker).pdf). Acesso em: 7 jul. 2021.

CORSO, L. V.; DORNELES, B. V. Qual o papel que a memória de trabalho exerce na aprendizagem da matemática? *Bolema*, v. 26, p. 627-648, 2012. DOI: 10.1590/S0103-636X2012000200011.

COWAN, N. The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, v. 24, n. 1, p. 87-114, 2001. DOI: 10.1017/S0140525X01003922.

DEBUE, N.; VAN DE LEEMPUT, C. What does germane load mean? An empirical contribution to cognitive load theory. *Frontiers in Psychology*, 2014. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01099.

DINIZ, R. L. *Avaliação das demandas física e mental no trabalho do cirurgião em procedimentos eletivos*. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ENGLE, R. W. et al. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, v. 128, n. 3, p. 309-331, 1999. DOI: 10.1037/0096-3445.128.3.309.

EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. *Psicologia cognitiva: um manual introdutório*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

FISCHER, K. W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, v. 87, p. 477-531, 1980. DOI: 10.1037/0033-295X.87.6.477.

FRIEDMAN, N. P.; MIYAKE, A. Unity and diversity of executive functions. *Cortex*, v. 86, p. 186-204, 2017. DOI: 10.1016/j.cortex.2016.04.023.

- KIRSCHNER, P. A.; KIRSCHNER, F. Mental effort. In: SEEL, N. M. (ed.). *Encyclopedia of the sciences of learning*. New York: Springer, 2012. DOI: 10.1007/978-1-4419-1428-6.
- KLEPSCH, M.; SCHMITZ, F.; SEUFERT, T. Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, v. 8, p. 1997, 2017. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01997.
- LEPPINK, J. et al. Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, v. 45, p. 1058-1072, 2013. DOI: 10.3758/s13428-013-0334-1.
- MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two. *Psychological Review*, v. 63, n. 2, p. 81-97, 1956. DOI: 10.1037/h0043158.
- NASA. *NASA-TLX: task load index*. Moffett Field: NASA-Ames Research Center, 1986.
- PAAS, F. G. W.; VAN MERRIËNBOER, J. J. G. Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, v. 6, p. 351-371, 1994. DOI: 10.1007/BF02213420.
- PIAGET, J. *Seis estudos de psicologia*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2014.
- SOUZA, N. P. C. *Teoria da carga cognitiva: origem, desenvolvimento e diretrizes aplicáveis ao processo ensino-aprendizagem*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Matemáticas) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- SWELLER, J. Cognitive load theory. In: *Psychology of learning and motivation*. San Diego: Academic Press, 2011.
- SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. *Cognitive load theory*. New York: Springer, 2011.
- SWELLER, J.; MAWER, R. F.; WARD, M. R. Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, v. 112, n. 4, p. 639-661, 1983.
- VAN MERRIËNBOER, J. J. G.; SWELLER, J. Cognitive load theory in health professional education. *Medical Education*, v. 44, n. 1, p. 85-93, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x.
- WHELAN, R. Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia. *Educational Research Review*, v. 2, p. 1-12, 2007. DOI: 10.1016/j.edurev.2006.11.001.

CAPÍTULO 2: ENTRE CORRENTES E CIRCUITOS: CONSTRUINDO UMA INTERVENÇÃO DIDÁTICA A PARTIR DE METODOLOGIAS ATIVAS PARA INTEGRAR A FÍSICA AO CELULAR

BETWEEN CURRENTS AND CIRCUITS: BUILDING DIDACTIC INTERVENTION
BASED ON ACTIVE METHODOLOGIES TO INTEGRATE CELLULAR PHYSICS

RESUMO

Para que os recursos educacionais utilizados em sala de aula sejam adequados, eficazes e alinhados aos objetivos de ensino-aprendizagem, é necessário passar pelo processo de validação. Diante dessa premissa metodológica, o trabalho objetiva apresentar o detalhado processo de construção e validação por pares de uma Sequência Didática (SD) com caráter inovador. A SD, intitulada "ENTRE CORRENTES E CIRCUITOS", integra a Física e o celular como ponto de partida para o ensino de Corrente e Circuitos Elétricos, sendo pautada em Metodologias Ativas e tecnologias diversificadas. Os procedimentos metodológicos envolveram a elaboração do material instrucional (que inclui um site complementar) e a avaliação por juízes especialistas, utilizando um instrumento específico construído para esse fim. Os resultados revelaram alta concordância (IPC) entre os avaliadores quanto à adequação, relevância e coerência da SD, atestando sua validade e confiabilidade. Este estudo contribui para o ensino de ciências na dimensão acadêmica ao fornecer um modelo metodológico robusto para a construção e certificação da qualidade de intervenções educacionais futuras.

Palavras-chave: Validação; Sequência Didática; Metodologias Ativas; Ensino de Física; Tecnologia.

ABSTRACT

In order for the educational resources used in the classroom to be appropriate, effective, and aligned with teaching-learning objectives, they must undergo a validation process. Based on this methodological premise, this work aims to present the detailed process of construction and peer validation of an innovative Didactic Sequence (DS). The DS, titled "BETWEEN CURRENTS AND CIRCUITS," integrates Physics and the smartphone as a starting point for teaching Electric Current and Circuits, grounded in Active Methodologies and diversified technologies. The methodological procedures involved the development of instructional material (including a complementary website) and evaluation by expert judges, using a specific instrument designed for this purpose. The results revealed a high level of agreement (CVI - Content Validity Index) among the evaluators regarding the adequacy, relevance, and coherence of the DS, attesting to its validity and reliability. This study contributes to science education in the academic dimension by providing a robust methodological model for the construction and quality certification of future educational interventions.

Keywords: Validation; Didactic Sequence; Active Methodologies; Physics Teaching.

1. Introdução

Ensinar conteúdos científicos de forma relevante, contextualizada e crítica é o imperativo da educação contemporânea. Em resposta a essa demanda, diversas metodologias

têm sido implementadas para preparar os estudantes a enfrentarem os complexos desafios do cotidiano. Entre as mais relevantes, destacam-se o *Problem-Based Learning* (PBL), a Aprendizagem por Pares e as abordagens STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), que buscam promover a aplicação prática e integrada de conceitos.

O foco de tais propostas está na integração entre tecnologia e ensino contextualizado na Educação. Essa convergência é concebida atualmente como fundamental, pois subsidia o desenvolvimento das competências necessárias para interagir e inovar em uma sociedade tecnológica e digital (REDECKER, PUNIE, 2017). Ferramentas como simuladores, aplicativos educacionais e laboratórios virtuais não apenas tornam o aprendizado mais interativo e envolvente, mas também permitem a personalização de materiais instrucionais, posicionando o aluno no centro do processo.

É neste cenário de inovação que as Metodologias Ativas têm sido adotadas no contexto educacional, mais especialmente no ensino de Ciências, como uma ponte importante para integração entre conhecimentos científicos e tecnológicos (Santos e Castaman, 2022). Nessa perspectiva, o professor atua como um mediador, sendo que a produção de materiais didáticos é feita de modo que o foco esteja no protagonismo discente e em práticas inovadoras (Batista e Cunha, 2021).

Apesar de haver um crescente movimento de incorporação de Metodologias Ativas no ensino de Ciências, pouco se tem discutido sobre sua adequação e contribuição na promoção da aprendizagem, do ponto de vista empírico. Atestar em que medida recursos elaborados nessa perspectiva atendem aos seus objetivos de ensino-aprendizagem é essencial para uma avaliação mais robusta sobre seus limites e potencialidades para uma educação científica de qualidade.

Nesse sentido, o processo de validação dos materiais produzidos torna-se uma demanda que deve ser atendida para garantir a adequação das propostas aos objetivos almejados. Na literatura, embora haja diversos materiais didáticos voltados para o ensino de ciências com metodologias ativas, persiste uma lacuna significativa: muitos desses instrumentos são insuficientemente avaliados em termos de sua eficácia, motivação e engajamento, pois não passaram por um processo de validação que garanta o rigor e a confiabilidade necessários.

Diante desse contexto, esse trabalho tem o propósito de apresentar como um material que abrange diferentes tipos de metodologias ativas foi elaborado e validado a fim de atender ao protagonismo estudantil assim como promover uma aprendizagem integrada de conhecimentos científicos e tecnológicos, tendo como princípios o funcionamento do celular. A validação consiste no processo através do qual podemos ter garantias, do ponto de vista de

especialistas, sobre a adequação do mesmo ao que se propõe como objetivo de ensino-aprendizagem e ao caráter inovador das metodologias ativas.

Foi produzida uma Sequência Didática (SD) denominada "Entendendo o celular, entre correntes e circuitos", que utiliza o funcionamento do aparelho celular, este dispositivo onipresente e altamente contextualizado na vida dos estudantes, como ponto de partida para o ensino de conteúdos de Física, especificamente Corrente e Circuitos Elétricos. Esta SD foi desenvolvida sobre o pilar das Metodologias Ativas e Tecnologias Digitais, destacando-se por seu formato flexível (aplicável ao Ensino Médio e Superior), por sua linguagem menos formal e envolvente (com personagens e tirinhas), e por ser composta por um conjunto de recursos que incluem material detalhado para o aluno, um guia completo para o professor e um site complementar interativo.

2. A importância da validação das Sequências Didáticas (SD)

A Sequência Didática (SD) representa mais do que um mero conjunto de atividades; é um planejamento articulado, ordenado e estruturado para a execução de objetivos educacionais específicos (Zabala, 1998). Para que essa organização pedagógica efetivamente alcance o objetivo de aprendizagem proposto, é essencial que o material didático seja construído com o máximo rigor e submetido a um processo de validação.

A validação de um instrumento pedagógico não é um passo opcional, mas uma exigência metodológica que atesta sua qualidade. Conforme afirmam Guimarães e Giordan (2012), validar um instrumento significa confirmar que ele possui o desempenho necessário para sua aplicação, garantindo, essencialmente, a confiabilidade dos resultados. A validade, neste contexto, assegura que a SD contribui para exatamente aquilo que se propõe a instruir (SOUZA, ALEXANDRE & GUIRARDELLO, 2017; HAIR *ET AL.*, 2005).

Diretamente associada à validade está a confiabilidade, que se refere à estabilidade e consistência dos resultados (Nunnally, 1978). Um alto grau de confiabilidade indica que a SD pode ser reaplicada em diferentes contextos e por diferentes sujeitos, produzindo resultados semelhantes e reproduzíveis (Golafshani, 2003). Em suma, ter uma SD validada possibilita sua ampla aplicabilidade e a obtenção de resultados efetivos dos objetivos educacionais propostos (Bellucci Júnior & Matsuda, 2012).

Ao desenvolver um material didático, seja uma SD, uma instrução de ensino ou qualquer ferramenta pedagógica, o pesquisador assume a responsabilidade de demonstrar tanto a confiabilidade quanto a validade do recurso (Crocker & Algina, 1986). Essa demonstração de

rigor pode envolver uma variedade de métodos, como: revisão por pares (análise de especialistas em relação ao conteúdo), testes-piloto ou avaliação por usuários finais. A articulação desses métodos garante a melhoria contínua da SD, tornando-a educativamente sólida e adaptada às necessidades práticas da sala de aula.

A relevância desse processo é corroborada por diversos pesquisadores na área de educação e ensino de ciências (Xavier, 2018; Gonçalves Junior, 2020; Moreira, 2016; Aguiar, 2018), que convergem no entendimento de que o rigor, a confiabilidade e a validade de um instrumento não apenas qualificam a pesquisa, mas permitem inferir com segurança sobre as contribuições no processo de aprendizagem.

É crucial prezar pela validação dos instrumentos para evitar inadequações metodológicas e interpretações errôneas na análise de dados (Raymundo, 2009). No contexto deste artigo, a validação da Sequência Didática, que atende ao tema "ENTRE CORRENTES E CIRCUITOS", não só assegura a coerência interna da intervenção (Amantes, Coelho & Marinho, 2015), mas, certifica seu potencial para transformar o ensino dos conteúdos de Física que aborda, garantindo que ela promova os objetivos de integrar a ciência, a tecnologia e o cotidiano.

3. Metodologias Ativas: O Protagonismo do Aluno na Integração Científica e Tecnológica

As Metodologias Ativas apresentam estrutura que transforma a prática pedagógica usual, uma vez que reorienta o eixo do ensino-aprendizagem do professor para o estudante. Conforme salientado por Moran (2018), estas abordagens enfatizam o protagonismo discente, engajando o aluno ativamente através de atividades inovadoras, resolução de problemas e investigação de situações cotidianas. O objetivo central é fomentar o desenvolvimento da capacidade crítica e reflexiva, incentivando a interação e a apropriação do conhecimento (Camargo & Daros, 2018; Sobral & Campos, 2012).

Ao deixar de ser um agente passivo para se tornar um participante ativo, o estudante é impulsionado a analisar criticamente a realidade e a buscar soluções para problemas desafiadores (Berbel, 2011). Isso não apenas desenvolve a percepção de competência, mas também aumenta o engajamento e a persistência nos estudos, elementos cruciais para o aprendizado de conteúdos científicos complexos (PINTRICH, 2003).

O universo das metodologias ativas é vasto e diversificado, cada uma com potencialidades específicas para promover a aprendizagem, participação e reflexão dos estudantes. Dentre as principais estratégias que se destacam na literatura, estão: Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project Based Learning*), Gamificação (*Gamification*), Instrução por Pares (*Peer Instruction*), Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), Estudo de Caso (*Case Study*) e Aprendizagem Baseada em Times (*Team Based Learning*).

A escolha por uma abordagem ativa é uma opção em potencial para alcance de uma aprendizagem mais integradora no ensino de Física, onde a abstração dos conceitos como os de corrente e circuitos elétricos demanda uma conexão tangível com a realidade do aluno. Nesse sentido, a adoção de metodologias ativas que incorporem o uso de Tecnologias Digitais e a investigação de fenômenos cotidianos (como o funcionamento do celular) pode fornecer um ferramental relevante para a formação do conhecimento. A presente pesquisa assume a metodologia ativa como eixo central de uma Intervenção Didática, reconhecendo seu potencial inovador para integrar conceitos científicos, cotidiano e tecnologia. A articulação entre o protagonismo do aluno, a atualidade do tema (*celular*), a aplicação das metodologias ativas e uso das tecnologias digitais fundamentam a construção e validação da SD, garantindo que o material didático esteja alinhado com as demandas por um ensino de ciências engajador, crítico e contemporâneo.

4.Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos deste estudo estão estruturados em duas fases interdependentes: a elaboração detalhada da Sequência Didática (SD) e a validação desse material instrucional. A primeira fase focou no *design* inovador e pedagógico, enquanto a segunda estabeleceu a confiabilidade e a pertinência do material através da avaliação de especialistas.

4.1 Construção da Intervenção Didática: "Entre Correntes e Circuitos"

A SD desenvolvida, intitulada "Entendendo o celular, entre correntes e circuitos", foi projetada para ser flexível e aplicável a diferentes níveis de escolaridade, desde o Ensino Médio até os períodos iniciais do Ensino Superior. A escolha do celular como tema central advém do seu reconhecimento como um dispositivo contextualizado na vida dos estudantes, funcionando como ponte para o ensino dos conceitos de Corrente Elétrica e Circuitos Elétricos.

A SD foi concebida como uma oficina composta por seis aulas de 50 minutos cada, distribuídas em três encontros, com duração de 100 minutos cada. O material instrucional foi estruturado de forma a contemplar três produtos educacionais: um material detalhado para os alunos, um guia completo para os professores e um site complementar interativo. A linguagem adotada é em forma de diálogo, visando tornar o conteúdo mais atraente e de fácil compreensão para os alunos. Os temas de cada encontro estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Temas de cada aula da SD

Aula	Tema
Aula 1	Do telefone ao 5G no celular: o que mudou no mundo?
Aula 2	Por dentro do celular, entre símbolos e circuitos
Aula 3	Como ocorre a ligação do celular?
Aula 4	Como funciona a tela <i>touchscreen</i> do celular?
Aula 5	Como funcionam os carregadores e baterias?
Aula 6	Entre correntes e circuitos

Fonte: Elaborado pelos autores.

O conteúdo é introduzido por meio de tirinhas que exploram diferentes contextos, tendo como personagens centrais a cientista Eletrikarla e o celular futurista Celuquinho, e indicação de algum vídeo, site, desenho entre outros. Em consonância com a proposta das Metodologias Ativas, cada aula é introduzida por um informativo (Pré-aula), que indica materiais de apoio (vídeos, animações, *sites*) acessíveis via QR Code. Esses recursos são projetados para nortear o estudo prévio e incentivar a autonomia do estudante, apresentado na figura 1.

Figura 1 – Ilustração da tirinha da aula 2



Fonte: Elaborada pelos autores.

Metodologias Diversificadas: A SD integra uma variedade de metodologias ativas para promover a interatividade e a reflexão em cada encontro, foram utilizadas: Estudo de caso, Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), Aprendizagem Baseada em Simulação (SBL), Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP-proj.), Aprendizagem Baseada em problemas (PBL), Gamificação. O Quadro 2 apresenta a organização das atividades propostas em cada aula da sequência didática, evidenciando a adoção de metodologias diversificadas e ativas. As atividades foram planejadas de modo progressivo, articulando contextos reais, experimentação, simulação, resolução de problemas e estratégias lúdicas, colocando o estudante como protagonista do processo de aprendizagem.

Na Aula 1, utiliza-se a metodologia de Estudo de Caso, a partir de uma situação-problema contextualizada que envolve a comparação entre tecnologias de diferentes períodos históricos. Essa atividade busca mobilizar conhecimentos dos estudantes e estimular a reflexão crítica sobre infraestrutura tecnológica, compatibilidade e limitações técnicas, favorecendo a contextualização do conteúdo científico.

A Aula 2 é caracterizada por uma atividade experimental investigativa, na qual os estudantes desmontam um telefone celular em desuso para identificar componentes, materiais e símbolos presentes no dispositivo. Essa atividade, adaptada de Siqueira Neto (2017), promove a aprendizagem baseada na experimentação, aproximando conceitos abstratos da Física e da tecnologia de situações concretas, além de incentivar o trabalho colaborativo e a argumentação científica.

Na Aula 3, é empregada a Aprendizagem Baseada em Simulação (Simulation-Based Learning – SBL) por meio de um laboratório virtual do PhET. A simulação possibilita a visualização de fenômenos relacionados ao funcionamento das antenas e torres de celulares, permitindo que os estudantes explorem variáveis, analisem perdas de energia e estabeleçam relações entre o modelo simulado e a transmissão de sinais em telefones celulares.

A Aula 4 envolve a construção de circuitos elétricos em série e em paralelo, com o uso de LEDs, pilha e papel alumínio. Essa atividade prática tem como objetivo consolidar conceitos fundamentais de corrente elétrica, tensão e associação de resistores, além de estimular a análise comparativa sobre a eficiência dos diferentes tipos de circuitos.


Na Aula 5, são integradas a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) foi utilizada para consolidar conceitos associados a carregadores e baterias, por meio da resolução de situações-problema e de atividades lúdicas, por meio da atividade “Triminó da Eletricidade”.

Os estudantes resolvem situações-problema ao associar corretamente símbolos e elementos de circuitos elétricos, desenvolvendo raciocínio lógico, colaboração em grupo e aplicação das leis da Eletricidade em um ambiente lúdico e desafiador.

Por fim, a Aula 6 articula estratégias de gamificação e aprendizagem baseada em desafios, por meio de um Escape Room educacional e do jogo digital *Crack the Circuit*. Nessa etapa, os estudantes enfrentam enigmas conceituais e lógicos que exigem a integração dos conhecimentos construídos ao longo da sequência didática, reforçando habilidades de colaboração, comunicação e resolução de problemas sob restrição de tempo.

Dessa forma, o Quadro 2 evidencia que a sequência didática foi estruturada como diversidade de abordagens metodológicas, equilibrando atividades conceituais, práticas e lúdicas, em consonância com princípios do ensino ativo e do design instrucional orientado à aprendizagem.

Quadro 2 – Apresentação das atividades propostas em cada aula da SD

Atividade proposta
<p>Aula 1- Estudo de Caso: Considere que essa foto seja verdadeira e esse homem conseguiu viajar no tempo saindo do ano 2024 para 1943. Ele conseguiria estabelecer uma conexão e falar com alguém no presente? Quais são os desafios que ele enfrentará ao tentar utilizar a tecnologia atual em um contexto do passado?</p> <p>Dica: Para resolver esse caso você deve considerar os seguintes aspectos: Compatibilidade Tecnológica, Infraestrutura de Comunicação da Época e Limitações da Tecnologia</p>
<p>Enxergaram um homem ao celular em foto clicada no ano de 1943 Imagem compartilhada em grupo do Facebook mostra cidadão em pose suspeita, na cidade de Reykjavik, capital da Islândia</p> <p><small>NOVA 7 De R7 24/09/2023 - 02:15:00 (ATUALIZADO EM 24/09/2023 - 13:46:2)</small></p> <p>Nos últimos dias, uma enigmática fotografia viralizou nas redes sociais, pois supostamente um celular aparecia no retrato em preto e branco tirado em 1943 durante a Segunda Guerra Mundial. A imagem foi compartilhada nas redes sociais e tumultuou as percepções dos usuários. A fotografia foi feita em Reykjavik, capital da Islândia, onde o celular teria sido visto entre os soldados americanos que estavam no local. Ele se encontra encostado na janela e aparentemente está olhando para a câmera. Na imagem, o homem usa um sobretudo leve, enquanto sua mão está perto da orelha, como se ele estivesse segurando um telefone celular e tendo alguma conversa através dele. A fotografia foi postada pela primeira vez no grupo islandês do Facebook chamado "Gamlar ljósmyndir", pelo usuário Kristján Hoffmann, em 2016.</p> 
<p>Aula 2- Atividade Experimental</p>

Por Dentro do Celular: Entre símbolos e circuitos

Passo 1: Organizem-se em grupos de 5 membros. Cada grupo receberá um kit com o material do experimento.

Passo 2: Siga as instruções e realize o experimento.

Passo 3: Responda as questões da atividade.

Passo 4: Após a conclusão da atividade em grupo, cada grupo terá a oportunidade de falar da sua experiência com a atividade.

Nesta atividade prática, você e sua equipe vai desmontar um celular em desuso e identificar analisar os componentes de telefone celular, que possa ser desmontado integralmente ou parcialmente, com a finalidade de conhecer sua estrutura, localizar as peças e símbolos que trazem informações importantes para melhor compreender seu funcionamento e responder as questões abaixo:



Esta atividade foi adaptada da dissertação de Antônio Pereira Siqueira Neto (2017). “Sequência didática para ensino e aprendizagem de oscilações e ondas por meio do estudo do telefone celular com enfoque CTSA”. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.539>

Responda às questões

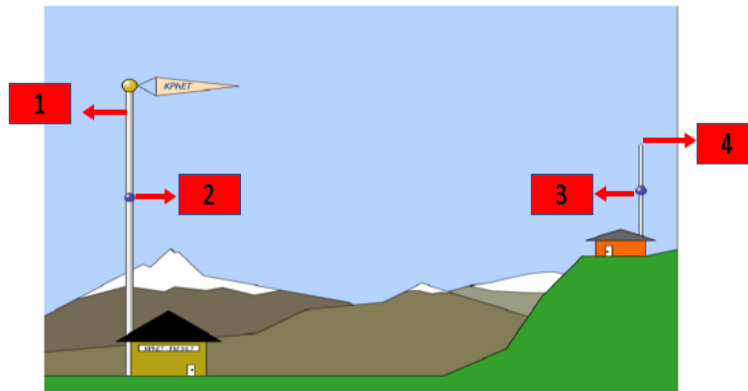
- 1. Quais os tipos de materiais que o grupo conseguiu identificar na composição do aparelho?**
- 2. Descreva os componentes do circuito do aparelho (dimensões, funções, composição). Existe algum componente do circuito que você não conhece? Em caso afirmativo, descreva-os.**
- 3. Como localizar o microfone no celular? O aparelho possui antena? Qual sua função? Como identificá-la?**
- 4. Quais são as substâncias químicas e tóxicas estão presentes no celular?**
- 5. Descreva baseado no que você observou, como é o funcionamento do celular.**

Aula3-ATIVIDADE 3.1: Laboratório Virtual.

Aponte a câmara do celular para o QRcode abaixo e acesse a simulação para realizar a atividade.



https://phet.colorado.edu/sims/cheerj/radio-waves/latest/radio-waves.html?simulation=radio-waves&locale=pt_BR



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/radio-waves

[waves.html?simulation=radio-waves&locale=pt_BR](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/radio-waves.html?simulation=radio-waves&locale=pt_BR)

ROTEIRO DE ATIVIDADE

- 1-Descreva a representação das imagens indicadas nas setas da figura acima.
- 2-Explore os elementos.
- 3-O que acontece quando você está mexendo na haste maior de forma periódica? (descreva o que acontece).
- 4-Você considera que há perda de energia no transporte de informação? Justifique.
- 5-Qual situação que te mostra que há perda de energia?
- 6-Como você associa essa simulação com a transmissão de sinais do celular?
- 7-Que tipo de onda está sendo transmitido?

Aula 4- Nessa atividade o aluno construirá um circuito elétrico fazendo um led acender em um circuito em série e em paralelo, logo em seguida apresentar qual melhor forma de ligar a maior quantidade de leds nesse circuito.

Anexo 02-Atividade 4.2: Atividade experimental.



PARA A REALIZAÇÃO DESSA ATIVIDADE, ACOMPANHE O QR CODE AO LADO.

MATERIAIS NECESSÁRIOS



IMPORTANTE!



Aula 5-Organizem-se em grupos de 5 membros e resolva a situação problema. Ao final vocês deverão apresentar qual solução encontrada.

AVENTURAS NO CAMPING

Você e seus amigos estão planejando uma viagem de dois dias para um acampamento em um local onde não há acesso direto à eletricidade. O camping escolhido tem uma estrutura rústica e inclui no pacote da diária a disponibilização de um power bank para cada grupo. Apesar de toda animação da galera, a preocupação geral é saber como vão manter os celulares carregados nesses dois dias no camping.



Resolva o seguinte Problema:

Como você e seus amigos podem otimizar o uso do power bank para garantir que seus celulares tenham energia suficiente durante toda a viagem?



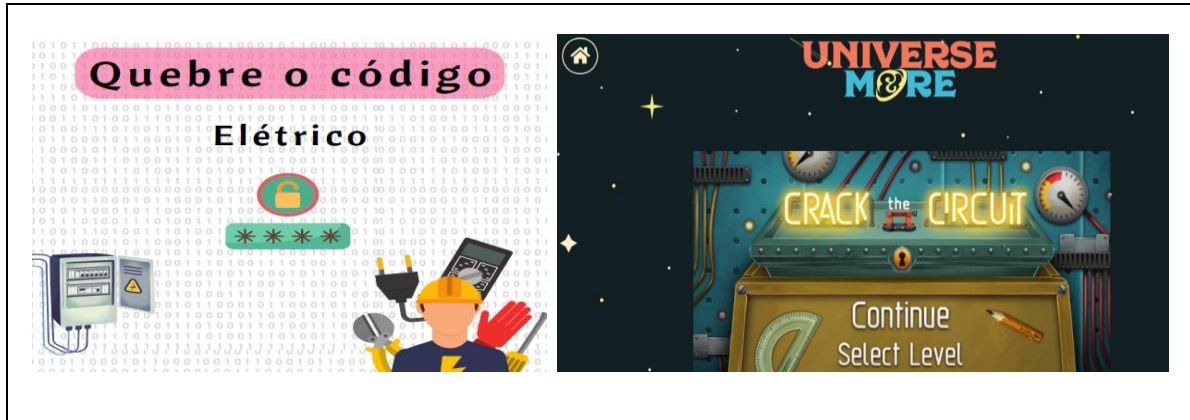
ATIVIDADE 5.2: TRIMINÓ DA ELETRICIDADE

Você e seu grupo receberão um envelope com peças do Triminó da Eletricidade. O triminó, é um conjunto de três peças triangulares, combinando corretamente entre símbolos e elementos dos circuitos para formar sequências lógicas. Cada peça triangular do triminó contém elementos do circuito; os jogadores devem encontrar as peças corretas que se encaixam, de forma que os elementos estejam de acordo com as leis da Eletricidade.



Aula 6 Escape Room e Crack the Circuit: Missão final com enigmas conceituais e lógicos, integrada ao jogo digital *Crack the Circuit*, onde o aluno deve montar sistemas complexos para permitir o fluxo da corrente.

Natividade de quebre o Código-vocês receberão um envelope com uma atividade eletrizante que deverão responder em 20min. lembrem-se, a colaboração, a comunicação efetiva e a aplicação de conhecimentos elétricos serão essenciais para o sucesso desta missão. o relógio está correndo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O material do professor (ilustrado na Figura 2) foi construído com seis planos de aula detalhados, incluindo orientações sobre metodologias ativas e para as atividades e respostas correspondentes às atividades do material dos alunos.

Figura 2 – Exemplo do material do professor

Aula 2:

POR DENTRO DO CELULAR, ENTRE SÍMBOLOS E CIRCUITOS

TEMPO PREVISTO

1 aula

OBJETIVOS

Objetivo Geral: Explorar os elementos fundamentais dos dispositivos eletrônicos, concentrando-se na interconexão entre símbolos e circuitos, proporcionando aos alunos uma compreensão abrangente da estrutura interna dos dispositivos móveis, como celulares.

Objetivo Específicos:

- Compreender os elementos básicos de um circuito elétrico.
- Familiarizar-se com os símbolos de circuitos elétricos.
- Aplicar o conhecimento na análise de um dispositivo eletrônico, como um celular.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada as seguintes metodologias: **Aprendizagem baseado em problemas (PBL) e Gamificação.**

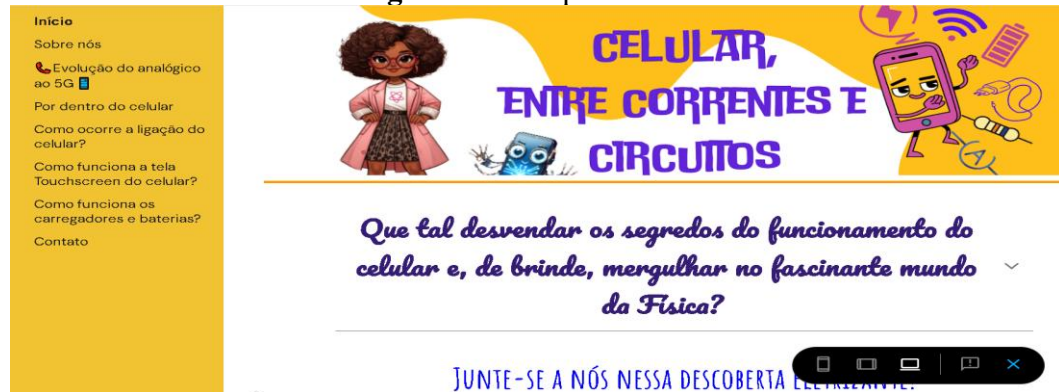
A Metodologia baseada em problemas é um método de ensino que recomenda a realização de atividades guiadas, com o objetivo de preparar os alunos para resolverem questões do mundo real, como são os casos de atividades experimentais. Já a gamificação é uma metodologia ativa que incorpora elementos de jogos e dinâmicas lúdicas no processo de ensino-aprendizagem, com o objetivo de motivar os alunos, promover o engajamento e tornar a experiência educacional mais interativa e divertida.

Nos primeiros 10 min da aula, será dedicado a discutir sobre os principais elementos e símbolos que compõem um circuito elétrico de acordo com o que foi indicado como Pré-aula. Logo em seguida será feito a discussão dos conceitos desses elementos e o que os alunos acham que acontece quando se apertar o botão de ligar do Smartphone. Feito isso e sanado as possíveis dúvidas dos alunos, seguiremos para as atividades que usam metodologias ativas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além do material do aluno e do professor, também foi construído um Site Complementar (ilustrado na fig.3) O site complementar espelha a estrutura impressa, mas oferece maior interatividade, disponibilizando vídeos, simulações, jogos e uma seção de *feedback* em conformidade com a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais).

Figura 3 – Template do site



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.2. Estratégia de Validação: Construção da Ferramenta (Barema)

A validade e a confiabilidade da SD foram investigadas por meio da Validação por Pares, um método que consiste na revisão e avaliação do material instrucional por juízes especialistas no campo de estudo.

Para operacionalizar essa avaliação, foi elaborado um instrumento de coleta de dados específico, um Barema. Este instrumento se configura como uma ficha de avaliação que permitiu aos especialistas examinarem a SD em relação à clareza, relevância e adequação pedagógica e científica. O Barema é estruturado em uma tabela (cinco colunas e sete linhas) em que os juízes avaliam, em escala (*Inadequado* a *Muito Adequado*), elementos como: Objetivo Geral da Aula; Objetivos das Atividades; Metodologias Ativas empregadas. As colunas três e quatro correspondem respectivamente aos objetivos das atividades e às metodologias ativas utilizadas, todos seguidos da escala mencionada anteriormente. A quinta coluna é destinada a comentários e sugestões. (A Figura 4 apresenta um fragmento do Barema).

Figura 4 – Fragmento do Barema de validação da SD

Aulas	Objetivo da aula	Objetivo das atividades	Metodologias ativas utilizadas
AULA 1- Da Transmissão Analógica à Tecnologia 5G: Explorando a Evolução da Comunicação (VER MATERIAL DO ALUNO p. 5 a 9)	Explorar a evolução da transmissão de informações, desde a analógica até a tecnologia 5G, com foco na transformação dos dispositivos móveis e suas repercussões na sociedade. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 4)	Atividade 1.1: Timeline - Construir uma linha do tempo da evolução do telefone fixo até a chegada do primeiro aparelho celular no mundo. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 6 E 7) Atividade 1.2: Viajante no tempo - Proporcionar aos estudantes uma oportunidade de explorar e aplicar conhecimentos relacionados à tecnologia, física e comunicação em um contexto fictício e intrigante. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 9)	Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 4) Estudo de Caso (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 4)
AULA 2- Por dentro do celular, entre símbolos e circuitos (VER MATERIAL DO ALUNO p. 10 a 14)	Proporcionar aos alunos uma compreensão abrangente da estrutura interna de dispositivos eletrônicos, como celulares, ao explorar os elementos fundamentais e a interconexão entre símbolos e circuitos. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 9)	Atividade 2.1: Representações dos Circuitos: Familiarizar-se com os símbolos de circuitos elétricos. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 12) Atividade 2.2: Atividade Experimental - Por Dentro do Celular: Entre símbolos e circuitos: Aplicar o conhecimento na análise de um dispositivo eletrônico, como um celular. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 9 e 10) Atividade 2.3: Triminó da Eletricidade: Utilizar o jogo para consolidar e fortalecer os conceitos fundamentais relacionados à eletricidade, como circuitos elétricos, resistência, corrente elétrica, e outros. (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 13 e 14)	Metodologia1: Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 9) Metodologia2: baseada em "investigação" (IBL, do inglês Inquiry-Based Learning). Metodologia3: Gamificação (VER MATERIAL DO PROFESSOR p. 9)

Fonte: Elaborada pelos autores.

A instrução fornecida aos avaliadores foi a de realizar uma leitura atenta dos objetivos, das atividades e das metodologias ativas propostas em cada aula, analisando se esses elementos se encontravam adequadamente alinhados entre si e com os materiais didáticos destinados ao professor e ao aluno. Os juízes deveriam, então, classificar cada critério do barema, assinalando uma única alternativa em escalas de adequação previamente definidas, além de registrar comentários, críticas ou sugestões quando julgassem necessário.

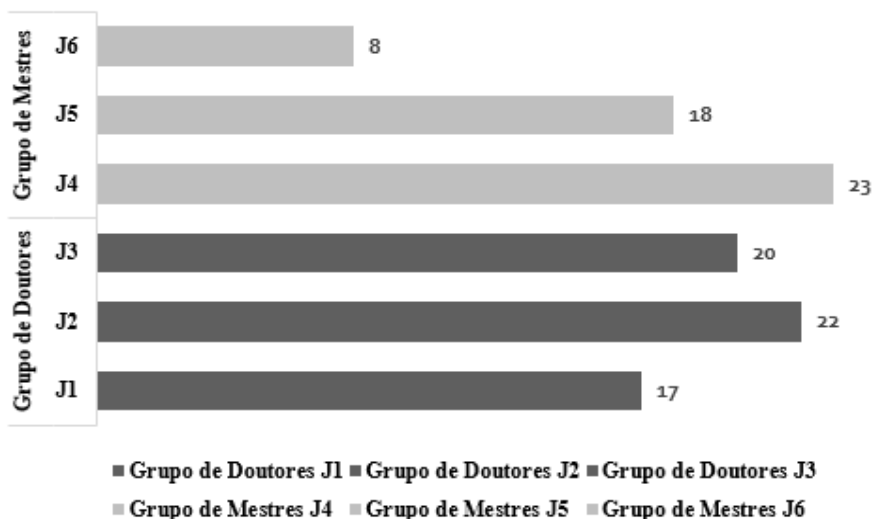
Dessa forma, os respondentes avaliaram se cada um dos critérios do barema estava suficientemente adequado aos objetivos estipulados, e suas respostas fundamentaram a análise dos Índices de Percentual de Concordância (IPC) e a reelaboração do material didático, quando pertinente.

4.3 Sujeitos e Contextos da Validação

Esse estudo contou com a participação de seis juízes, sendo eles professores e pesquisadores do ensino de Física provenientes das redes estadual e federal de Ensino Básico e Superior. O grupo foi dividido para garantir uma perspectiva diversificada: O Grupo 1 formada por três Doutores (professores da rede federal de Ensino Básico e Superior) sendo dois homens e uma mulher, dois do estado da Bahia e um do estado de Minas Gerais. O grupo 2 foi formado por três Mestres (professores da rede estadual de ensino) sendo duas mulheres e um homem, todos professores da rede estadual de ensino, provenientes dos estados de Sergipe, Bahia e Espírito Santo.

Essa composição garante que a avaliação combine o rigor teórico-científico (Doutores/Mestres/Pesquisadores) com a viabilidade prática em sala de aula (Professores do Ensino Médio e Superior). Todos os participantes possuem uma vasta experiência profissional em sala de aula com ensino de Física, sendo que a maioria dos avaliadores tem mais de 16 anos de experiência, conforme apresentado no Gráfico 1. Suas experiências e seus conhecimentos sobre os conteúdos de física, juntamente com sua vivência em sala de aula, possivelmente estão associados a uma compreensão abrangente do assunto, refletindo um conhecimento profundo da área.

Gráfico 1 – Experiência profissional dos juízes em ensino de Física



Fonte: Elaborado pelos autores.

O processo de coleta de dados seguiu as normas éticas: após o convite e a aceitação formal (Termo de Livre Aceitação), os juízes receberam o Barema e todos os materiais instrucionais (aluno e professor). Os dados de análise desta pesquisa consistem nas respostas e nas sugestões qualitativas fornecidas pelos especialistas no Barema preenchido.

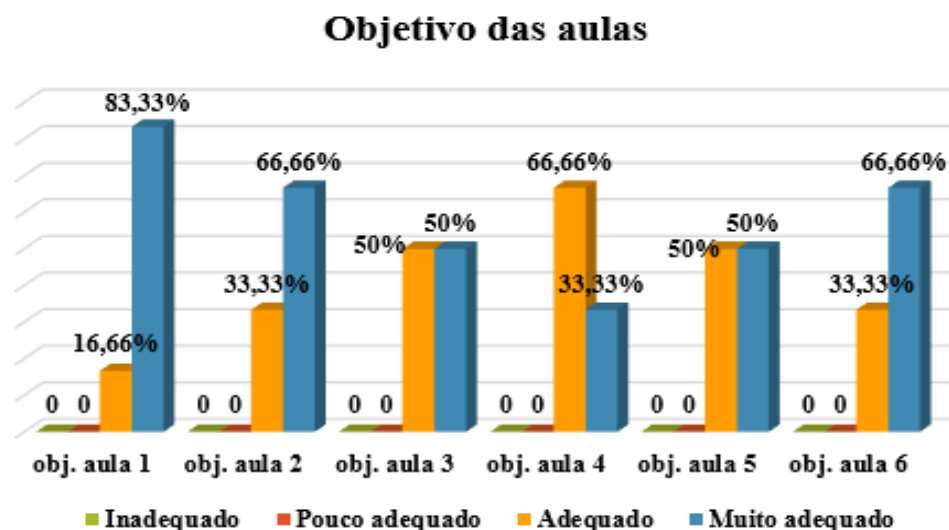
5 Análise de Resultados

Para determinar a validade da Sequência Didática, os dados coletados a partir do Barema foram tratados com base em uma análise utilizando o (i) índice percentual de concordância (IPC) dos juízes de acordo com as marcações nas categorias selecionadas e a (ii) análise dos comentários e categorização de sugestões registradas nos questionários de validação.

5.1 Análise 1: Avaliação da Adequação dos Objetivos Gerais das Aulas

Os dados foram tabulados e, a partir deles, foram criados gráficos de percentagens das marcações de concordância de adequação. A análise foi feita sob a perspectiva da natureza dos objetivos estabelecidos para cada tema de aula da intervenção (objetivos de aprendizagem). No gráfico 2, é apresentado o percentual de concordância entre os juízes em relação aos objetivos gerais das seis aulas, ou seja, se cada um dos objetivos atende ou não ao tema das aulas. Os números acima de cada coluna vertical representam o total de juízes que marcaram uma determinada categoria durante o processo de avaliação da intervenção. Cada cor das colunas do gráfico corresponde a uma das categorias: inadequado, pouco adequado, adequado e muito adequado. As siglas na horizontal referem-se aos objetivos gerais de cada aula.

Gráfico 2 – Índice de percentual de concordância dos objetivos gerais das aulas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os juízes concordaram que todos os objetivos gerais das aulas foram adequados ou muito adequados em relação ao tema central proposto. Os objetivos das aulas 1, 2 e 4 tiveram um percentual maior na categoria muito adequado. Já os objetivos das aulas 3 e 5 apresentaram um percentual de 50% entre as categorias adequado e muito adequado. Apenas o objetivo geral

da aula 4 obteve um percentual maior na categoria adequado, segundo a avaliação dos juízes. Interpretamos que atesta que os objetivos de ensino propostos estão alinhados com a temática de cada aula.

5.2 Análise 2: Avaliação da Adequação dos Objetivos e das Metodologias

A segunda análise foi conduzida considerando a natureza dos objetivos específicos e metodologias estabelecidos de cada atividade a ser desenvolvida nas aulas, bem como a adequação das metodologias ativas associadas a esses objetivos. Cada atividade está vinculada a um tipo específico de metodologia ativa.

A Figura 5 apresenta, de forma integrada, os Índices de Percentual de Concordância (IPC) referentes à avaliação dos objetivos de aprendizagem e das metodologias ativas das atividades que compõem as seis aulas da sequência didática. A visualização conjunta permite uma análise global da coerência entre os objetivos propostos e as estratégias metodológicas adotadas.

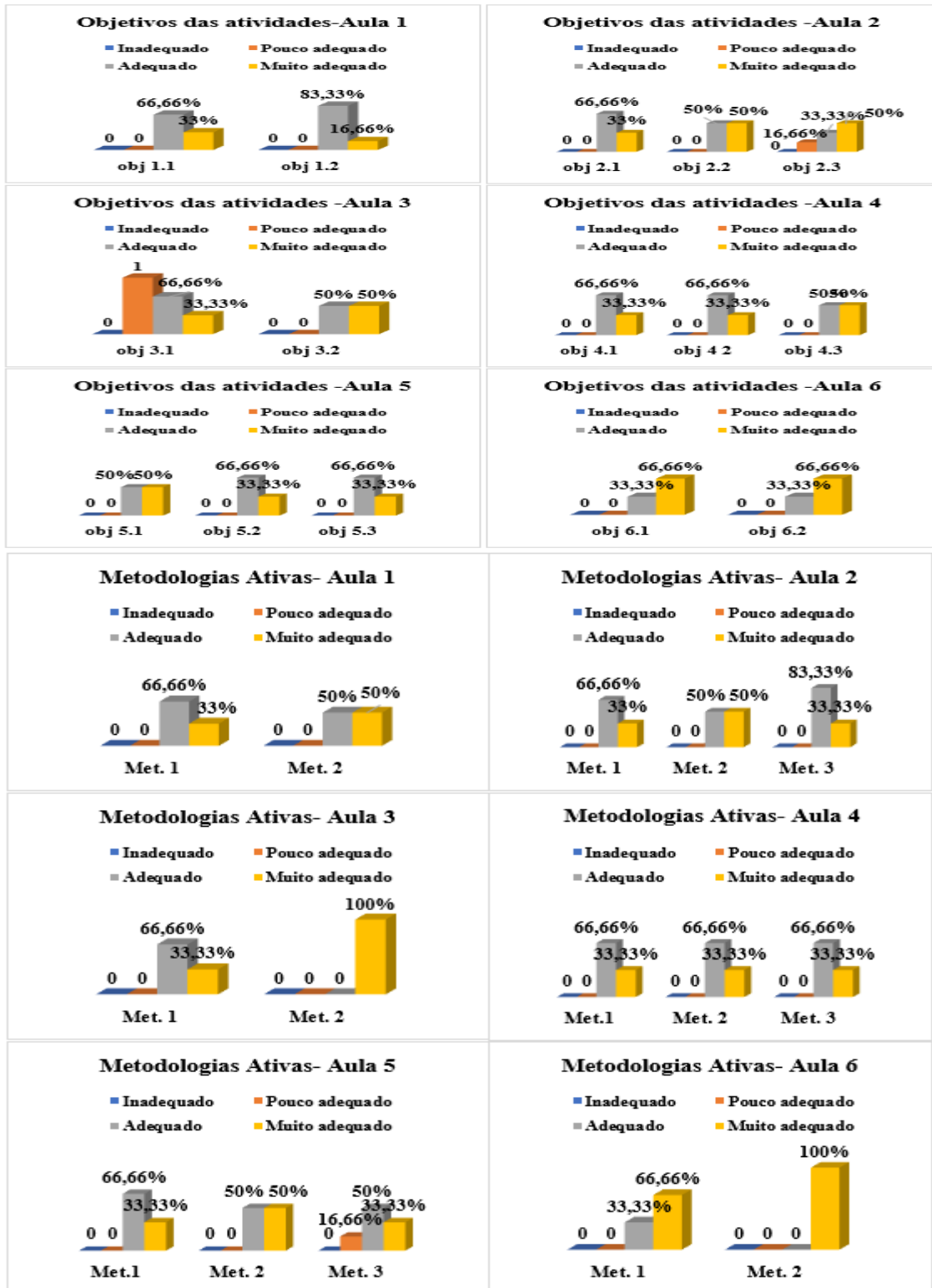
De modo geral, observa-se elevado nível de concordância entre os avaliadores, com predominância das classificações *adequada* e *muito adequada* em todas as aulas. Para os objetivos de aprendizagem, os IPC situaram-se majoritariamente entre 66,66% e 100% nessas duas categorias, indicando que os objetivos foram amplamente considerados coerentes e alcançáveis a partir das atividades propostas. Tendência semelhante foi identificada na avaliação das metodologias ativas, cujos índices de concordância também se concentraram entre 66,66% e 100% nas categorias *adequada* e *muito adequada*. Em poucos casos, registraram-se avaliações como *pouco adequada* (16,66%), associadas principalmente à necessidade de maior tempo de aplicação ou de ajustes na mediação didática.

Observa-se ainda um padrão recorrente entre os grupos de juízes: os doutores tendem a concentrar suas avaliações na categoria *adequada*, enquanto os mestres apresentam maior dispersão, com maior incidência de classificações como *muito adequada*. Essa diferença não compromete o consenso geral, mas revela critérios avaliativos distintos quanto ao nível de aprofundamento e refinamento das propostas.

De forma integrada, os resultados indicam que os objetivos e as metodologias da sequência didática apresentam consistência interna e adequação pedagógica, sendo as divergências observadas indicativas de oportunidades de ajuste pontual, e não de inadequações estruturais. A Figura 5 sintetiza esses resultados, apresentando de forma integrada os Índices de

Percentual de Concordância referentes aos objetivos de aprendizagem e às metodologias ativas das seis aulas da sequência didática.

Figura 5 – Compilado dos Índices de Percentual de Concordância (IPC) dos objetivos de aprendizagem e das metodologias ativas das atividades das seis aulas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De maneira geral, observa-se uma concordância quanto à adequação dos objetivos e metodologias das atividades em todas as aulas, com os doutores tendendo a avaliar os objetivos como adequados, enquanto os mestres mostram mais variação, com uma tendência a considerá-los como muito adequados. As divergências nas avaliações indicam a necessidade de ajustes e aprofundamento de certos conteúdos, especialmente no que se refere aos pré-requisitos e às explicações detalhadas.

5.3 Análise Qualitativa: Comentários e Sugestões dos Avaliadores

Essa análise foi conduzida a partir dos comentários e sugestões dos juízes, provenientes do questionário de validação. De maneira geral, houve concordância entre comentários dos juízes em relação ao tema da aula, ao objetivo geral, aos objetivos das atividades e às metodologias ativas utilizadas. Os especialistas elogiaram o material, destacando sua qualidade, forma de apresentação, potencial para o ensino e capacidade de motivar, salientando que o aluno se sentirá incentivado e atraído a aprender o conteúdo abordado. Isso pode ser observado nos comentários apresentados no quadro a seguir:

Quadro 3- Comentários dos especialistas sobre a SD

Comentários dos especialistas
“Muito interessante as metodologias utilizadas para abordar um conteúdo importante e necessário, que a maioria dos livros didáticos não aborda. A forma como ele foi trabalhado nesse material é prazerosa e atrativa para os alunos.” (Juiz 1_Grupo2)
“Excelente aula em todos os aspectos. Como estou aprendendo com essa sequência! O material tem muita qualidade e um potencial enorme para o ensino conforme os objetivos descritos.” (Juiz 3_Grupo 2)
“Considero o material de apoio e a atividade suficiente para atender o objetivo de aprendizagem proposto na aula. Aproveito para parabenizá-la mais uma vez pela qualidade do material.” (Juiz 4_Grupo 1)

Fonte: Dado da pesquisa

No que diz respeito aos conteúdos científicos abordados, os comentários dos juízes mostram uma alta concordância, recebendo maior destaque as aulas 2 e 4, especialmente pela forma como o conteúdo foi apresentado. O destaque na aula 2 diz respeito ao uso da analogia com o livro *Alice no País do Quantum*, de Robert Gilmore. No material construído da SD, em vez de Alice cair na TV, como no livro de Gilmore, ela cai dentro da tela do celular, e os símbolos dos circuitos tornam-se personagens do filme. Esse enfoque foi especialmente salientado pelos avaliadores, ressaltando o dinamismo e a criatividade. A aula 4, sobre o funcionamento da tela *touchscreen*, foi destacada pelos avaliadores que apontaram a qualidade

em relação à abordagem dos conceitos físicos, enfatizando o equilíbrio entre a discussão teórica, a forma lúdica e o rigor das informações físicas do tratamento da eletrodinâmica.

Apesar de um percentual significativo de avaliadores ter considerado as atividades adequadas ou muito adequadas, alguns pontos específicos foram destacados para melhorias. Os apontamentos foram cuidadosamente avaliados em relação à perspectiva do material, sendo atendidos integralmente ou parcialmente, e alguns rejeitados, a depender da sua adequação à proposta. No Quadro 3 apresentamos a sistematização das sugestões e o que foi modificado no material, assim como uma justificativa sobre a decisão tomada.

Quadro 3. Sugestões realizadas pelos juízes e pareceres das autoras da pesquisa

	SUGESTÕES	PARECER	JUSTIFICATIVA
1	Rever a escrita de frases muito grandes no capítulo 1 e 2.	ACEITO	Reformulamos de acordo com as normas culta da língua portuguesa.
2	Como sugestão poderia solicitar que o aluno assistisse ao filme “ALICE NO PAÍS DAS MARAVILHAS”.	PARCIALMENTE ACEITO	Acrescentamos o link desse filme no site como deixando claro que o mesmo não é uma exigência para o entendimento do texto.
3	Definir as grandezas físicas e nomear as unidades de medidas na pág. 11 do material dos estudantes.	ACEITO	Importante para o entendimento do conteúdo abordado.
4	a tabela, com os elementos do circuito na p.12 pudessem estar inseridos ao longo do texto de forma diluída e sair do convencional das tabelas.	ACEITO	Diluímos as informações ao longo do texto como informações e curiosidades.
5	Não consegui acessar o QRcode da pág. 26 do material dos estudantes	ACEITO	O site indicado estava fora do ar, logo foi substituído por outro.
6	Uma sugestão será que não dava para ter a secção “SOS” nos demais capítulos? Seria muito didático.	ACEITO PARCIALMENTE	Acrescentemos sempre que possível ao longo do material dicas de segurança com o uso do celular.
7	O fato do segundo jogo estar em inglês poderá dificultar que o estudante jogue, substituir o jogo por outro em português.	REJEITADO	Acreditamos que os alunos são capazes de jogar e interagir com o jogo, tendo em vista que o professor estará dando suporte.
8	Na parte de quebre o código acho que deve explicar melhor nas instruções no material do professor.	ACEITO	Aumentamos informações e descrições dessa atividade
9	Melhorar as orientações do “Roteiro de atividade” da atividade 4.3	ACEITO	Aumentamos informações e descrições dessa atividade
10	Aumentar o tempo para desenvolver cada capítulo.	REJEITADO	Não acreditamos que exista a necessidade de reavaliar o tempo das aulas, visto que utilizar a metodologia ativa contamos com a pré-aula como tarefa obrigatória para os grupos de estudantes.
11	Explicar melhor como funciona a pré-aula.	ACEITO	Dedicamos um espaço maior no material do professor sobre esse tópico no material do professor e do aluno.

Fonte: Elaborado pelos autores

Uma das preocupações mencionadas foi em relação ao tempo destinado para a aula e a execução das atividades, como podemos ver no Quadro 3, sugestão 10. Essa indicação, depois de discutida e avaliada, não foi acatada porque a base do uso das metodologias é a utilização da pré-aula como tarefa para casa, que antecede a aula principal. Com a indicação e a orientação passadas uma semana antes, os estudantes terão tempo suficiente para ler e interagir com o material, acessando os QR Codes e navegando na internet, isto é, sendo protagonistas de sua aprendizagem.

Outro ponto levantado foi a preocupação com um jogo digital estar em inglês, o que alguns avaliadores consideraram um empecilho para a execução da atividade. Entretanto, consideramos que o jogo empregado seja intuitivo, sem a necessidade de muitas descrições para que possa ser jogado. Além disso, o estudante irá jogar em sala, com o auxílio do professor, que poderá auxiliar caso não haja entendimento das regras.

Os dados das sugestões fornecidas pelos juízes e acatamos a maioria delas, resultando em melhorias significativas na sequência didática (SD). As sugestões aceitas incluíram a substituição de termos utilizados, a reformulação de algumas frases para torná-las mais objetivas e a inclusão do filme *Alice no País das Maravilhas* antes da aula 2. Foram corrigidos alguns erros de escrita e diluímos tabelas ao longo do texto para facilitar sua compreensão. Foram aprimoradas algumas imagens e incluímos o tópico “SOS” em todas as aulas, abordando cuidados com o cotidiano dos estudantes. Essas alterações fazem parte da nova versão do material instrucional. Essa análise detalhada das atividades e das sugestões dos avaliadores nos permitiu aprimorar a sequência didática, tornando o material mais claro e acessível. As modificações realizadas atendem às preocupações levantadas, deixando o material mais robusto, com maior potencial para contribuir em um efetivo processo de ensino-aprendizagem.

6- Considerações Finais

Este trabalho destaca a importância de construir materiais didáticos de qualidade que consiga atingir os objetivos de aprendizagem. O foco deste artigo é o processo de construção e validação de uma sequência didática, um aspecto frequentemente negligenciado, já que muitos materiais didáticos são utilizados sem passar por um processo de validação. A ausência de validação compromete a efetividade pedagógica, podendo gerar resultados enviesados. Nesse sentido, este artigo apresenta a validação por especialistas como uma etapa importante para contribuir com a relevância e a adequação metodológica do conteúdo científico abordado em materiais didáticos.

Os resultados da validação da Sequência Didática (SD) confirmaram a consistência do material. A alta concordância (IPC) observada nas avaliações dos juízes, tanto nos objetivos gerais quanto nas atividades e nas Metodologias Ativas empregadas, sugere uma forte consistência interna e validade. Os especialistas reconheceram o potencial didático do material, destacando sua capacidade de motivar e engajar os alunos por meio da contextualização com o celular e do uso estratégico de metodologias como Gamificação e Estudo de Caso.

A contribuição dos juízes foi fundamental para o aprimoramento final da SD. As sugestões acatadas permitiram refinar a linguagem, aumentar a clareza das instruções e fortalecer o suporte ao professor, garantindo que o material final fosse aplicável em diferentes contextos de sala de aula.

Este estudo oferece uma contribuição metodológica, ao detalhar as etapas de elaboração e validação de um material instrucional pautado em Tecnologias Digitais e Metodologias Ativas. Os procedimentos reportados podem servir como modelo para outras pesquisas que buscam conferir o rigor e a coerência de intervenções educacionais, possibilitando um caminho promissor para a melhoria no alcance de seus objetivos de aprendizagem.

Com a validação finalizada, a Sequência Didática tem maior confiabilidade para ser introduzida no contexto educacional para o ensino dos conteúdos a que se propõe. A próxima etapa será aplicar a intervenção em a sala de aula e realizar um estudo focado na avaliação da sua contribuição no processo de ensino-aprendizagem, a partir de mensuração do desempenho e no engajamento dos estudantes nas aulas.

Referências

AGUIAR, Madaya dos Santos Figueiredo de. *Aprendizagem de conceitos físicos a partir de um jogo didático*. 2020. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia em convênio com a Universidade Federal de Feira de Santana, Salvador, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/32068/1/Tese_Versao%20Final_Madaya%20Aguiar.pdf. Acesso em: 18 jun. 2024.

BATISTA, L. M. B. M.; CUNHA, V. M. P. da. O uso das metodologias ativas para melhoria nas práticas de ensino e aprendizagem. *Docent Discunt*, Engenheiro Coelho, v. 2, n. 1, p. 60–70, 2021. DOI: <https://doi.org/10.19141/2763-5163.docentdiscunt.v2.n1.p60-70>. Disponível em: <https://revistas.unasp.edu.br/rdd/article/view/1369>. Acesso em: 12 jul. 2024.

BELLUCCI JÚNIOR, José Aparecido; MATSUDA, Laura Misue. Construção e validação de instrumento para avaliação do Acolhimento com Classificação de Risco. *Revista Brasileira de Enfermagem*, Brasília, v. 65, n. 5, p. 751–757, set./out. 2012.

BERBEL, Neusi Aparecida Navas. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25–40, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0383.2011v32n1p25>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminasoc/article/view/10326>. Acesso em: 18 jun. 2024.

CAMARGO, F.; DAROS, T. *A sala de aula inovadora: estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo*. Porto Alegre: Penso, 2018.

COLUCI, Marina Zambon Orpinelli; ALEXANDRE, Neusa Maria Costa; MILANI, Daniela. Construção de instrumentos de medida na área da saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 925–936, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csc/v20n3/1413-8123-csc-20-03-00925.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2024.

CROCKER, Linda; ALGINA, James. *Introduction to classical and modern test theory*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1986.

GONÇALVES JUNIOR, Wanderley Paulo. *A programação como ferramenta para o ensino de Física: aprendizagem sobre força por meio do Scratch*. 2020. 405 f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia em convênio com a Universidade Federal de Feira de Santana, Salvador, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/32855>. Acesso em: 18 jun. 2024.

GOLAFSHANI, Nahid. Understanding reliability and validity in qualitative research. *The Qualitative Report*, v. 8, n. 4, p. 597–607, 2003.

GUIMARÃES, Yara; GIORDAN, Marcelo. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., 2012. Anais [...]. 2012.

HAIR JR., Joseph F. et al. *Fundamentos de métodos de pesquisa em administração*. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HOMA, Agostinho Iaqchan Ryokiti. Simuladores robóticos na Educação STEM. *Acta Scientiae*, Canoas, v. 21, n. 5, p. 178–191, 2019.

LEITE, Sarah de Sá et al. Construction and validation of an Educational Content Validation Instrument in Health. *Revista Brasileira de Enfermagem*, Brasília, v. 71, supl. 4, p. 1635–1641, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0648>.

MORAN, José (org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2018. p. 2–25.

MOREIRA, Lídia Cabral. *A construção e validação de uma intervenção educacional para o Ensino Médio apoiada na Metodologia da Problematização*. 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia em convênio com a Universidade Federal de Feira de Santana, Salvador, 2016. Disponível em:

<https://ppgefhc.ufba.br/pt-br/construcao-e-validacao-de-uma-intervencao-educacional-para-o-ensino-medio-apoiada-na-metodologia-da>. Acesso em: 18 jun. 2024.

NUNNALLY, Jum C. *Psychometric theory*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1978.

PINTRICH, Paul R. A motivational science perspective on the role of student motivation in learning and teaching contexts. *Journal of Educational Psychology*, v. 95, n. 4, p. 667–686, 2003.

REDECKER, Christine; PUNIE, Yves (ed.). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.

SANTOS, Danielle Fernandes Amaro dos; CASTAMAN, Ana Sara. Metodologias ativas: uma breve apresentação conceitual e de seus métodos. *Revista Linhas*, Florianópolis, v. 23, n. 51, p. 334–357, jan./abr. 2022.

SOBRAL, Fernanda Ribeiro; CAMPOS, Claudineir Jose Gomes. Utilização de metodologia ativa no ensino e assistência de enfermagem na produção nacional: revisão integrativa. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, São Paulo, v. 46, n. 1, p. 208–218, 2012. Disponível em: www.ee.usp.br/reecusp/. Acesso em: 18 jun. 2024.

SOUZA, Ana Claudia de; ALEXANDRE, Neusa Maria Costa; GUIRARDELLO, Edinêis de Brito. Propriedades psicométricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 26, n. 3, p. 649–659, jul./set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000300022>.

STUDART, Nelson. Inovando a ensinagem de Física com metodologias ativas. *Revista do Professor de Física*, Brasília, v. 3, n. 3, p. 1–24, 2019.

SPRICIGO, Cinthia Bittencourt. *Estudo de caso como abordagem de ensino*. 2014. Disponível em: <https://www.pucpr.br/wp-content/uploads/2017/10/estudo-de-caso-como-abordagem-de-ensino.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2024.

XAVIER, Agamenon Pereira. *Laboratório virtual versus laboratório material: a aprendizagem de física com intervenções tradicionais e investigativas*. 2018. 221 f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia em convênio com a Universidade Federal de Feira de Santana, Salvador, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/27506>. Acesso em: 18 jun. 2024.

ZABALA, Antoni. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA ALCANCE DA QUALIDADE DA PESQUISA EM ENSINO: EMPREGANDO RASCH PARA VALIDAÇÃO DE ITENS SOBRE CORRENTE E CIRCUITOS ELÉTRICOS

METHODOLOGICAL PROCEDURES TO ACHIEVE RESEARCH QUALITY IN EDUCATION: USING THE RASCH MODEL FOR ITEM VALIDATION ON ELECTRIC CURRENT AND CIRCUITS

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo metodológico sobre a construção e validação de um banco de itens relacionado a corrente e circuitos elétricos. Foram elaborados 40 itens, entre dicotômicos (múltipla escolha e verdadeiro ou falso) e discursivos, a partir de materiais previamente disponíveis. A validação contou com 205 estudantes da 3ª série das redes pública federal e estadual que já haviam estudado o conteúdo. O modelo Rasch foi utilizado para avaliar a dimensionalidade, consistência interna, que demonstrou boa confiabilidade, ajuste dos itens e adequação da amostra. Os resultados indicam que o banco de itens é multidimensional, com bons índices de ajuste. No entanto, a confiabilidade e os valores de separação de pessoas e obtidos sugerem que o teste pode não ser adequado para discriminar indivíduos entre alta e baixa proficiência, o que indica sua limitação para avaliação de populações heterogêneas. Apesar disso, a hierarquia dos itens apresentou confiabilidade, com apenas um item mostrando ajuste insuficiente. Em síntese, os procedimentos contribuem para o avanço metodológico na validação de instrumentos educacionais, oferecendo uma ferramenta consistente para investigação do conhecimento em corrente e circuitos elétricos.

Palavras-chave: Modelagem Rasch. Validação; Ensino de Física; Corrente elétrica e circuitos elétricos.

ABSTRACT

This article presents a methodological study on the construction and validation of an item bank related to electric current and circuits. A total of 40 items were developed combining dichotomous formats (multiple choice and true/false) and open-ended responses based on previously available materials. Validation was conducted with 205 third-year high school students from federal and state public schools who had already studied the topic. The Rasch model was used to assess dimensionality, internal consistency which demonstrated good reliability item fit, and sample adequacy. The results indicate that the item bank is multidimensional, with good fit indices. However, the reliability and person separation values obtained suggest that the test may not be ideal for distinguishing individuals with high and low proficiency, indicating its limitation for assessing heterogeneous populations. Despite this, the item hierarchy showed reliability, with only one item displaying inadequate fit. In summary, the procedures contribute to methodological advancement in the validation of educational instruments, offering a consistent tool for investigating knowledge of electric current and circuits.

Keywords: Rasch modeling; Validation; Physics education; Electric current; Electric circuits.

1 INTRODUÇÃO

Avaliar alguns atributos relacionados à aprendizagem tais como conhecimento, entendimento, concepção, é uma tarefa complexa e repleta de desafios no campo educacional. Dada a natureza latente desses atributos, além da falta de consenso teórico sobre as próprias definições, é praticamente impossível estabelecer uma métrica absoluta que permita acessar e, conseqüentemente, avaliar de forma exata tais construtos. Contudo, uma forma de estabelecer coerentemente interpretações sobre como as pessoas concebem ou entendem conteúdos, objetivo fundamental para o estudo da aprendizagem, é se valer de instrumentos construídos a partir de um aporte teórico substancial e validados de acordo com os pressupostos teóricos requeridos.

A construção e validação de banco de itens é uma prática comum no campo da avaliação (Xavier, 2018; Bayerl et al, 2021; Silva, 2021). Tal procedimento serve para a elaboração de testes calibrados, fornecendo subsídios fidedignos para acessar um traço latente (Pasquali, 2007) e fazer comparações, o que propicia avaliar diferentes aspectos da aprendizagem. Segundo Shohamy (1994), o uso de testes pode contribuir para definir e identificar maneiras de mensurar habilidades, testar hipóteses e aprimorar a qualidade dos instrumentos de coleta de dados. No entanto, um dos principais problemas enfrentados no uso desses testes está relacionado à confiabilidade dos mesmos.

A confiabilidade é um atributo essencial na avaliação da qualidade de instrumentos de acesso e mensuração, sendo compreendida como o grau em que os resultados obtidos refletem, com precisão, o valor verdadeiro, minimizando os efeitos de erros aleatórios (Souza, 2017; Hayes, 1998). Nesse sentido, Bollen (1989) destaca que a confiabilidade está relacionada à consistência da medida. A ausência dessa propriedade pode comprometer significativamente a validade dos resultados, uma vez que dados inconsistentes prejudicam a interpretação e a comparação dos achados. De acordo com Terwee et al. (2007), a confiabilidade diz respeito à capacidade do instrumento de produzir resultados estáveis e coerentes ao longo do tempo, em diferentes contextos e entre distintos avaliadores, abrangendo aspectos como precisão, estabilidade e homogeneidade, sendo, portanto, um dos critérios centrais para aferir a qualidade de um instrumento.

Nos manuais de Psicometria, um teste é válido se de fato mede o que supostamente deve medir (Pasquali, 2009). Raymundo (2009) destaca que a ausência de validação nos testes de uma pesquisa pode resultar em inadequações devido à falta de critérios de qualidade, o que pode gerar interpretações equivocadas durante a análise dos dados obtidos. Do ponto de vista

pedagógico, a validação dos instrumentos de avaliação é crucial para garantir que os resultados reflitam com maior acurácia o conhecimento dos estudantes. Uma avaliação nesses termos permite um diagnóstico mais preciso dos pontos de dificuldade e de conhecimentos dos alunos.

Na pesquisa acadêmica, a validação dos instrumentos é igualmente importante. Ela garante que os dados coletados sejam compatíveis com o que é estabelecido teoricamente, apresentando, inclusive, um caráter de replicação, requisito fundamental para a maioria dos estudos científicos. A partir de dados confiáveis coletados por instrumentos validados, temos menor arbitrariedade das inferências, o que fornece parâmetros mais robustos tanto para desenvolver como para verificar teorias educacionais. Além disso, resultados provenientes de análises cujos dados foram coletados por instrumentos validados podem orientar a formulação de políticas educacionais mais eficazes e equitativas.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo construir e validar um banco de itens sobre corrente elétrica e circuitos elétricos a partir da inclusão de itens previamente validados na literatura, como os de Coelho (2011), Mazur (2015), Silveira et al. (1989) e Silveira (2011), bem como a construção e adaptação de novos itens necessários para acessar conhecimentos não contemplados pelos testes existentes. Essa validação resultará em um instrumento para diagnosticar o conhecimento dos estudantes sobre esses temas em diferentes situações educacionais, sendo relevante para pesquisas sobre aprendizagem e efeitos instrucionais. Para além do instrumento, os procedimentos metodológicos proporcionam um arcabouço de parâmetros que podem ser empregados nas pesquisas educacionais e em ensino, quando o foco é acessar e avaliar traços latentes.

2 Validação e Modelagem Rasch

A validação de instrumentos de avaliação pode ser realizada de diversas maneiras, empregando-se tanto testes clássicos, tais como a Análise Fatorial Exploratória e Confirmatória (BROWN, 2015), como modelagens: Teoria de Resposta ao Item (BOND; FOX, 2007; RICHARDSON, 1936) e Modelagem Rasch (RASCH, 1960), por exemplo. Cada procedimento apresenta aspectos distintos, mas todos objetivam averiguar se pressupostos teóricos e empíricos são encontrados nos dados submetidos à análise, o que fornece resultados para inferir sobre a adequação dos instrumentos que serviram à coleta. Nesse trabalho, empregamos o modelo Rasch para averiguar aspectos da dimensionalidade do banco de itens, a adequação dos itens e das pessoas para acessar o traço de conhecimento sobre corrente elétrica e circuito elétrico, assim como a consistência do teste e a adequação da amostra.

2.1 Em que consiste o processo de validação?

A validação de instrumentos de avaliação é o processo de verificar se esses instrumentos acessam de forma consistente o que se propõem a acessar. Gonçalves Junior (2020) explica que esse processo de validação fornece indícios sobre o grau de concordância das respostas dos itens, testes e questionários com o que seria esperado se os itens estivessem realmente medindo um atributo psicológico único e coerente, possibilitando a comparação entre o comportamento do dado empírico e o modelo esperado.

Para se medir o traço latente desejado, faz-se necessário construir um modelo a partir de um embasamento teórico desse traço (ou seja, do que se quer acessar), a fim de fundamentar a construção dos instrumentos de avaliação. Esse processo é essencial para garantir a qualidade e a utilidade dos dados coletados. Existem diversos métodos usados para validar instrumentos de avaliação. Entre eles, os métodos psicométricos são amplamente empregados para avaliar a validade dos instrumentos de medida (CUNHA; NETO; STACKFLETH, 2016). Alguns dos processos mais comuns incluem a validação de conteúdo, a validação de critério e a validação de constructo.

Xavier (2018) conceitua validação amostral como sendo uma das etapas da validação do banco de itens em que os dados são oriundos das respostas de estudantes a testes de conhecimentos. É um processo em que uma amostra representativa do público-alvo é utilizada para testar a consistência interna do instrumento de avaliação, dentre outros parâmetros. Esse processo envolve a aplicação do instrumento a uma amostra piloto e à análise dos resultados para verificar a consistência e a precisão das medições. A validação amostral ajuda a identificar e corrigir problemas antes da aplicação em larga escala, para que assim o instrumento se torne adequado e confiável para o público-alvo.

2.2 Modelagem Rasch e Validação

A Modelagem Rasch é uma abordagem proposta pelo matemático dinamarquês Georg Rasch (1960), atualmente empregada, dentre outras coisas, para avaliar a confiabilidade e a validade de instrumentos, especialmente aqueles que acessam traços latentes, como habilidades, atitudes ou traços de personalidade. A Modelagem Rasch oferece uma escala intervalar que possibilita a interpretação das distâncias dos traços latentes entre diferentes sujeitos e a avaliação das características dos testes ou instrumentos aplicados (AMANTES; COELHO;

MARINHO, 2015). Esse modelo assume que a probabilidade de um indivíduo acertar um item específico depende da habilidade do indivíduo e da dificuldade do item (LINACRE, 2010).

A dificuldade do item indica o ponto na escala de habilidade em que um item tem 50% de chance de ser respondido corretamente, enquanto a habilidade do indivíduo representa a habilidade latente do indivíduo avaliado. O ajuste do item está associado à sua capacidade de acessar adequadamente aquilo que está sendo proposto pelo teste.

A medida de habilidade se refere à mensuração de um atributo latente, como o "entendimento", e deve seguir os mesmos princípios de uma medida objetiva. Nessa perspectiva, a habilidade de um indivíduo é estimada com base em suas respostas a itens específicos, que funcionam como "instrumentos de acesso". Para que essa medida seja considerada válida e independente, as estimativas de proficiência não podem variar em função do conjunto de itens utilizados, assim como as estimativas de dificuldade dos itens não devem depender do grupo de respondentes. Esse princípio de independência entre pessoa e item é um dos fundamentos do modelo de Rasch, conferindo ao processo de mensuração características semelhantes às das medidas nas ciências naturais. O modelo Rasch é aplicado em pesquisas educacionais para acessar e avaliar traços latentes (AMANTES; COELHO; MARINHO, 2015).

A Modelagem Rasch oferece vários benefícios para a avaliação da confiabilidade e da validade de instrumentos de avaliação. Através da análise dos parâmetros de dificuldade dos itens e das habilidades dos indivíduos, podemos identificar itens inconsistentes ou inadequados, permitindo a revisão e a melhoria do instrumento. No contexto da modelagem de testes, esse conceito indica se o instrumento avalia um único construto (unidimensionalidade) ou múltiplos construtos relacionados (multidimensionalidade), aspecto fundamental para a validade das inferências sobre o desempenho dos participantes (Britto, 2021).

O modelo Rasch apoia-se no princípio da objetividade específica: segundo Elsevier (2024), uma medida só é considerada válida e generalizável quando não depende das condições específicas de obtenção. Se os dados se ajustam ao modelo, as comparações entre pessoas são independentes dos itens administrados, e os parâmetros dos itens não são influenciados pela amostra de calibração. Esse princípio assegura que a estimativa da habilidade de um indivíduo não depende do conjunto particular de itens aplicados, assim como a dificuldade de um item não é condicionada pela amostra de participantes utilizada (Britto, 2021).

Como implicação, o processo de validação resulta em uma escala única e comum, na qual itens e habilidades são expressos na mesma métrica. Essa característica permite calcular a probabilidade de sucesso a partir da diferença entre habilidade e dificuldade, garantindo robustez, comparabilidade e generalização às inferências. Esse último aspecto da modelagem

proporciona análises para além da validação, pois, se o ajuste dos itens e pessoas, assim como do modelo e da dimensionalidade são satisfeitos, a medida obtida pode ser empregada para análises mais diversas, como estudos preditivos (Cook e Beckman (2006), de trajetória de aprendizagem (Amantes, Coelho e Marinho, 2015; Xavier e Amantes, 2021), de perfil amostral (Calheiros, Melo e Amantes, 2023), etc.


3 Método

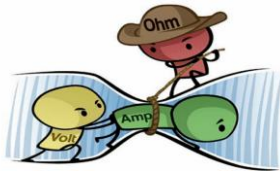
3.1 Construção do banco de itens

Segundo Wright e Stone (1999), um banco de itens é constituído por um conjunto de itens elaborados e calibrados meticulosamente que serve para definir e quantificar um tema comum. Desenvolvemos um instrumento composto por um conjunto de itens que compreende questões relacionadas ao conhecimento formal sobre corrente elétrica e circuitos elétricos em nível de Ensino Médio. Esses itens foram construídos ou adaptados considerando a natureza do item, podendo ser do tipo conceitual, procedimental ou uso de ferramentas matemáticas com base em instrumentos previamente utilizados na literatura (Coelho, 2011; Mazur, 2015; Silveira et al., 1989; Silveira, 2011).

O instrumento em questão consiste em um banco composto por 40 itens distribuídos da seguinte maneira: 14 itens de verdadeiro ou falso, 23 itens de marcação com quatro alternativas e 3 itens discursivos. A estrutura do instrumento é organizada da seguinte forma: os itens i1 a i37 são de múltipla escolha, e os itens i38 a i40 são discursivos. O Quadro 1 apresenta exemplos dos itens dicotômicos, de múltipla escolha e discursivos que compõem o instrumento.

Quadro 1 – Exemplos de itens dicotômicos, múltipla escolha e discursivos

Item do tipo dicotômico verdadeiro ou falso
<p>i15- Nesse tipo de associação de lâmpadas mostrada na figura, a resistência equivalente é dada pela soma das resistências de cada lâmpada.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">Fonte: http://www.10emtudo.com.br/aula/ensino/resistores_em_serie_e_paralelo/</p> <p> <input type="radio"/> Verdadeiro <input type="radio"/> Falso </p>
Item do tipo múltipla escolha
<p>i17- A partir da imagem abaixo, marque a alternativa correta.</p>



Fonte: <https://embarcados.com.br/lei-de-ohm/>

- a) é correto afirmar que o fluxo de corrente elétrica não sofre interferência com a resistência do circuito.
- b) a diferença de potencial não interfere no fluxo elétrico.
- c) quanto maior for a resistência, menor vai ser o fluxo de corrente elétrica.
- d) quanto maior a resistência, maior será o fluxo de corrente elétrica.

Item do tipo discursivo

i40 (Coelho, 2011) - Uma ação cotidiana e corriqueira é apertar um interruptor e acender uma lâmpada no teto ou no abajur. A figura mostra um modelo mais simples dessa situação: uma pilha comum está ligada a um interruptor e a uma lâmpada de lanterna. Ao pressionar o interruptor, a lâmpada se acende. Explique o que ocorre na pilha, nos fios, no interruptor e na lâmpada quando ela está acesa.



Figura: Representação de um circuito elétrico simples

Fonte: Coelho (2011, p. 60).

Fonte: Produção dos autores, 2024.

3.2 Coleta e transformação dos dados

Para validar o presente instrumento, foi escolhido o processo de validação amostral, que envolve a aplicação do questionário a uma quantidade determinada de sujeitos que já estudaram o conteúdo em questão. O instrumento foi aplicado a 205 estudantes da 3ª série do Ensino Médio provenientes da Rede Estadual do Espírito Santo e da Rede Federal de Minas Gerais. Na Rede Estadual do Espírito Santo, participaram alunos de uma escola regular e de uma escola em que o Ensino Médio é atrelado ao ensino técnico, neste caso o curso de Comércio. Já na Rede Federal de Minas Gerais, os participantes eram estudantes dos cursos técnicos de Agroecologia, Informática, Agrimensura e Meio Ambiente.

O banco de itens foi enviado aos professores de Física dessas instituições, que aceitaram contribuir com esta pesquisa aplicando o instrumento durante suas aulas. Os alunos responderam aos itens por meio do *Google Forms* de maneira presencial em duas aulas geminadas de 50 minutos cada. Os estudantes não tiveram material de consulta e responderam às questões somente com o entendimento que já tinham sobre os conteúdos. Os resultados obtidos foram organizados em forma de tabela e codificados para transformar as respostas em dados numéricos. As respostas corretas dos itens verdadeiro/falso e de múltipla escolha foram

substituídas pelo número 1 (um), enquanto as respostas incorretas foram representadas pelo número 0 (zero). Isso nos permitiu criar uma matriz de dados dicotômicos.

3.4 Método de análise

As respostas dos 205 estudantes, compreenderam os dados que passaram pelo processo de validação, constituído de duas etapas: a) validação dos itens dicotômicos e b) validação dos itens discursivos.

Realizamos uma análise preliminar para identificar possíveis *outliers*, ou seja, dados discrepantes, que podem incluir: i) participantes que erraram ou acertaram todas as questões, ou deixaram de responder a maioria delas. ii) itens que foram acertados ou errados por todos. Não foram excluídos nenhuma pessoa (nenhum item se mostrou como outlier), pois esses dados não fornecem parâmetros mensuráveis pela modelagem Rasch.

a) Itens dicotômicos

O modelo Rasch foi utilizado para análise dos itens dicotômicos a partir do software Winsteps® 3.70 (LINACRE, 2010). Neste trabalho, foi utilizada a versão gratuita de avaliação/estudante/demonstração do Winsteps, chamada MINISTEP. Foram avaliados os critérios de dimensionalidade, ajuste dos itens, confiabilidade e adequação do modelo.

i) Dimensionalidade: a primeira análise consiste em identificar o número de dimensões do nosso banco de itens a partir da variância residual padronizada, que consiste na variância explicada pelas medidas empírica e modulada e na variância explicada pelo primeiro contraste. Avaliar a dimensionalidade significa verificar se o teste está acessando uma ou mais dimensões de conhecimento (PASQUALI, 2009). Estudar a dimensionalidade é crucial para obter evidências de validade baseada na estrutura interna do instrumento, o que facilita uma interpretação adequada dos resultados (SISTO, 2005).

ii) Ajuste dos itens: a análise estatística dos ajustes dos itens é avaliada a partir dos valores Mean Square Statistic (MNSQ) com os índices *infit* e *outfit*. De acordo com Xavier (2018), tais índices “demonstram a relação entre o escore esperado pelo modelo e o escore bruto obtido empiricamente”. Esse índice aponta para a existência de itens que não se adéquam, ou seja, são os itens que exibem um padrão de resposta diferente do esperado. Um exemplo é quando temos itens difíceis, que supostamente deveriam ser acertados por pessoas de alta habilidade, estão sendo errados por elas e acertados por pessoas de baixa habilidade.

iii) Confiabilidade: a confiabilidade é avaliada em termos da reprodutibilidade das medidas e da consistência interna do teste. É reportada pelo coeficiente alfa de Cronbach, um índice

clássico da literatura, e dos índices de separação das pessoas e dos itens quando empregamos modelagem Rasch.

iv) Adequação ao modelo: avalia se os dados observados se ajustam ao modelo Rasch como um todo, verificando se a probabilidade de acerto em cada item depende apenas da habilidade do respondente e da dificuldade do item. Essa avaliação permite determinar se o comportamento de itens e respondentes está em conformidade com as probabilidades previstas pelo modelo, garantindo que as medidas obtidas sejam válidas e interpretáveis, e confirmando que o instrumento mede adequadamente o construto de interesse.

b) Itens discursivos

As respostas aos itens discursivos foram analisadas qualitativamente, utilizando a perspectiva docente como base. Tomamos como parâmetro a concepção acadêmica desses conceitos para avaliar o nível de entendimento dos estudantes.

“Consideramos que o estudante demonstra um entendimento mais avançado quando é capaz de mobilizar um conteúdo de forma coerente, tanto em termos procedimentais quanto de conceitualização” (AMANTES, 2009). Para examinar a compreensão desses estudantes do Ensino Médio sobre corrente elétrica e circuitos elétricos, utilizamos as Categorias de Explicitação, um sistema desenvolvido por Amantes (2009), cuja concepção também pode ser encontrada em outros estudos (Saglam-Arslan, 2010; Oliveira e Amantes, 2021; Gadéa e Amantes, 2019).

De acordo com esse sistema as respostas dos alunos podem ser classificadas em três categorias: Explícito, Parcialmente Explícito e Não Explícito. Esse sistema incorpora níveis de complexidade empregados em outras taxonomias, como o Sistema de Habilidades Dinâmicas de Fischer (1980) e a Taxonomia SOLO de Biggs e Collis (1982), mas ao invés de se basear em pressupostos teóricos de desenvolvimento, o sistema de explicitação atribui os níveis à proximidade da concepção acadêmica, ou seja, avalia a exatidão das respostas de acordo com um parâmetro formal pré-estabelecido.

4 Resultados

4.1 Itens dicotômicos

4.1.1 Dimensionalidade e validade

Para verificar a dimensionalidade, analisam-se a variância e a correção entre as previsões do modelo e os dados observados, chamada de resíduos. A hipótese inicial é a de que

podemos diferenciar pelo menos três tipos de conhecimento: procedimental, conceitual e aplicação de ferramenta matemática. É importante destacar que, mesmo que o banco de itens construído aborde o conteúdo corrente e circuitos elétricos focando na natureza do item conceitual, procedimental e uso de ferramenta de matemática, é possível que esses itens mensurem outras diferentes dimensões ou diferentes composições de múltiplas habilidades (Xavier, 2018).

A Tabela 1 apresenta a variância residual padronizada e a variância bruta explicada pelas pessoas, pelas medidas e pelos itens, sendo formada por uma síntese dos dados gerados pela Modelagem Rasch a respeito da dimensionalidade dos itens para o banco de itens aplicados. Segundo Linacre (2009), quando os valores empíricos e modelados da variância bruta explicada pelas medidas são próximos, consiste em um indício de que o modelo Rasch é uma boa estratégia a ser empregada para avaliar os dados obtidos pelo teste. É possível observar na Tabela 1 a igualdade das porcentagens entre os valores empíricos e modelados das variâncias brutas explicadas pelas medidas, pelas pessoas e pelos itens.

Tabela 1 – Variância residual padronizada e variância explicada pelo primeiro contraste

	Banco de itens	
	Empírico	Modelado
Variância bruta explicada pelas medidas	24,0%	24,0%
Variância bruta explicada pelas pessoas	7,5%	7,6%
Variância bruta explicada pelos itens	16,4%	16,5%
	Autovalor	%
Variância não explicada pelo 1º contraste	2,9	5,9%

Fonte: elaborada pelos autores

Uma das propriedades para uma escala ser considerada unidimensional é ter o autovalor do primeiro contraste menor ou igual ao valor 2,0 (Almiro e Simões, 2015). Analisando o resultado da variância não explicada no primeiro contraste apresentado na Tabela 2, nota-se um autovalor de 2,9, estando acima do limite (2,0). Esse valor é um indicativo de que possivelmente o teste não é unidimensional, ou seja, que não esteja acessando somente uma dimensão que seria o conhecimento geral sobre corrente elétrica e circuito elétrico.

Um outro aspecto que reflete a dimensionalidade é a identificação de dependência do item. Valor de correlações menor que 0,25 indica possível unidimensionalidade (Linacre, 2009). A Tabela 2 apresenta as correlações residuais padronizadas usadas para identificar item

dependente, e podemos constatar que todos os valores em módulos são maiores que 0,25, indicando uma alta correlação entre os itens, ou seja, podemos ter uma outra dimensão à parte dos demais itens.

Tabela 2 – Correlações residuais padronizadas

CORRELATION	ENTRY NUMBER IT	ENTRY NUMBER IT
.30	4 4	5 5
.30	3 3	4 4
.27	25 25	31 31
.27	15 15	18 18
.25	27 27	34 34
-.28	5 5	24 24
-.27	30 30	34 34
-.26	5 5	27 27
-.26	23 23	25 25
-.26	15 15	26 26

Fonte: Dados da pesquisa

Em relação ao aspecto da dimensionalidade, foi interpretado que os resultados da modelagem indicam mais de uma dimensão acessada, que podem ser consideradas como as facetas previamente estabelecidas ou facetas que façam a distinção entre os conhecimentos sobre corrente elétrica e circuitos. Essa confirmação pode ser feita por uma Análise Fatorial Exploratória, que compreende outra etapa sobre o estudo da estrutura do teste.

4.1.2 Confiabilidade e adequação do modelo

O objetivo é examinar a reprodutibilidade das respostas e a consistência interna do teste. A confiabilidade na Modelagem Rasch é analisada a partir do alfa de Cronbach, com o índice de separação de confiabilidade das pessoas e dos itens. O alfa de Cronbach é muitas vezes referido como o principal estimador de confiabilidade, porém não é o único (Almeida; Santos; Costa, 2010). A confiabilidade da pessoa requer não apenas estimativas de capacidade bem direcionadas por um conjunto adequado de itens, mas também uma distribuição suficientemente grande de capacidade em toda a amostra para que as medidas demonstrem uma hierarquia de capacidade/desenvolvimento (separação de pessoas) nesse construto (Fox; Jones, 1998).

O coeficiente alfa de Cronbach é uma das estatísticas mais amplamente empregadas em pesquisas que envolvem a construção, validação e aplicação de instrumentos de medida (CORTINA, 1993). Para Streiner (2003), esse coeficiente não é uma propriedade fixa da escala, mas sim uma característica relacionada ao padrão de respostas da população analisada. O valor do alfa varia entre 0 e 1 (ou entre 0% e 100%), sendo que coeficientes superiores a 0,7 indicam

níveis aceitáveis de confiabilidade das medidas (MARTINS, 2006; MAROCO; GARCIA-MARQUES, 2006).

O índice de confiabilidade da pessoa indica a replicabilidade da ordenação das pessoas que poderíamos esperar se essa amostra de pessoas recebesse outro conjunto paralelo de itens medindo o mesmo constructo (Wright; Masters, 1982). O coeficiente de separação entre os indivíduos fornece uma estimativa mais precisa, visto que o alfa de Cronbach tende a ultrapassar o valor máximo esperado para a confiabilidade das medidas obtidas através da modelagem Rasch (Linacre, 2009). Os índices das pessoas estão reportados na Tabela 3. O alfa de Cronbach foi de 0,76, indicando bom ajuste relativo à consistência interna.

Tabela 3– Índice alfa de Cronbach para pessoas

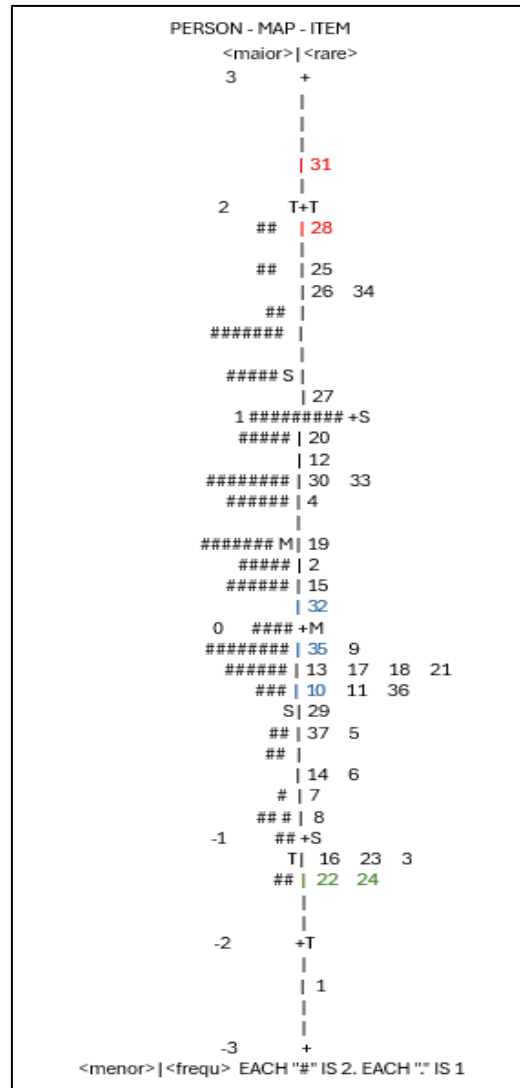
Alfa de Cronbach		Média	Desvio Padrão	MNS Q infit	T infit	MNS Q outfit	T outfit	Separação	Confiabilidade
Banco de itens	Item	.00	.99	1.00	.0	.99	.1	5.72	.97
	Pessoa	.43	.78	.99	.0	.99	.1	1.69	.74

Fonte: elaborada pelos autores

Na mesma tabela, observa-se o coeficiente de separação dos itens. Segundo Linacre (2017), valores considerados adequados para esses índices incluem uma separação de itens e de pessoas superior a 2,0, associada a confiabilidade acima de 0,8. Conforme evidenciado na Tabela 4, o índice de separação dos itens apresentou valor de 5,72, excedendo significativamente o parâmetro recomendado pela literatura, com confiabilidade correspondente de 0,97.

Já em relação ao coeficiente de separação entre as pessoas, que à precisão com que a variabilidade dos sujeitos é capturada pelos itens, foi igual a 1,69, com um índice de confiabilidade igual a 0,74. Valores de separação de pessoas menores que 2, geralmente associados a uma confiabilidade das pessoas inferior a 0,8, sugerem que o teste pode não ser adequado para distinguir entre indivíduos de alta e baixa proficiência (Linacre, 2017). Isso significa que nosso instrumento pode ter limitações para discriminar pessoas com desempenho alto e baixo, mas, por outro lado, a hierarquia dos itens é confiável. Outro parâmetro empregado para avaliar a adequação dos itens e do teste, em geral, é a distribuição das medidas dos itens e das pessoas no mapa de distribuição, o qual fornece uma escala de *logits*, representado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de distribuição de itens e pessoas



Fonte: Dados da pesquisa

No mapa de itens apresentado na Figura 1, os estudantes são organizados de acordo com sua medida de habilidade em relação ao traço latente, enquanto os itens são dispostos segundo seu nível de dificuldade, formando uma hierarquia vertical. Itens de maior dificuldade, como os de número 31 e 28 (em vermelho), bem como participantes com maior habilidade, localizam-se na parte superior do mapa. Já os itens de dificuldade intermediária, como os de número 32, 35 e 10 (em azul), situam-se na faixa média, enquanto os itens de menor dificuldade, como os de número 22 e 24 (em verde), aparecem na base.

Espera-se, nesse tipo de análise, uma distribuição aproximadamente normal que cubra toda a faixa de habilidades e de dificuldades dos itens, o que indica, por um lado, que a amostra é heterogênea e, por outro, que o instrumento é capaz de captar tal heterogeneidade, dimensionando tanto as habilidades mais elevadas quanto as mais baixas relacionadas ao traço em estudo. No presente estudo, a média de proficiência dos participantes mostrou-se superior à média do teste (+M > M), o que sugere que o banco de itens era relativamente “fácil” para essa

amostra específica. Ainda assim, a distribuição geral de itens e pessoas revelou-se adequada, confirmando a consistência e a aplicabilidade do instrumento.

4.1.3 Ajuste dos itens

Espera-se que os itens do banco discriminem adequadamente diferentes níveis de conhecimento. No entanto, a análise da confiabilidade sugeriu uma possível limitação nessa distinção entre indivíduos com altas e baixas proficiências. Essa evidência pode estar relacionada ao tamanho da amostra ou a itens específicos que interferem nas estimativas de desempenho. Para aprofundar essa análise, recorre-se às estatísticas de ajuste dos itens.

A análise estatística dos ajustes dos itens considera os valores de Mean Square Statistic (MNSQ) com os índices *infit* e *outfit*. A MNSQ é uma estatística de qui-quadrado dividida por seus graus de liberdade, e os seus valores expressam a relação entre o escore esperado pelo modelo e o escore bruto obtido empiricamente (Xavier, 2018, p. 67). De acordo com Wright e Stone (2004), a análise dos índices *infit* e *outfit* permite identificar itens que apresentam padrões de resposta inesperados. Wright e Linacre (1994) ressaltam que os valores das medidas de ajuste, MNSQ *infit* e *outfit*, devem estar dentro do intervalo considerado ótimo entre 0,5 e 1,5.

A Tabela 4 corresponde aos índices de ajustes dos itens a partir dos valores de MNSQ do *infit* e *outfit*. Dos 37 itens, apenas o item 28 não apresenta o índice dentro do intervalo de ajuste. Para nosso banco de itens, as médias dos índices de *infit* e *outfit* são $1,0(\pm 0,11)$ e $0,99(\pm 0,18)$, respectivamente, indicando que os itens como um todo estão bem ajustados.

Tabela 4 – Índices de ajustes dos itens

Banco de itens		
Item	<i>Infit</i> (MNSQ)	<i>Outfit</i> (MNSQ)
1	1,01	1
2	1,01	1
3	1,09	1,02
4	1,13	1,15
5	1,18	1,21
6	1,1	1,16
7	0,85	0,75
8	0,92	0,83
9	0,99	0,96
10	1,11	1,13
11	1,01	0,97
12	1,16	1,22

13	0,95	0,95
14	0,99	0,89
15	1,03	1,01
16	0,98	0,96
17	1,01	1,01
18	0,9	0,88
19	0,93	0,91
20	1,02	1,07
21	0,85	0,8
22	0,85	0,74
23	0,82	0,66
24	0,81	0,6
25	1,18	1,38
26	1,02	0,97
27	1	0,97
28	1,25	1,51
29	0,93	0,98
30	1,02	1,03
31	1,1	1,22
32	0,87	0,84
33	0,9	0,9
34	1,08	1,06
35	1,06	1,07
36	1,02	1,02
37	0,89	0,84
MNSQ	<i>Infit</i>	<i>Outfit</i>
Média	1,00	0,99
(SD)	0,11	0,18

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2 Itens discursivos

As respostas aos itens i38 a i40 foram analisadas utilizando-se três categorias de avaliação: Explícita, Parcialmente Explícita e Não Explícita (AMANTES, 2009). A categoria “Explícita” refere-se a um entendimento articulado em que as ideias são relacionadas de maneira coerente e adequada aos parâmetros acadêmicos. A categoria “Parcialmente Explícita” indica que o estudante possui algum entendimento do que foi perguntado, mas ainda apresenta equívocos ou uma compreensão limitada em termos de relações e concepções generalizadas, ou seja, está menos articulado. Já a categoria “Não Explícita” considera respostas das quais não é possível inferir entendimento ou que apresentam compreensão totalmente equivocada.

As respostas dos 205 estudantes foram classificadas de acordo com as três categorias de avaliação supracitadas. O Quadro 2 apresenta um exemplo da categorização da questão i39.

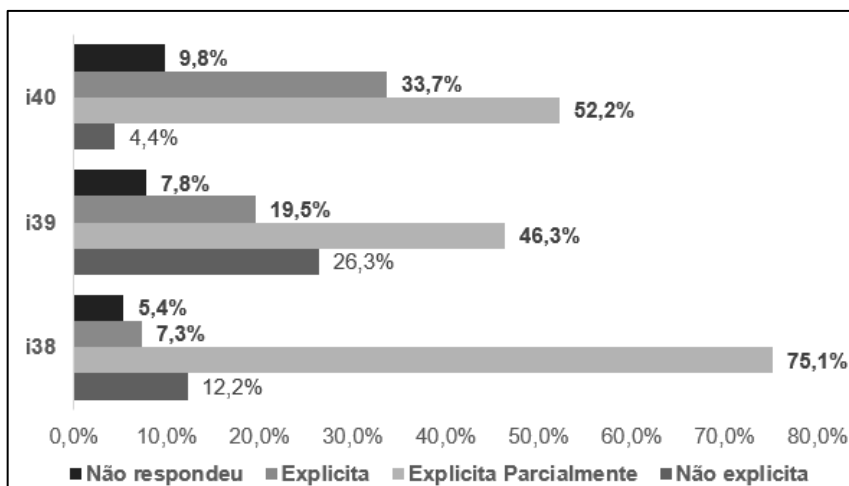
Quadro 2 – Categorização dos itens discursivos

i39- O que será menos perigoso: ligar um aparelho de 110V a uma tomada de 220V ou ligar um aparelho de 220V a uma tomada de 110V? Justifique.		
Resposta do estudante	Nível de complexidade	Descrição do nível
Ligar um aparelho de 110V a uma tomada de 220 V.	0	Não Explícito: resposta equivocada, com erro de conceitos científicos, em que o estudante responde que ligar um aparelho de 220V a uma tomada de 110V é mais perigoso.
Ligar um aparelho de 220V em uma tomada de 110V	1	Parcialmente Explícito: o estudante reconhece que ligar um aparelho de 220V em uma tomada 110V é menos perigoso. Ou que ligar um aparelho de 110V em uma tomada de 220V é mais perigoso.
É menos perigoso ligar um aparelho de 220V em 110V, pois só causa mau funcionamento, apenas fica mais fraco. Quando um aparelho de 110V é ligado a uma tomada de 220V, é mais perigoso, pois, quando é conectado a uma voltagem maior do que a sua classificação, pode resultar em danos ao aparelho (como queimar) e até representar riscos de incêndio.	2	Explícito: o estudante reconhece que ligar um aparelho de 220V em uma tomada de 110V é menos perigoso. Ou que ligar um aparelho de 110V em uma tomada de 220V é mais perigoso. Justifica como funcionará esse aparelho e explica sobre a possibilidade de queimar ou danificar o aparelho.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As Categorias de Explicitação constituem um sistema de classificação que pode ser facilmente incorporado às práticas docentes, uma vez que sua lógica se assemelha àquela empregada pelos professores na correção das atividades dos alunos (AMANTES; OLIVEIRA, 2012). Na abordagem adotada neste trabalho, considera-se que o uso apropriado da linguagem acadêmica para explicar corretamente os conteúdos indica um entendimento mais articulado. Foi realizada uma análise de frequência dessas categorias com o objetivo de avaliar a dispersão em relação a cada uma das questões, considerando-se que, entre indivíduos que já estudaram o tema, é esperada uma distribuição normal das categorias.

Gráfico 1 – Percentual das categorias adotadas conforme as respostas dos estudantes



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados no Gráfico 1 demonstram que, de maneira geral, as respostas aos itens (i38, i39, i40) apresentam uma maior porcentagem na categoria "Explícita Parcialmente", o que é esperado, do ponto de vista de avaliação dos itens esperamos que em uma população tenhamos um conhecimento mais centrado na média.

O item 40 foi o que teve mais respostas em nível mais complexo, sendo o 38 o que apresentou menos respostas nessa categoria. Isso traz indicativos de que o item 38 necessita de algum ajuste, porque pode trazer algum elemento que envie a resposta das pessoas. Ou seja, uma possível explicação é que as pessoas com mais alto entendimento tiveram respostas parcialmente explícitas por não terem compreendido totalmente o enunciado.

De um modo geral, as respostas aos itens apresentaram certo padrão, tanto de exatidão como de pontos equivocados, o que indica bom design do item. Caso contrário, obteríamos uma dispersão de respostas grande, indicando possivelmente uma falta de compreensão homogênea do que está sendo perguntado.

5 Discussão

As análises realizadas por meio da Modelagem Rasch revelaram que, de maneira geral, o banco de itens, composto por questões dicotômicas e discursivas, está bem ajustado. O item 28 foi o único que apresentou um índice de *outfit* MNSQ de 1,51, valor que não está em conformidade com o ideal sugerido pela literatura. Segundo Linacre (2009), valores de *infit* e *outfit* entre 1,50 e 2,00 são considerados desajustes moderados que não comprometem significativamente a qualidade da medida. Nesse contexto, optou-se por manter esse item de

múltipla escolha no banco de itens, uma vez que seu impacto na confiabilidade geral do banco é limitado.

A análise de dimensionalidade levantou a hipótese de que o conjunto de itens pode estar acessando mais de uma dimensão do conhecimento sobre circuitos elétricos. Essa questão deve ser investigada em estudos futuros em que os testes de conhecimento serão formulados com base nos resultados obtidos, incluindo dificuldades e correlações observadas. É crucial que esses futuros testes incluam um equilíbrio entre questões fáceis, médias e difíceis para garantir uma avaliação abrangente das habilidades dos estudantes.

Em relação os itens discursivos, a análise dos dados revela que o item i39 é o mais difícil, com a maior porcentagem de respostas "Não explícita" e uma alta taxa de "Explícita Parcialmente". Este item poderia se beneficiar de uma revisão para melhorar sua clareza ou ajustar sua complexidade. Em contraste, o item i40 é o mais acessível, com a maior porcentagem de respostas "Explícita", embora a alta taxa de falta de respostas sugira que ele ainda apresente desafios para alguns estudantes. O item i38, com a maioria das respostas na categoria "Explícita Parcialmente", indica que, enquanto os estudantes compreendem o item até certo ponto, muitos não conseguem formular uma resposta completamente correta. Essas análises sugerem áreas específicas onde os itens podem ser ajustados ou onde os estudantes podem precisar de mais suporte e instrução para melhorar seu entendimento dos conceitos avaliados.

6 Considerações Finais

Desenvolver instrumentos para acessar traços latentes é tarefa complexa e essencial para análises educacionais de qualidade. Este estudo apresentou a construção e validação de um banco de 40 itens sobre corrente e circuitos elétricos, aplicado a 205 estudantes do ensino médio. A análise utilizou o modelo Rasch para itens dicotômicos e Categorias de Explicitação para discursivos, avaliando dimensionalidade, ajuste, consistência e hierarquia de dificuldades.

Os resultados apontam para uma possível multidimensionalidade, que deve ser mais estudada em futuros trabalhos. Tivemos também confiabilidade interna adequada ($\alpha > 0,7$) e boa separação de itens com limitações na separação de pessoas. A maioria dos itens mostrou bom ajuste, exceto o 28, e tivemos apontamentos para mudanças nos itens discursivos. O mapa de itens indicou predominância de questões fáceis, mas nos deu subsídio para a construção de testes com questões fáceis, médias e difíceis.

Destacamos que, apesar da adequação psicométrica observada, recomenda-se validação em contextos mais amplos e heterogêneos, reforçando a utilidade do modelo Rasch e das Categorias de Explicitação na construção de instrumentos avaliativos replicáveis em outras áreas.

O presente trabalho estabelece uma metodologia de validação que pode ser empregada para diferentes tipos de testes. A discussão e condução de procedimentos dessa natureza são imprescindíveis para que a confiabilidade de instrumentos seja dimensionada e para que a qualidade das pesquisas na área seja alcançada. O processo de validação traz garantias sobre a adequação das ferramentas que empregamos no estudo, seja de coleta ou de análise, evitando resultados e interpretações enviesados.

REFERÊNCIAS

ALMIRO, Pedro Armelino A.; SIMÕES, Mário R. Estudo da versão portuguesa do EPQ-R: uma aplicação do Modelo Rasch. In: GOLINO, H. G. et al. *Psicometria contemporânea: compreendendo os modelos Rasch*. v. 1. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2015. p. 242–281.

AMANTES, Amanda. *Contextualização no ensino de Física: efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes*. 2009. 275 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte, 2009.

AMANTES, Amanda; OLIVEIRA, Elrismar Auxiliadora Gomes. A construção e o uso de sistemas de categorias para avaliar o entendimento dos estudantes. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, p. 61–79, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/SCSCXZDHqgDBHHsSMpcJJgJ/?format=pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

AMANTES, Amanda; COELHO, Geide Rosa; MARINHO, Rafael. A medida nas pesquisas em educação: empregando o modelo Rasch para acessar e avaliar traços latentes. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, n. 3, p. 657–684, 2015.

BIGGS, John; COLLIS, Kevin. *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press, 1982.

BOND, Trevor G.; FOX, Christine M. Important principles of measurement made explicit. In: BOND, T. G.; FOX, C. M. *Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences*. 2. ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007. p. 15–25.

BOLLEN, Kenneth A. *Structural equations with latent variables*. New York: Wiley, 1989.

BROWN, Timothy A. *Confirmatory factor analysis for applied research*. 2. ed. New York: Guilford Press, 2015.

BRITTO, D. S. Práticas de modelagem matemática e dimensões da aprendizagem geométrica. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 1, p. 169–196, 2021.

COOK, David A.; BECKMAN, Thomas J. Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. *The American Journal of Medicine*, v. 119, n. 2, p. 166.e7–166.e16, 2006.

CORTINA, José M. What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of Applied Psychology*, v. 78, n. 1, p. 98–104, 1993. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232494582_What_Is_Coefficient_Alpha_An_Examination_of_Theory_and_Applications. Acesso em: 20 ago. 2024.

CALHEIROS, F.; FLORENTINO DE MELO, V.; AMANTES, Amanda. O autoconceito em Química de estudantes do Ensino Médio de escolas de Salvador: uma análise exploratória em busca de fatores preditivos. *Revista Exitus*, v. 13, n. 1, e023058, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24065/re.v13i1.2176>. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.ufopa.edu.br/index.php/revistaexitus>. Acesso em: 9 set. 2025.

CRONBACH, Lee J. et al. *The dependability of behavioral measurements: theory for generalizability of scores and profiles*. New York: John Wiley, 1972.

CUNHA, Cristiane Martins; ALMEIDA NETO, Omar Pereira de; STACKFLETH, Renata. Principais métodos de avaliação psicométrica da validade de instrumentos de medida. *Revista de Atenção à Saúde*, v. 14, n. 47, p. 75–83, 2016. DOI: <https://doi.org/10.13037/ras.vol14n47.3391>.

ELSEVIER. Aplicación del análisis Rasch en la investigación enfermera. *Enfermería Clínica*, v. 35, 2024.

FISCHER, Kurt W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, v. 87, n. 6, p. 477–531, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.6.477>.

GADÉA, Sirlley J. S.; AMANTES, Amanda. Avaliando a aprendizagem de estudantes dos anos iniciais sobre flutuação em uma atividade investigativa. v. 23, n. 2, p. 21–46, 2019.

GOLINO, Heitor F.; GOMES, Cristiano M. A.; AMANTES, Amanda; COELHO, Geide Rosa (org.). *Psicometria contemporânea: compreendendo os modelos de Rasch*. v. 1. Belo Horizonte: Artesã Editora, 2019.

HAUCK FILHO, Nelson; TEIXEIRA, Marcus Antonio Pereira. Revisiting the psychometric properties of the Levenson self-report psychopathy scale. *Journal of Personality Assessment*, v. 96, n. 4, p. 459–464, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/00223891.2013.865196>.

HAYES, Bob E. *Measuring customer satisfaction: survey design, use, and statistical analysis methods*. Milwaukee: ASQ Quality Press, 1998.

LINACRE, John Michael. *A user's guide to WINSTEPS MINISTEPS Rasch-model computer programs*. Chicago, 2006.

MAROCO, João; GARCIA-MARQUES, Teresa. Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? *Laboratório de Psicologia*, Lisboa, v. 4, n. 1, p. 65–90, 2006.

MARTINS, Gilberto de Andrade. Sobre confiabilidade e validade. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2006.

MAZUR, Eric. *Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa*. Porto Alegre: Penso, 2015.

OLIVEIRA, Elrismar Auxiliadora Gomes; AMANTES, Amanda. Astronomy teaching in the elementary education in accordance with the new guidelines of the Base Nacional Comum Curricular. *REVES – Revista Relações Sociais*, v. 4, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18540/revesv14iss4pp12825-01-12e>.

PASQUALI, Luiz. Psicometria. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 43, p. 992–999, 2009.

PASQUALI, Luiz. Validade dos testes psicológicos: será possível reencontrar o caminho? *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, v. 23, p. 99–107, 2007.

RICHARDSON, M. W. Notes on the rationale of item analysis. *Psychometrika*, v. 1, p. 69–76, 1936.

SAGLAM-ARSLAN, Aysegul. Cross-grade comparison of students' understanding of energy concepts. *Journal of Science Education and Technology*, v. 19, p. 303–313, 2010.

SHOHAMY, Elana. The role of language tests in the construction and validation of second-language acquisition theories. In: TARONE, E.; GASS, S.; COHEN, A. (org.). *Research methodology in second language acquisition*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1994.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 41, n. 11, p. 1129–1133, 1989.

SILVEIRA, Fernando Lang da. Um teste para verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. In: _____. *Física no ensino médio: falhas e soluções*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011. p. 61–67.

SISTO, Fermino Fernandes. Um estudo sobre a dimensionalidade do teste do desenho da figura humana. *Interação em Psicologia*, v. 9, p. 11–19, 2005.

SOUZA, Ana Cláudia de; ALEXANDRE, Neusa Maria Costa; GUIRARDELLO, Edinêis de Brito. Propriedades psicométricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 26, n. 3, p. 649–659, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000300022>.

STREINER, David L. Being inconsistent about consistency: when coefficient alpha does and doesn't matter. *Journal of Personality Assessment*, v. 80, p. 217–222, 2003.

TERWEE, Caroline B. et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *Journal of Clinical Epidemiology*, v. 60, n. 1, p. 34–42, 2007.

WRIGHT, Benjamin; MASTERS, Geoffrey N. *Rating scale analysis*. Chicago: MESA Press, 1982.

WRIGHT, Benjamin; STONE, Mark. Item banking. In: WRIGHT, B.; STONE, M. *Measurement essentials*. 2. ed. Wilmington: Wide Range, 1999. p. 107–117.

XAVIER, Agamenon Pereira. *Laboratório virtual versus laboratório material: a aprendizagem de Física com intervenções tradicionais e investigativas*. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

XAVIER, Agamenon Pereira; AMANTES, Amanda. Validação de roteiro estruturado para sua utilização como instrumento de intervenção no laboratório didático de Física. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 9, p. 91917–91927, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-382>.

CAPÍTULO 4: O QUE SE APRENDE SOBRE CORRENTES E CIRCUITOS ELÉTRICOS EM ABORDAGENS COM METODOLOGIAS ATIVAS?

WHAT DO YOU LEARN ABOUT ELECTRIC CURRENT AND CIRCUITS USING ACTIVE LEARNING METHODOLOGIES?

RESUMO

Nesse estudo investigamos os efeitos de uma oficina fundamentada em Metodologias Ativas sobre a aprendizagem de conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos entre estudantes de Licenciatura em Física. A intervenção foi realizada por meio de uma Sequência Didática (SD), que abordou o funcionamento do telefone celular, previamente validada por especialistas. Adotou-se um delineamento de pré-teste e pós-teste, cada um composto por 27 questões equivalentes, contendo itens âncora, permitindo análise que incorporaram a modelagem Rasch. O instrumento apresentou excelente ajuste ($MNSQ \approx 1,00$) e alta confiabilidade (0,90). A Análise Fatorial Exploratória revelou dois fatores latentes estruturantes do conhecimento: fenomenológico e procedimental. A proficiência média dos estudantes aumentou significativamente de 0,19 *logits* (pré-teste) para 1,54 *logits* (pós-teste) ($p < 0,001$). O Mapa de Itens evidenciou o deslocamento coletivo da proficiência para níveis superiores, indicando avanços substanciais nos domínios conceituais e procedimentais., demonstrando que a SD, articulada ao uso do celular como recurso didático e baseada em Metodologias Ativas, favoreceu significativamente a aprendizagem de conceitos complexos de Física. O estudo fornece evidências empíricas da adequação dos tipos de abordagens contempladas no material para o ensino de conteúdos de eletricidade, contribuindo ainda para o aspecto metodológico de análise de dados ao apresentar a perspectiva de mudança a partir das medidas em logits provenientes da modelagem.

Palavras-chave: Ensino de Física; Metodologias Ativas; Modelo Rasch; Corrente e Circuitos Elétricos; Aprendizagem; Análise Fatorial; Sequência Didática.

ABSTRACT

This study investigated the effects of a workshop based on Active Learning Methodologies on the learning of electric current and electrical circuits concepts among undergraduate Physics students. The intervention was mediated by a Didactic Sequence (DS) contextualized in the functioning of the cell phone and previously validated by experts. A pre-test and post-test design was adopted, each consisting of 27 equivalent questions with anchor items, allowing psychometric analyses using the Rasch Model. The instrument showed excellent psychometric fit ($MNSQ \approx 1.00$) and high reliability (0.90). Exploratory Factor Analysis revealed two latent factors structuring the knowledge: phenomenological and procedural. Students' mean proficiency increased significantly from 0.19 logits (pre-test) to 1.54 logits (post-test) ($p < 0.001$). The Item Map evidenced the collective shift of proficiency to higher levels, indicating substantial advances in both conceptual and procedural domains. The DS, integrated with the use of the cell phone as a didactic tool and based on Active Learning Methodologies, significantly enhanced the learning of complex Physics concepts. The study provides empirical evidence of the effectiveness of these approaches, contributing to the literature by addressing gaps in the rigorous measurement of their impact on conceptual performance.

Keywords: Physics Education; Active Learning Methodologies; Rasch Model; Electric Current and Circuits; Learning; Factor Analysis; Didactic Sequence.

1 Introdução

A aprendizagem (Biggs & Collis, 1982) de conteúdos complexos, como aqueles das disciplinas científicas, é muitas vezes reportada como de difícil alcance na área de ensino, sendo os métodos/abordagens um ponto crucial, que de forma recorrente são enunciados como um obstáculo em termos de elaboração (BIGGS, TANG, KENNEDY, 2022). Essa dificuldade é ainda intensificada por práticas tradicionais centradas em fórmulas e definições descontextualizadas, que frequentemente conduzem a aprendizagens mecânicas e a uma baixa compreensão conceitual (Disessa, 1993; Posner et al., 1982; Duit; Treagust, 2003; Faria; Faz, 2019). Diante desse cenário, emerge a necessidade de práticas de ensino e aprendizagem mais contextualizadas e vinculadas ao cotidiano, de modo a aproximar os fenômenos físicos da realidade dos estudantes.

Paralelamente a esses desafios conceituais, o ambiente educacional contemporâneo é marcado pela crescente demanda por inovação. Essa busca se manifesta no interesse e na incorporação de tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial (IA), Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA), que visam enriquecer o ambiente de aprendizagem e possibilitar a simulação de experiências diversas. Essa transformação tecnológica acompanha uma mudança na perspectiva pedagógica, que atualmente adota um foco no estudante, denominada como Metodologias Ativas. Embora o termo seja relativamente recente, a ideia central já está presente em abordagens consolidadas, como as atividades investigativas e a aprendizagem baseada em projetos (Müller et al., 2017), ou recorre ao uso de práticas pedagógicas alinhadas ao STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), fundamentadas na integração de conteúdos, na aprendizagem centrada em problemas, na investigação, na elaboração de projetos e na cooperação entre estudantes (Thibaut et al., 2018). Tais metodologias buscam promover o pensamento crítico e o desenvolvimento da autonomia dos estudantes.

Apesar da crescente popularidade e do aumento de propostas educacionais fundamentadas em Metodologias Ativas, observa-se uma lacuna no que diz respeito às evidências sólidas sobre seus efeitos concretos na aprendizagem de conceitos específicos e complexos (Müller et al., 2017). Muitas iniciativas demonstram favorecer o engajamento e a motivação (Faria; Faz, 2019), mas nem sempre os desempenhos conceituais, procedimentais e/ou atitudinais (Zabala, 1998) é claramente analisado.

Diante desse cenário, entendemos que apenas propor inovações educacionais não supre necessariamente as dificuldades inerentes ao ensino dos conteúdos científicos. É necessário entender com mais profundidade os impactos dessas inovações na aprendizagem dos sujeitos,

identificando os aspectos positivos, mas também as limitações. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é investigar a aprendizagem de estudantes quando uma inovação educacional contextualizando o celular e baseada em Metodologias Ativas é empregada para o ensino de conteúdos científicos sobre eletricidade.

Para garantir o rigor metodológico, o material didático foi previamente construído e validado por especialistas na área de ensino de Física. Busca-se produzir evidências empíricas capazes de responder à seguinte questão: o que os estudantes aprendem sobre os conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos quando submetidos a essa modalidade de ensino?

Consideramos que, ao fornecer dados sobre a aprendizagem de corrente elétrica e circuitos elétricos, utilizando um material com validade comprovada, este trabalho contribui para a literatura educacional e oferece subsídios para que professores e pesquisadores tomem decisões mais informadas sobre a implementação e o aperfeiçoamento de abordagens pedagógicas inovadoras na perspectiva de metodologias de ensino com foco no estudante.

2 Metodologias Ativas no Ensino de Física

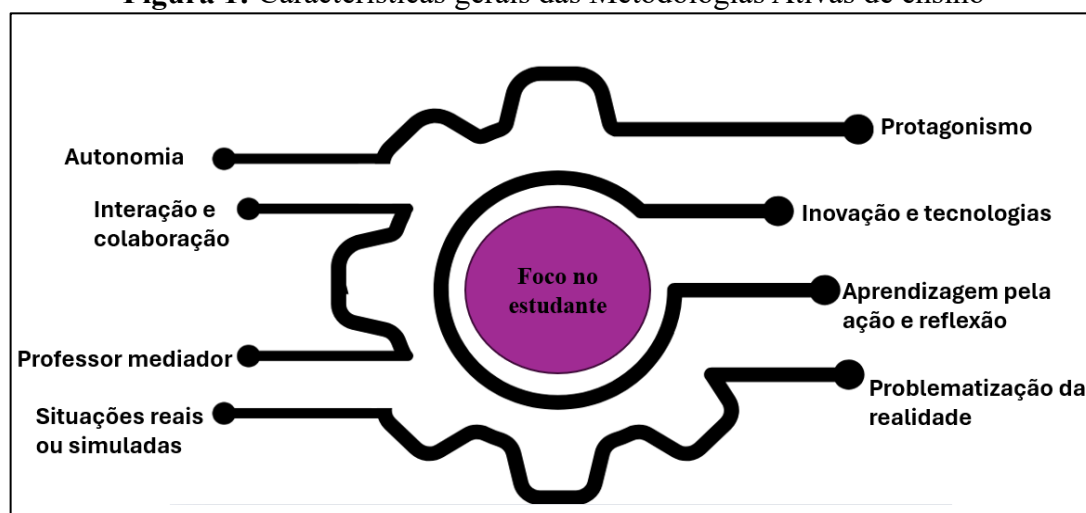
As Metodologias Ativas têm ganhado destaque no debate educacional contemporâneo, sobretudo em função de seu potencial para promover a aprendizagem e dos desafios que envolvem sua implementação em distintos contextos e níveis de ensino. As Metodologias Ativas derivam de um movimento histórico mais amplo que reposiciona o estudante como protagonista do processo educativo. Seus fundamentos remontam à Escola Nova, com pensadores como William James, John Dewey e Édouard Claparède, que já defendiam práticas centradas na experiência, na autonomia e na participação ativa do aprendiz (BERSANETTE, 2021).

Em consonância com essa perspectiva, Moran (2018) compreende as metodologias como diretrizes que orientam os processos de ensino e aprendizagem, concretizando-se em estratégias, abordagens e técnicas específicas e diversificadas. Para Berbel (2011), as Metodologias Ativas fundamentam-se em formas de conduzir a aprendizagem por meio de experiências reais ou simuladas, criando condições para que o estudante desenvolva a capacidade de solucionar, com sucesso, desafios próprios das práticas sociais em diferentes contextos. Nessa perspectiva, as Metodologias Ativas representam práticas pedagógicas que rompem com a linearidade do ensino tradicional, ao mobilizar o estudante para a ação, a reflexão e a construção do próprio conhecimento.

De modo geral, uma abordagem fundamentada em Metodologias Ativas apresenta um conjunto de características específicas, organizadas de maneira integrada. A Figura 1, a seguir,

apresenta uma síntese desses princípios, evidenciando os elementos que orientam esse tipo de prática pedagógica.

Figura 1: Características gerais das Metodologias Ativas de ensino



Fonte: Inspirada e adaptada de Diesel, Baldez e Martins (2017).

O processo de ensino e aprendizagem nas Metodologias Ativas constitui-se como um ciclo sustentado em três pilares: a ação (engajamento em tarefas práticas, investigativas ou de resolução de problemas); a reflexão (o pensamento crítico e a análise sobre as atividades realizadas e os resultados obtidos); e a consequente construção do conhecimento, impulsionada pela necessidade de compreender e interpretar os fenômenos vivenciados, e não pela repetição (Bacich; Moran, 2017).

O termo “Metodologia Ativa” funciona como um guarda-chuva para uma variedade de abordagens. Cada abordagem mobiliza diferentes formas de ação, interação, investigação e construção do conhecimento, possibilitando ao docente selecionar aquela que melhor se adéqua aos objetivos de ensino, ao conteúdo e ao contexto educacional. O Quadro 1, a seguir, apresenta uma síntese dos principais tipos de Metodologias Ativas e de suas respectivas definições, oferecendo uma visão das possibilidades pedagógicas que podem ser incorporadas ao ensino.

Quadro 1: Principais Metodologias Ativas e suas definições

Tipo de Metodologia	Definições
Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP)	O estudante enfrenta problemas reais ou simulados, investigando e propondo soluções, desenvolvendo pensamento crítico e autonomia (Barrows, 1986).
Aprendizagem por Pares (<i>Peer instruction</i>)	Visa fundamentalmente explorar a interação entre os estudantes e focar a atenção deles nos conceitos fundamentais da disciplina, em oposição à memorização de fórmulas ou à resolução mecânica de problemas (Mazur, 1997)
Sala de Aula Invertida	O conteúdo é estudado previamente pelo aluno, e o tempo em sala é dedicado a discussões, resolução de exercícios e aplicação prática (Bergmann; Sams, 2016).
Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)	O aluno desenvolve projetos que integram conhecimentos e habilidades, solucionando problemas complexos e reais (Thomas, 2000).

Estudo de Caso	Análise de situações concretas que permitem aplicar conceitos teóricos a contextos reais, promovendo reflexão e tomada de decisão (Yin, 2018).
Gamificação	Uso de elementos de jogos em contextos educacionais para motivar e engajar os estudantes, promovendo aprendizado ativo (Kapp, 2012).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

No ensino de Física, o uso de Metodologias Ativas busca transcender a mera memorização de fórmulas, promovendo a compreensão conceitual e a aplicação do conhecimento (Araújo; Mazur, 2013). Essas abordagens têm demonstrado potencial para superar barreiras conceituais e motivacionais tradicionalmente observadas nesse campo. Estratégias como o *Peer Instruction* (Instrução por Pares), popularizada por Eric Mazur, e a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*) são amplamente mencionadas na literatura como ferramentas eficazes para favorecer a aprendizagem (Oliveira et al., 2016; Araújo; Mazur, 2013). O *Peer Instruction*, por exemplo, fundamenta-se na discussão entre pares e na resolução de problemas conceituais em tempo real, promovendo maior interação e reflexão crítica sobre os conceitos físicos. De forma complementar, a Sala de Aula Invertida reorganiza a lógica entre estudo prévio e atividades presenciais, permitindo que o tempo em sala de aula seja dedicado a práticas investigativas e discussões, potencializando a aplicação do conhecimento.

A efetividade dessas abordagens não se restringe à melhoria do desempenho acadêmico, abrangendo também o desenvolvimento de habilidades fundamentais para a formação integral do estudante. Estudos qualitativos indicam que o uso de metodologias ativas frequentemente articuladas a tecnologias digitais e atividades experimentais (Berquo; Santos, 2020) promove maior envolvimento, protagonismo e engajamento discente em atividades colaborativas (Fiasca et al., 2021). Essa mudança na dinâmica da sala de aula estimula o raciocínio, a capacidade de resolução de problemas e o pensamento crítico, além de favorecer o desenvolvimento da autonomia (Cunha et al., 2024; Berbel, 2011).

Apesar dos resultados promissores, a implementação de Metodologias Ativas no ensino de Física requer planejamento didático e o comprometimento de docentes e instituições. A transição de um modelo tradicional para práticas centradas na participação ativa do estudante enfrenta desafios, como a resistência cultural às inovações pedagógicas e a necessidade de formação continuada para professores (Barbosa et al., 2023). Entretanto, a literatura científica e as experiências pedagógicas indicam que as Metodologias Ativas constituem um caminho sólido e promissor para tornar o ensino de Física mais relevante, engajador e alinhado às demandas contemporâneas por aprendizagens mais profundas e duradouras (Moran, 2018).

3 Aprendizagem como Evolução do Entendimento

Uma forma de conceber a aprendizagem é a adoção da perspectiva de evolução do entendimento descrita na epistemologia genética piagetiana, a qual caracteriza o processo como dinâmico, progressivo e orientado pela reorganização das estruturas cognitivas ao longo do tempo. Para Piaget (1970, 1976), o desenvolvimento do conhecimento emerge da equilibração, mecanismo que conduz o sujeito a construir explicações cada vez mais complexas. Nessa perspectiva, aprender envolve transformar esquemas prévios por meio dos processos de assimilação e acomodação, produzindo mudanças qualitativas no modo como o indivíduo compreende um fenômeno (Becker, 2014). A aprendizagem, portanto, não é um evento pontual, mas uma sequência contínua de reorganizações estruturais que se manifestam em formas cada vez mais estáveis e sofisticadas de raciocínio.

Essa visão processual é complementada pelas abordagens neopiagetianas, especialmente pela *Dynamic Skill Theory*, de Kurt Fischer (1980), que descreve o desenvolvimento cognitivo como uma construção gradual de habilidades organizadas em níveis hierárquicos de complexidade. Fischer enfatiza que o entendimento evolui por meio de pequenas coordenações entre habilidades menores, que, ao longo do tempo, dão origem a estruturas conceituais mais amplas e abstratas. Essa progressão é sensível ao contexto e às demandas da tarefa, o que implica que o desempenho do indivíduo pode oscilar de acordo com o suporte disponível, o nível de desafio e a carga cognitiva envolvida. A teoria destaca que o desenvolvimento é melhor compreendido como um processo, com avanços, regressões e reorganizações que refletem a natureza dinâmica da aprendizagem (Fischer; Bidell, 2006).

Ao integrar o construtivismo piagetiano com essa visão dinâmica, o conceito de evolução do entendimento permite explicar como o sujeito transita de formas intuitivas para modos mais abstratos e coordenados de raciocínio. Theo Dawson (2003, 2004) contribui com essa abordagem ao propor métodos empíricos que descrevem o entendimento como um traço latente, isto é, uma variável não observável diretamente, mas que pode ser inferida a partir do desempenho do indivíduo em tarefas, respostas discursivas e testes de conhecimento. A partir de análises estruturais, Dawson demonstra que níveis de complexidade cognitiva podem ser identificados de maneira consistente, revelando que a aprendizagem se expressa em padrões mensuráveis de desempenho. Assim, a diferença no entendimento entre dois momentos distintos constitui um indicador direto do processo.

Compreender a aprendizagem como um processo de evolução do entendimento, gradual e mensurável, implica repensar o planejamento pedagógico. Essa perspectiva orienta o professor a criar condições que provoquem desequilíbrios produtivos e ofereçam suportes

adequados para que o estudante consiga reorganizar e integrar suas habilidades em níveis superiores de complexidade. Ao reconhecer que o entendimento se desenvolve ao longo do tempo e pode ser analisado como um traço latente associado ao desempenho, abre-se espaço para práticas pedagógicas mais ajustadas ao desenvolvimento real dos estudantes, permitindo intervenções mais precisas e promovendo avanços efetivos na construção do conhecimento.

4 Método

A metodologia deste estudo foi organizada em três etapas interdependentes, a saber: (i) a elaboração, a validação e o refinamento da Sequência Didática (SD) e dos instrumentos avaliativos (pré-teste e pós-teste); e (ii) a aplicação da oficina e a coleta sistemática de dados por meio das atividades, da Escala Paas e dos testes. (iii) Análise dos dados

4.1 Material Didático e Oficina

A intervenção pedagógica centrou-se na aplicação de uma oficina baseada em uma Sequência Didática (SD) desenvolvida sob a perspectiva de Metodologias Ativas para o ensino de corrente e circuitos elétricos.

4.1.1 Estrutura da Sequência Didática

A SD, intitulada “*Entendendo o celular, entre correntes e circuitos*”, foi concebida para ser desenvolvida ao longo de seis aulas de 50 minutos, organizadas em três encontros, cada um correspondente a duas aulas geminadas, totalizando 100 minutos por encontro. O tema central e a contextualização foram o funcionamento do celular como ponte pedagógica para a discussão dos conceitos físicos. O material instrucional foi estruturado em três produtos educacionais, quais sejam:

1. **Material Detalhado para os Alunos:** Conteúdo teórico e atividades estruturadas na perspectiva de Metodologias Ativas.
2. **Guia Completo para os Professores:** Orientação didática, planos de aula detalhados e respostas das atividades.
3. **Site Complementar Interativo:** Disponibilização de vídeos, simulações, jogos e seção de dúvidas, garantindo a conformidade com a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais).

Em todo o material foi adotada uma linguagem menos formal. Para introduzir os conteúdos, utilizaram-se tirinhas que exploram diferentes contextos e apresentam os personagens centrais: a cientista Eletrikarla e o celular futurista Celuquinho.

4.1.2 Metodologias Ativas e Temáticas das Aulas

A SD foi desenhada para promover o protagonismo do aluno e integrar uma diversidade de Metodologias Ativas, garantindo interatividade e reflexão crítica. Os temas foram planejados em uma progressão lógica, partindo da contextualização do funcionamento do celular:

- **Temas dos Encontros:** 1. Do telefone ao 5G no celular: o que mudou no mundo? 2. Por dentro do celular, entre símbolos e circuitos; 3. Como ocorre a ligação do celular? 4. Como funciona a tela *touchscreen* do celular? 5. Como funcionam os carregadores e baterias? 6. Entre correntes e circuitos.
- **Diversidade Metodológica:** As estratégias ativas utilizadas na SD incluem: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), Estudo de Caso, Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), Gamificação, Aprendizagem Baseada em Investigação (IBL) com uso de simuladores e experimentos, e Escape Room.
- **Autonomia:** Cada aula foi precedida por um informativo (pré-aula) que indicava materiais de apoio (vídeos, animações, *sites*) acessíveis via QR Code, incentivando o estudo prévio e a autonomia do estudante.

4.2 Validação dos Instrumentos

Um rigoroso processo de validação foi conduzido tanto para a SD quanto para os instrumentos de coleta de dados.

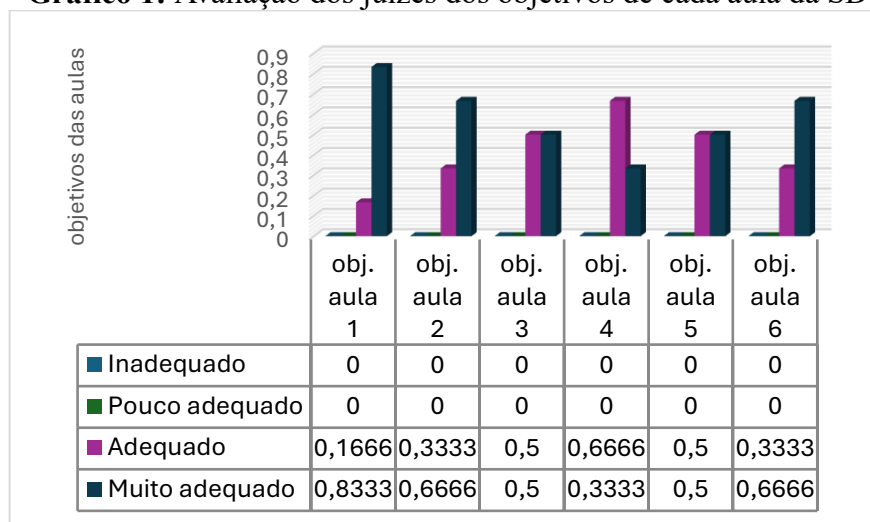
4.2.1 Validação da Sequência Didática (SD)

A Sequência Didática (SD) passou por um processo de validação por revisão por pares, envolvendo seis especialistas, docentes e pesquisadores da área de Ensino de Física. Cada juiz avaliou, para cada aula da SD, a pertinência dos objetivos pedagógicos e a adequação das atividades propostas, utilizando categorias qualitativas de julgamento.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição das avaliações atribuídas pelos juízes aos objetivos de cada aula da SD. Observa-se que a maioria das avaliações se concentrou nas categorias “adequado” e “muito adequado” ao longo de todas as aulas, indicando uma percepção positiva e consistente quanto à clareza, relevância e coerência dos objetivos propostos. A ausência de avaliações nas categorias inferiores evidencia que os especialistas consideraram os objetivos pedagogicamente alinhados ao conteúdo abordado e às estratégias metodológicas adotadas. Esse padrão de respostas sugere que a SD apresenta coerência interna, bem como adequação às finalidades formativas pretendidas, atendendo aos critérios de qualidade esperados para materiais didáticos voltados ao ensino de conteúdos científicos.

Dessa forma, os resultados expressos no Gráfico 1 atestam a validade de conteúdo da Sequência Didática, reforçando o alinhamento entre objetivos, atividades e metodologias empregadas.

Gráfico 1: Avaliação dos juízes dos objetivos de cada aula da SD



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.3 Sujeitos e Contexto

A pesquisa foi conduzida com estudantes de graduação em Licenciatura em Física, no contexto do ensino superior. Participaram discentes matriculados até o quarto semestre que ainda não haviam cursado disciplinas de Eletricidade, condição adotada para garantir conhecimentos prévios não sistematizados sobre o tema.

A intervenção ocorreu no Instituto de Física de uma Universidade Federal da região Nordeste, na forma de uma oficina acadêmica ofertada como atividade complementar. O estudo também contou com a participação de estudantes de um Instituto Federal da mesma região. A amostra foi composta por 88 estudantes, sendo 20 do sexo feminino e 68 do sexo masculino, com idades entre 18 e 56 anos.

4.4 Instrumento de Coleta e Design da Pesquisa

O delineamento da pesquisa adotou o modelo de pré-teste e pós-teste, muito utilizado para mensurar a evolução do entendimento dos participantes após a intervenção com a Sequência Didática (Creswell, 2014; Gall, Gall & Borg, 1996).

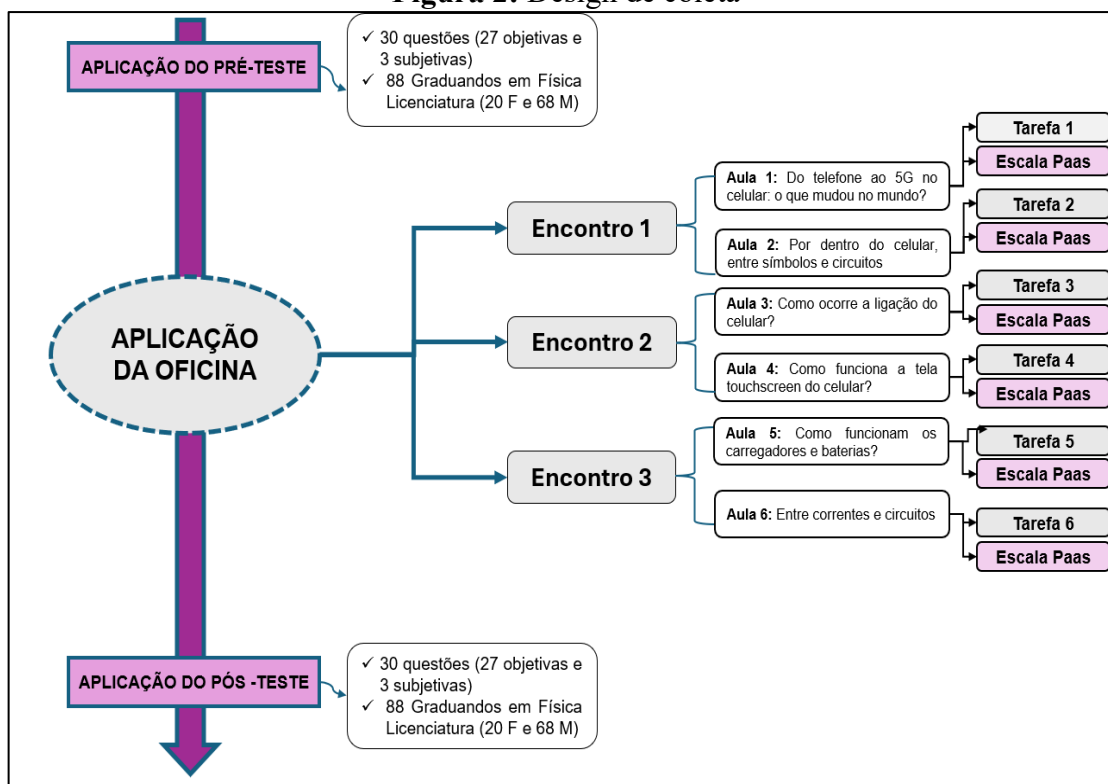
O principal instrumento de coleta de dados foi constituído por dois testes, aplicados antes e após a intervenção pedagógica. Ambos foram elaborados com equivalência de conteúdo e nível de dificuldade, com a finalidade de aferir o entendimento conceitual dos estudantes acerca de corrente elétrica e circuitos elétricos. Cada teste continha inicialmente 30 itens, sendo

27 questões objetivas de múltipla escolha e 3 questões discursivas. Neste estudo, a análise concentrou-se exclusivamente nos 27 itens objetivos.

4.4.2 Design da Coleta

A coleta de dados seguiu um delineamento sequencial, conforme representado na Figura 2. A execução ocorreu em três fases bem definidas: (1) Pré-teste: aplicado a todos os participantes antes do início da oficina, com o objetivo de acessar o conhecimento inicial dos estudantes; (2) Intervenção: fase de aplicação da oficina interdisciplinar, organizada em três encontros, cada um composto por duas aulas geminadas. É relevante mencionar que, durante esse período, os estudantes também realizaram tarefas formativas e responderam à Escala Paas; (3) Pós-teste: aplicado a todos os participantes após o término do último encontro da oficina.

Figura 2: Design de coleta



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Embora o estudo tenha gerado muitos dados, incluindo os resultados das tarefas formativas e as respostas da Escala Paas coletadas ao longo da oficina, a mensuração da evolução do entendimento, foco deste artigo, será realizada unicamente pela análise comparativa das 27 questões objetivas do pré-teste e do pós-teste.

5 Análise

A análise dos dados foi estruturada em duas etapas complementares, visando, inicialmente, avaliar a adequação do instrumento e da amostra e, posteriormente, a mensuração da evolução do entendimento dos estudantes após a intervenção com a Sequência Didática (SD).

a) Dimensionalidade e Ajuste do Teste (Itens e Pessoas)

A análise da dimensionalidade consiste em identificar o número de construtos (dimensões de conhecimento) acessados pelos testes (Pasquali, 2009). Essa verificação é fundamental para obter evidências de validade baseadas na estrutura interna do instrumento (Sisto, 2005). A dimensionalidade foi avaliada por meio da análise da variância residual padronizada, realizada inicialmente no *software* Winsteps® 3.70 (Linacre, 2010). Esse método examina o percentual da variância explicada pelas medidas (empírica e modelada), que representa o fator primário, em contraste com a variância não explicada no primeiro contraste residual. Essa comparação permite determinar se o fator primário é suficientemente dominante para justificar a utilização de uma única escala de desempenho/proficiência.

O critério de ajuste dos itens e das pessoas avalia a aderência dos dados observados ao Modelo Rasch por meio dos índices *infit* e *outfit*. Esses índices comparam a dispersão dos escores empíricos com a dispersão esperada pelo modelo probabilístico. Valores de MNSQ próximos de 1,00 indicam ajuste ideal, confirmando que a probabilidade de acerto de cada item é consistentemente predita pela diferença entre a habilidade do respondente e a dificuldade do item. Itens com valores de MNSQ inadequados sinalizam padrões de resposta imprevisíveis, exigindo revisão ou exclusão para a manutenção da validade da medição.

A confiabilidade é avaliada com o objetivo de atestar a consistência interna e a reprodutibilidade das medidas obtidas pelo teste. Ela é reportada por meio do coeficiente Alfa de Cronbach, índice clássico da literatura que reporta a consistência interna do teste. Além disso, no contexto da modelagem Rasch, a confiabilidade é também expressa pelos índices de separação de pessoas e de itens, que indicam a capacidade do instrumento de distinguir diferentes níveis de proficiência (separação das pessoas) e diferentes níveis de dificuldade (separação dos itens).

b) Análise da Aprendizagem: Evolução do Entendimento

Comprovadas a validade e a confiabilidade dos instrumentos, a análise da aprendizagem concentra-se na evolução do entendimento dos estudantes. Essa análise compreende duas abordagens principais: a quantificação do ganho de proficiência e a identificação de mudanças conceituais específicas. A diferença de proficiência será mensurada por meio da comparação das medidas em *logits* do pré-teste e do pós-teste, apresentadas graficamente em um gráfico

Box Plot e confirmadas por um teste estatístico de diferença de médias, a fim de verificar a significância do ganho observado. Essa técnica possibilita a comparação direta dos parâmetros de locação (mediana e quartis) e de dispersão (amplitude e intervalo interquartil) entre o pré-teste e o pós-teste, oferecendo uma representação abrangente da evolução do entendimento (Tukey, 1977).

Paralelamente, a análise da mudança dos itens será realizada por meio do Mapa de Itens (*Wright Map*), que permite visualizar o deslocamento da distribuição da proficiência dos estudantes em relação à hierarquia de dificuldade dos itens. Essa análise evidencia quais conceitos, anteriormente não alcançados, passaram a ser dominados após a intervenção, fornecendo indícios consistentes da aprendizagem promovida pela Sequência Didática.

6 Resultados

6.1 Dimensionalidade e Estrutura Fatorial

A análise preliminar da variância residual no *software* Winsteps não forneceu evidências conclusivas para assumir a unidimensionalidade do instrumento. Diante disso, para validar a estrutura de construto, foi conduzida uma Análise Fatorial Exploratória (AFE), complementada pela Análise Paralela e pela inspeção do *Scree Plots*, no *software* R. Esse procedimento foi aplicado a três conjuntos de dados distintos: o pré-teste (Teste 1), o pós-teste (Teste 2) e a matriz de dados combinada e unificada (Teste 3), com o objetivo de identificar uma estrutura fatorial estável e replicável entre os diferentes momentos de coleta.

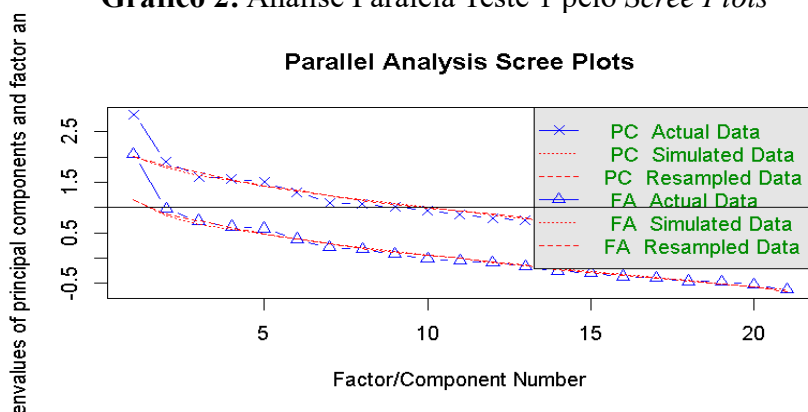
Para determinar o número ideal de fatores, adotou-se uma abordagem multimodal (Fabrigar; Wegener, 2011; Finch; French, 2015). A Análise Paralela indicou a retenção de um número entre dois e três fatores ou componentes em todos os testes, conforme sintetizado a seguir na Tabela 1.

Tabela 1: Análise Paralela

Teste	Fator	Componentes
Teste 1	2	2
Teste 2	3	3
Teste 3	3	2

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Essa indicação foi corroborada pela inspeção visual do *Scree Plots* (Gráficos 2 e 3), em que o ponto de inflexão na curva de autovalores reforçou a sugestão de reter dois a três componentes, observando a quantidade de “elementos” acima do traçado pontilhado sob as curvas dos componentes principais e a análise dos fatores.

Gráfico 2: Análise Paralela Teste 1 pelo *Scree Plots*

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Gráfico 2: Análise Paralela Testes 2 e 3 pelo *Scree Plot*

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Considerando-se as recomendações de Dancey e Reidy (2013), foi avaliado o ajuste dos modelos de 1, 2 e 3 fatores por meio dos índices RMSR, TLI e RMSEA (Tabela 2).

Tabela 2: Estatística RMSR, TLI, RMSEA

Número de Fatores	Teste 1	Teste 2	Teste 3
RMSR (1 Fator)	0,1	0,11	0,07
RMSR (2 Fatores)	0,08	0,09	0,06
RMSR (3 Fatores)	0,07	0,07	0,05
TLI (1 Fator)	0,837	0,487	0,778
TLI (2 Fatores)	1,138	0,62	0,91
TLI (3 Fatores)	1,369	0,789	0,979
RMSEA (1 Fator)	0	0,07	0,046
RMSEA (2 Fatores)	0	0,06	0,029
RMSEA (3 Fatores)	0	0,043	0,013

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

O RMSR favoreceu consistentemente o modelo de três fatores, enquanto o RMSEA indicou bom ajuste para as soluções de 2 e 3 fatores no pós-teste e no banco unificado. O TLI

apresentou maior variação entre os testes, mas novamente apontou melhor ajuste para os modelos mais complexos.

Para validar estatisticamente a escolha do modelo, a Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada para comparar a diferença de informação entre os modelos, como representando na Tabela 3 que corresponde a probabilidade de significância entre os modelos.

Tabela 3: Probabilidade de significância entre modelos

TESTE 01 (Pré)		TESTE 02 (Pós)		TESTE 03 (Pré e Pós)	
Modelos	Valor-p	Modelos	Valor-p	Modelos	Valor-p
Modelo1 x Modelo2	0.005	PosT1 x PosT2	0	PrePos1 x PrePos2	0
PreT1 x PreT3	0.002	PosT1 x PosT3	0	PrePos1 x PrePos3	0
PreT2 x PreT3	0.066	PosT2 x PosT3	0,001	PrePos2 x PrePos3	0.01

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Em quase todas as comparações, houve diferença significativa, exceto entre os modelos de dois e três fatores no Teste 1, o que sugere similaridade entre essas duas soluções no pré-teste. Como se observou, a partir dos valores apresentados na Tabela 3, a ocorrência de diferenças significativas entre os modelos, realizou-se a comparação adicional por meio do AIC (Critério de Informação de Akaike) e do BIC (Critério de Informação Bayesiano).

A comparação entre os modelos com base no AIC e no BIC está apresentada na Tabela 4. O modelo que apresenta os menores valores de AIC e BIC é considerado o mais adequado (Finch; French, 2015; Golino; Gomes, 2015). Essa comparação reforçou a complexidade da decisão, uma vez que, embora os menores valores de AIC favorecessem os modelos mais complexos, a interpretação teórica dos agrupamentos indicou que a solução de três fatores não resultava em dimensões conceitualmente significativas.

Tabela 4: Comparação de modelos via AIC e BIC – Teste 01 (Pré)

Modelo	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
1 dimensão	2368.861	2472.910	1595.169	1699.217	4118.090	4251.250
2 dimensões	2368.541	2522.136	1587.529	1741.124	4094.403	4290.973
3 dimensões	2377.516	2578.18	1581.794	1782.458	4096.182	4352.991

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Apesar das indicações estatísticas conflitantes, que evidenciam a natureza multifacetada do conhecimento, o modelo fatorial final adotado baseou-se em uma síntese entre as evidências estatísticas e a interpretação qualitativa e teórica dos agrupamentos. A solução de três fatores não gerou agrupamentos de itens com sentido conceitual claro, ao passo que a solução de dois

fatores produziu uma separação teoricamente significativa. Um fator agrupou os itens que demandavam o entendimento fenomenológico e a descrição conceitual. O outro fator concentrou os itens que exigiam previsibilidade ou envolviam procedimentos³.

A partir desses resultados, interpreta-se que o teste acessa o conhecimento sobre corrente elétrica e circuitos elétricos como uma única dimensão do conhecimento geral, que, entretanto, se manifesta por meio de dois fatores subjacentes: Fenomenologia e Previsibilidade. Essa estrutura foi considerada a mais representativa e interpretável para o estudo da evolução da proficiência dos estudantes.

6.2 Ajustes dos Itens e Pessoas

A Tabela 5, a seguir, sintetiza os principais índices de ajuste obtidos. Os valores médios de MNSQ para itens e pessoas permaneceram próximos de 1,00 em ambos os momentos, indicando compatibilidade dos padrões de resposta com o Modelo Rasch e boa calibração dos testes.

Tabela 5: Índice alfa de Cronbach para pessoas

	Alfa de Cronbach	Média	Desvio Padrão	MNSQ <i>Infit</i>	T <i>infit</i>	MNSQ <i>outfit</i>	T <i>outfit</i>	Separação	Confiabilidade
Pré-Teste	Item	0	0,68	1	0	1	0	2,62	0,87
	Pessoa	0,19	0,8	1	0	1	0	1,36	0,65
Pós-Teste	Item	0	1,03	1	0,1	0,96	0,1	2,98	0,9
	Pessoa	1,54	0,9	1	0,1	0,96	0,1	1,08	0,54

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

O ajuste ao modelo foi avaliado por meio dos índices MNSQ. Os valores médios para itens e pessoas mantiveram-se idealmente próximos de 1,00 em todos os sumários, indicando ajuste adequado no nível médio. Isso confirma que os padrões de resposta observados dos participantes e a dificuldade dos itens estão em conformidade com as probabilidades previstas pelo Modelo Rasch, validando a calibração da escala em *logits*. A consistência interna da medição é sustentada primariamente pela Confiabilidade dos Itens e pelo Índice de Separação. A confiabilidade dos itens manteve-se elevada ao longo de todo o processo, aumentando de 0,87 para 0,90, enquanto o índice de separação passou de 2,62 para 2,98, demonstrando a capacidade do instrumento de distinguir diferentes níveis de dificuldade conceitual.

A Confiabilidade das Pessoas, mensurada pelo Alfa de Cronbach e pela Confiabilidade apresentou uma redução de 0,65 no pré-teste para 0,56 no pós-teste. De forma paralela, a Separação das Pessoas também diminuiu de 1,36 para 1,08. Embora índices elevados de

³ As cargas fatoriais e os agrupamentos podem ser consultados no apêndice 3.

confiabilidade sejam desejáveis, essa redução deve ser interpretada à luz da intervenção pedagógica realizada: a proficiência média dos estudantes aumentou significativamente de 0,19 *logits* para 1,54 *logits*. Essa elevação e consequente convergência da proficiência após o ensino indicam maior homogeneidade da amostra, o que naturalmente reduz o desvio padrão e, conseqüentemente, diminui a capacidade do teste de discriminar os estudantes entre si, resultando em menores índices de confiabilidade.

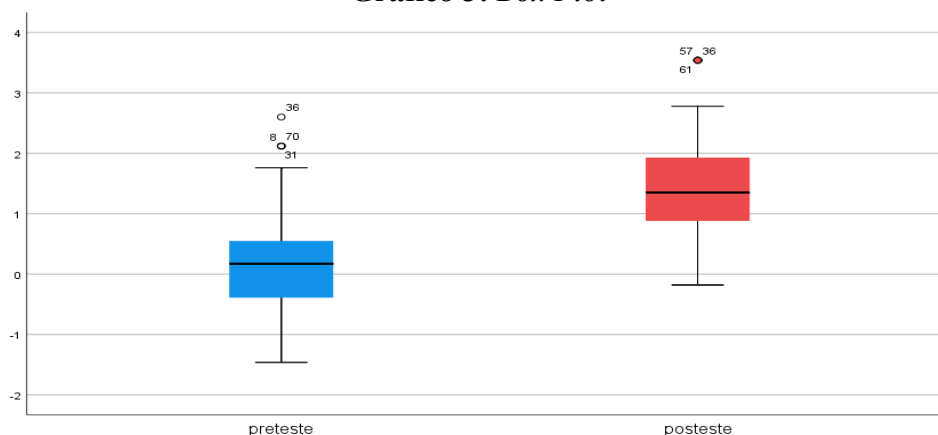
6.3 Análise da Aprendizagem: Evolução do Entendimento

Com o objetivo de verificar se houve diferença significativa entre o desempenho dos participantes antes e após a intervenção, realizou-se um teste *t* para amostras emparelhadas, considerando os escores do pré-teste e do pós-teste (N = 88). Observou-se que a média do pré-teste (M = 0,19; DP = 0,81) foram substancialmente inferior à média do pós-teste (M = 1,54; DP = 0,90), indicando aumento no desempenho após a intervenção.

A diferença média entre os momentos foi estatisticamente significativa, $t(88) = -15,31$, $p < 0,001$, com intervalo de confiança de 95% variando de -1,52 a -1,17. O tamanho de efeito foi elevado (d de Cohen = 1,57), sugerindo impacto substantivo da intervenção sobre o desempenho dos estudantes. A magnitude do efeito indica que a diferença observada não é apenas estatisticamente significativa, mas também educacionalmente relevante.

O primeiro indicador de aprendizagem é o ganho de proficiência: houve um aumento médio de 1,35 *logits* entre o Pré (0,19) e o Pós-teste (1,54), diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$). O *Box Plot* (Gráfico 3) ilustra esse deslocamento da distribuição para níveis mais altos de proficiência.

Gráfico 3: Box Plot



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A distribuição da proficiência e dos itens é representada na figura 1, a seguir, que representa o Mapas de Itens do pré-teste e do pós-teste, os quais reforçam a análise de consistência do instrumento.

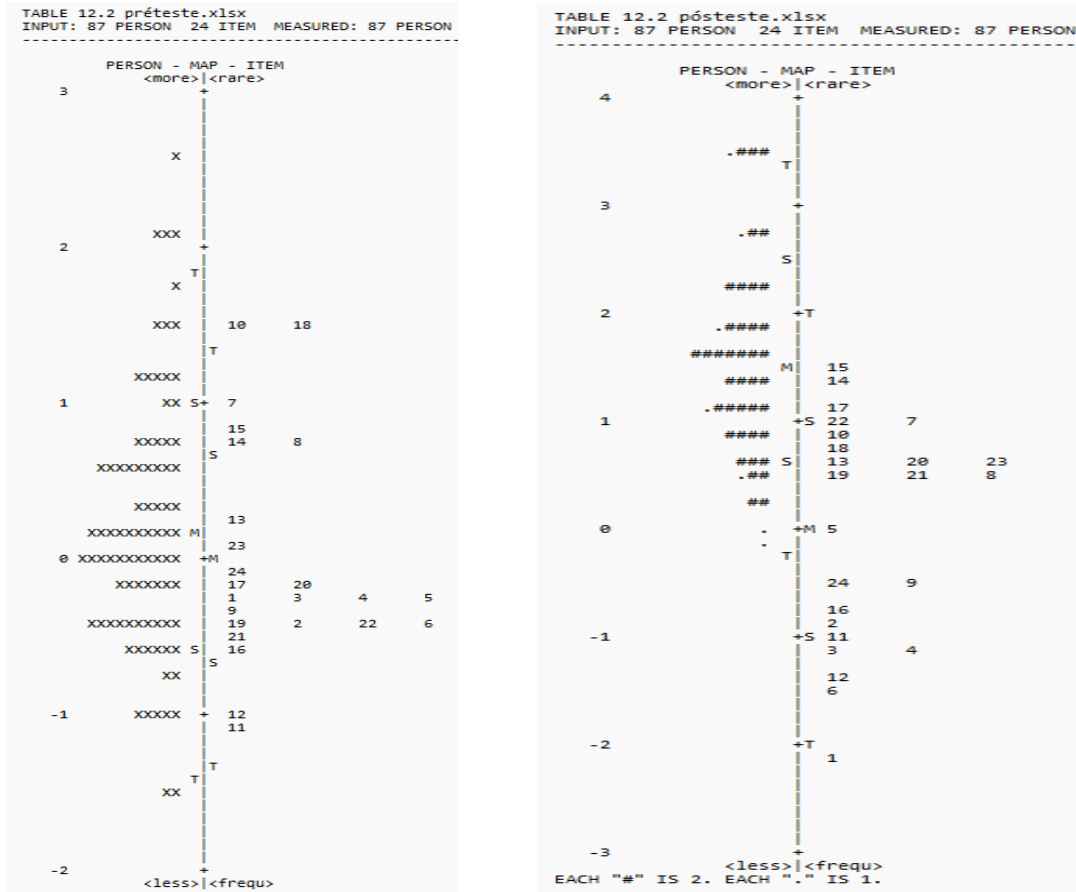
O Mapa de Itens é uma representação gráfica que organiza, em uma mesma escala, tanto a proficiência dos estudantes quanto a dificuldade dos itens de um instrumento de avaliação. Ele é amplamente utilizado em análises baseadas no Modelo de Rasch, permitindo visualizar de forma intuitiva como os estudantes se posicionam em relação aos itens testados.

No mapa, os estudantes são distribuídos ao longo de uma escala vertical de proficiência, geralmente medida em logits, enquanto os itens aparecem na mesma escala de dificuldade. Quanto mais acima do mapa estiver um item, maior é sua dificuldade; itens localizados mais abaixo são mais fáceis. Da mesma forma, estudantes posicionados mais acima da escala possuem maior proficiência, enquanto os localizados abaixo apresentam menor desempenho.

A leitura do mapa de itens permite identificar quais itens foram mais acessíveis ou mais desafiadores para a maioria dos estudantes, como a distribuição de proficiência se relaciona com os itens, indicando se há questões muito fáceis ou muito difíceis para o grupo, e o deslocamento coletivo da distribuição de proficiência entre pré-teste e pós-teste, evidenciando ganhos de aprendizado. Além disso, possibilita detectar lacunas na avaliação, como a ausência de itens que desafiem estudantes de alta proficiência ou o excesso de itens muito fáceis, fornecendo subsídios para ajustes futuros no instrumento (Bond & Fox, 2013; Wright & Masters, 1982).

No pré-teste, a proficiência dos estudantes estava distribuída em torno da dificuldade média dos itens, com alguns participantes posicionados acima do item mais difícil. No pós-teste, observa-se um deslocamento da proficiência para a parte superior da escala, indicando maior domínio dos conteúdos avaliados. Contudo, a maioria dos itens permaneceu abaixo do novo nível médio de proficiência, evidenciando que o teste se tornou excessivamente fácil após a intervenção, resultado compatível com a queda dos índices de confiabilidade das pessoas.

Figura 1: Mapas de itens do Pré-teste e do Pós-teste



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A Tabela 6 apresenta as medidas de dificuldade dos itens no pré-teste e no pós-teste, assim como o delta de dificuldade (Δ) de cada item, permitindo avaliar os avanços dos estudantes. O delta negativo indica que o item se tornou menos difícil, o que pode ser interpretado como um aumento do entendimento conceitual e, conseqüentemente, da aprendizagem.

Observa-se que a maioria dos itens apresentou redução da dificuldade no pós-teste, refletindo ganhos significativos no desempenho dos estudantes. Alguns itens registraram variações pequenas ou até aumento na dificuldade, possivelmente em função de efeito teto ou da elevada complexidade relativa de certos itens. No entanto, essas exceções não comprometem o padrão geral de evolução, que evidencia que a intervenção promoveu o desenvolvimento do conhecimento sobre corrente elétrica e circuitos.

Tabela 6: Medidas do Pré e do Pós-teste

Item	Medida Pré	Medida Pós	Δ
1	-0,27	-2,11	-1,84
2	-0,44	-0,90	-0,46
3	-0,22	-1,19	-0,97

4	-0,27	-1,19	-0,92
5	-0,22	-0,02	0,2
6	-0,44	-1,56	-1,12
7	0,96	1,00	0,04
8	0,73	0,53	-0,2
9	-0,33	-0,45	-0,12
10	1,48	0,83	-0,65
11	-1,10	-1,03	0,07
12	-1,04	-1,36	-0,32
13	0,25	0,59	0,34
14	0,73	1,43	0,7
15	0,85	1,54	0,69
16	-0,55	-0,77	-0,22
17	-0,17	1,16	1,33
18	1,48	0,77	0,71
19	-0,38	0,47	0,85
20	-0,17	0,65	0,82
21	-0,49	0,47	0,96
22	-0,38	0,94	1,32
23	0,04	0,65	0,61
24	-0,06	-0,45	-0,51

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

O ganho de proficiência dos estudantes constitui a evidência mais contundente do sucesso da intervenção: a média passou de 0,19 *logits* no pré-teste para 1,54 *logits* no pós-teste, diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$). Os Mapas de Itens demonstram o deslocamento coletivo da distribuição de proficiência para a faixa superior da escala, com acertos consistentes nos itens Fenomenológicos e avanços expressivos nos itens Procedimentais, mais complexos.

Esses resultados indicam que a intervenção consolidou conceitos básicos, ao mesmo tempo em que desenvolveu habilidades procedimentais de aplicação da teoria, sugerindo a necessidade de instrumentos avaliativos mais desafiadores para mensurar níveis ainda mais elevados de proficiência.

A integração dos achados psicométricos e pedagógicos permite responder à questão central deste artigo: o que se aprende sobre correntes e circuitos elétricos em abordagens baseadas em Metodologias Ativas? Os resultados indicam que essas metodologias promovem ganhos significativos no entendimento conceitual e no procedimental, embora com intensidade diferenciada entre os dois aspectos.

O Modelo Rasch revelou um fator predominante, enquanto a Análise Fatorial Exploratória (AFE) permitiu identificar a estrutura subjacente do instrumento, revelando duas dimensões latentes: Fenomenológica (F), relacionada à compreensão dos fenômenos físicos, e Procedimental (P), associada à aplicação do raciocínio lógico e resolução de problemas. Essas

dimensões coexistem em uma escala essencialmente unidimensional, validando o construto geral de conhecimento em Eletricidade e permitindo a comparação das medidas de proficiência entre pré-teste e pós-teste.

O ganho de proficiência foi mais expressivo na dimensão Fenomenológica, indicando que os estudantes ampliaram substancialmente a compreensão dos conceitos básicos de corrente elétrica e circuitos. A média geral passou de 0,19 logits no pré-teste para 1,54 logits no pós-teste ($p < 0,001$), evidenciando evolução estatisticamente significativa. Embora a dimensão Procedimental também tenha apresentado avanços, estes foram mais modestos, sugerindo que a intervenção favoreceu prioritariamente o entendimento conceitual sobre a aplicação formal do raciocínio para resolução de problemas.

Esses achados indicam que Metodologias Ativas podem contribuir na consolidação de conceitos e promover compreensão dos fenômenos. Para potencializar a aprendizagem procedimental, pode ser necessário complementar a intervenção com atividades específicas de aplicação e resolução de problemas mais complexos. De forma geral, a Sequência Didática demonstrou promover aprendizagem em conteúdos desafiadores da Física, com ênfase na compreensão fenomenológica, reforçando a relevância das práticas ativas para o ensino de conceitos abstratos.

7 Considerações Finais

O objetivo central deste estudo foi responder à seguinte questão: o que se aprende sobre correntes e circuitos elétricos em abordagens fundamentadas em Metodologias Ativas? A partir dos resultados obtidos interpretamos que as Metodologias Ativas empregadas na sequência elaborada constituem em instrumento em potencial para promover ganho de conhecimento sobre corrente elétrica e circuitos, tanto em termos de fenomenologia quanto em termos procedimentais.

Tivemos evidência sobre a aprendizagem a partir da comparação entre os ganhos de desempenho antes e depois da instrução, cujo desempenho passou de 0,19 *logits* para 1,54 *logits* ($p < 0,001$). O Mapa de Itens demonstrou que o grupo se deslocou coletivamente para a faixa superior da escala, confirmando a aprendizagem. A análise da dimensionalidade, por meio da Análise Fatorial Exploratória (AFE), permitiu qualificar esse aprendizado, revelando que os estudantes não apenas consolidaram conhecimentos de natureza Fenomenológica (F), correspondentes às bases conceituais, mas também avançaram significativamente no domínio das habilidades de raciocínio Procedimental (P), que envolvem a aplicação de leis, bem como a análise e a interpretação da teoria.

O fato de termos mais avanços no domínio fenomenológico do que no procedimental traz implicações educacionais importantes quando empregamos metodologias como as utilizadas nesse estudo. Primeiramente, indica que tais metodologias são particularmente eficazes para consolidar a compreensão dos fenômenos físicos e dos conceitos centrais, favorecendo a aprendizagem conceitual profunda. Isso sugere que, ao trabalhar conteúdos abstratos como corrente elétrica e circuitos, atividades interativas, discussões, simulações e experiências práticas contribuem fortemente para que os estudantes internalizem o funcionamento dos fenômenos.

Por outro lado, a menor evolução observada na dimensão procedimental evidencia uma limitação da abordagem: embora os estudantes compreendam melhor os conceitos, a aplicação do raciocínio lógico para resolver problemas complexos ainda exige suporte adicional. Esse achado sugere que, para desenvolver em potencial a competência procedimental, é necessário complementar as estratégias ativas com exercícios de aplicação estruturada, resolução de problemas e atividades que exijam integração dos conceitos em situações novas.

Em termos pedagógicos, essa distinção reforça que, embora Metodologias Ativas promovam aprendizagem conceitual, não substituem práticas direcionadas à prática procedimental, sendo importante planejar intervenções que combinem ambos os tipos de atividades para promover um desenvolvimento completo do conhecimento em Física.

O novo patamar de proficiência do grupo no pós-teste superou a dificuldade da maioria dos itens, tornando o teste excessivamente fácil e insuficiente para diferenciar os estudantes mais proficientes, o que resultou na redução da Confiabilidade das Pessoas. Esse resultado sugere que, embora a Sequência Didática tenha se mostrado eficaz, o instrumento de avaliação demanda reformulação para pesquisas futuras.

Em geral, os resultados desse trabalho revelam que as Metodologias Ativas empregadas: Estudo de caso, PBL, ABS, ABL, PBL-proj. Gamificação) se configuram como um caminho promissor para o ensino de correntes e circuitos elétricos quando o objetivo de ensino está elegante à aprendizagem conceitual, e privilegiam principalmente a compreensão fenomenológica do conteúdo de eletricidade. Dessa forma, para que o emprego das atividades aqui reportadas seja eficaz, os objetivos de ensino almejados devem ser compatíveis à construção de conhecimento nessa perspectiva. Finalizamos ressaltando a importância em estabelecer a descrição do que se alcança, em termos de ensino-aprendizagem, de toda e qualquer inovação educacional, pois somente assim podemos ter clareza sobre as potencialidades de ensino que o material instrucional pode oferecer, garantindo um planejamento educacional mais assertivo.

Referências

- ARAÚJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. Instrução por colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 362–384, ago. 2013.
- BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2017.
- BARBOSA, M. A. B. et al. As metodologias ativas no ensino de Física: uma análise de publicações referentes ao ensino fundamental e médio. In: KOCHHANN, A.; SOUZA, J. O. (org.). *Reflexões sobre o ensino e a educação*. Campina Grande: Editora Licuri, 2023. p. 170–184.
- BARROWS, Howard S.; TAMBLYN, Robyn M. *Problem-based learning: an approach to medical education*. New York: Springer Publishing Company, 1980.
- BECKER, Fernando. *O que é construtivismo?* Porto Alegre: Mediação, 2014.
- BERBEL, Neusi Aparecida Navas. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25–40, 2011.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. *Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem*. Tradução de Afonso Celso da Cunha Serra. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- BERQUO, F. R.; SANTOS, L. G. A. Jogos educativos digitais: recursos para estimular ou ensinar o aprendizado de Física. *Revista Educação Pública*, v. 20, n. 43, p. 1–10, 2020.
- BERSSANETTE, J. H. et al. *Metodologias ativas de aprendizagem e a teoria da carga cognitiva para a construção de caminhos no ensino de programação de computadores*. 2021. Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.
- BIGGS, John B.; COLLIS, Kevin F. The psychological structure of creative writing. *Australian Journal of Education*, v. 26, n. 1, p. 59–70, 1982.
- BIGGS, John; TANG, Catherine; KENNEDY, Gregor. *Teaching for quality learning at university*. 5. ed. London: McGraw-Hill Education, 2022.
- BOND, Trevor G.; FOX, Christine M. *Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences*. 3. ed. New York: Routledge, 2013.
- CRESWELL, John W. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.
- CUNHA, M. B. D. et al. Metodologias ativas: em busca de uma caracterização e definição. *Educação em Revista*, v. 40, e39442, 2024.
- DAWSON, Theo L. A stage is a stage is a stage: a direct comparison of two scoring systems. *The Journal of Genetic Psychology*, v. 164, n. 3, p. 335–364, 2003.

DAWSON, Theo L. Assessing intellectual development: three approaches, one sequence. *Journal of Adult Development*, v. 11, n. 2, p. 71–85, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:JADE.0000024541.84265.04>.

DEWEY, John. *Democracia e educação: introdução à filosofia da educação*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.

DIESEL, Aline; BALDEZ, Alda Luiza S.; MARTINS, Silvana Neumann. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. *Revista Thema*, v. 14, n. 1, p. 268–288, 2017.

DISESSA, Andrea A. Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, v. 10, n. 2–3, p. 105–225, 1993.

DUIT, Reinders; TREAGUST, David F. Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 6, p. 671–688, 2003.

FARIA, A. F.; VAZ, A. M. Students' engagement on a school investigation about simple electric circuits. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 21, e10545, 2019.

FIASCA, A. B. A. et al. A utilização de metodologias ativas no ensino de Física: uma possibilidade para o ensino de Relatividade Restrita na Educação Básica. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 2, p. 367–383, 2021.

FISCHER, Kurt W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, v. 87, n. 6, p. 477–531, 1980.

FISCHER, Kurt W.; BIDELELL, Thomas R. Dynamic development of action, thought, and emotion. In: DAMON, William; LERNER, Richard M. (org.). *Handbook of child psychology: theoretical models of human development*. 6. ed. New York: Wiley, 2006. p. 313–399.

GALL, Meredith D.; BORG, Walter R.; GALL, Joyce P. *Educational research: an introduction*. 6. ed. White Plains: Longman, 1996.

KAPP, Karl M. *The gamification of training: game-based methods and strategies for learning and instruction*. San Francisco: Pfeiffer, 2012.

MAZUR, Eric; HILBORN, Robert C. *Peer instruction: a user's manual*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

MORAN, José Manuel. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: BACICH, L.; MORAN, J. (org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2018. p. 1–25.

MÜLLER, M. G. et al. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino Peer Instruction (1991 a 2015). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, e3403, 2017.

OLIVEIRA, T. E. de; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Sala de aula invertida (flipped classroom): inovando as aulas de Física. *Física na Escola*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 4–13, 2016.

PIAGET, Jean. *Biologia e conhecimento*. Petrópolis: Vozes, 1970.

PIAGET, Jean. *A equilibração das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

POSNER, George J. et al. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211–227, 1982.

THIBAUT, Lieve et al. Integrated STEM education: a systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, v. 3, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>.

THOMAS, John W. *A review of research on project-based learning*. San Rafael: Autodesk Foundation, 2000.

TUKEY, John W. *Exploratory data analysis*. Reading: Addison-Wesley, 1977.

YIN, Robert K. *Case study research and applications: design and methods*. 6. ed. Thousand Oaks: Sage, 2018.

WRIGHT, Benjamin D.; MASTERS, Geoffrey N. *Rating scale analysis*. Chicago: MESA Press, 1982.

CAPÍTULO 5: AS CONTRIBUIÇÕES DAS METODOLOGIAS ATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO

THE CONTRIBUTIONS OF ACTIVE METHODOLOGIES TO THE CONSTRUCTION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE

RESUMO

A perspectiva do protagonismo estudantil tem sido retomada no cenário de educação científica nas propostas que englobam as abordagens denominadas como Metodologias Ativas. No entanto, ainda persiste uma lacuna quanto à forma como essas estratégias impactam efetivamente a estrutura do raciocínio dos estudantes em domínios específicos da Física. O presente estudo investiga a evolução da complexidade estrutural do entendimento de estudantes acerca dos conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos após a implementação de uma sequência didática pautada em metodologias ativas. A fundamentação teórica ancora-se na Taxonomia SOLO e na Teoria das Habilidades Dinâmicas, modelos que permitem interpretar dados observáveis coletados em tarefas e inferir sobre o nível de complexidade de habilidades, pensamento e entendimento. Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa que utiliza pré-teste e pós-teste para caracterizar os modos de pensamento e identificar o nível de complexidade da articulação dos elementos que compõe o conhecimento construído. A metodologia consistiu na aplicação de uma sequência didática fundamentada no pluralismo metodológico com diferentes tarefas desenhadas na perspectiva de metodologias ativas, a 88 estudantes. Coletamos dados de respostas discursivas, que foram analisadas empregando-se a Taxonomia SOLO. Os resultados revelam um avanço cognitivo expressivo, com 50% da amostra apresentando ganhos de complexidade, correspondentes a mudanças entre +1 e +6 pontos nos níveis de complexidade. Identificamos que a maior mudança na forma de pensamento ocorreu para o conteúdo sobre circuitos simples. Esse resultado indica que a intervenção potencializa a compreensão de conceitos abstratos, mas ela não é eficaz para o alcance dos níveis mais complexos. Uma implicação importante do ponto de vista educacional é sua adequação ao ensino: interpretamos que o emprego de metodologias ativas é uma boa estratégia para que ocorra aprendizagem dos conteúdos em termos de consolidação dos conceitos, mas é limitada para que processos mais complexos relacionados à formalização sejam consolidados.

Palavras-chave: Ensino de Física; Metodologias Ativas; Taxonomia SOLO; Complexidade Cognitiva; Evolução do Entendimento.

ABSTRACT

The perspective of student protagonism has been revisited in the context of science education through proposals that encompass approaches known as Active Methodologies. However, a gap remains regarding how these strategies effectively impact the structure of students' reasoning in specific domains of Physics. This study investigates the evolution of the structural complexity of students' understanding of electric current and electric circuits following the implementation of a didactic sequence based on active methodologies. The theoretical framework is grounded in the SOLO Taxonomy and the Theory of Dynamic Skills, both of which allow the interpretation of observable data collected from tasks and the inference of the complexity level of students' skills, thinking, and understanding. This qualitative study employs pre- and post-tests to characterize thinking modes and identify the level of complexity in the articulation of elements composing the constructed knowledge. The methodology involved the application of a didactic sequence grounded in methodological pluralism, with different tasks

designed from the perspective of active methodologies, engaging 88 students. Data were collected from written responses and analyzed using the SOLO Taxonomy. The results reveal a significant cognitive advance, with 50% of the sample showing gains in complexity ranging from +1 to +6 points in complexity levels. The greatest change in thinking occurred in the topic of simple circuits. This finding indicates that the intervention enhances understanding of abstract concepts, although it is not effective in reaching the highest levels of complexity. An important educational implication concerns its suitability for teaching: the use of active methodologies appears to be an effective strategy for consolidating conceptual knowledge, but it remains limited in promoting more complex processes related to formalization.

Keywords: Physics Education; Active Methodologies; SOLO Taxonomy; Cognitive Complexity; Evolution of Understanding.

1 Introdução

Nas últimas décadas, as metodologias ativas têm sido amplamente discutidas na literatura em Ensino de Ciências como abordagens promissoras para a promoção de aprendizagens mais profundas e duradouras. Diferentemente dos modelos tradicionais, focados na transmissão passiva do conhecimento, essas estratégias enfatizam o protagonismo do estudante, favorecendo a construção ativa do conhecimento e a reflexão crítica (Prince, 2004; Lima et al., 2025). No campo das Ciências, elas se concretizam em abordagens como a Aprendizagem por Pares (Peer Instruction), o Ensino por Investigação, a educação STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) e o uso de Questões Sociocientíficas (QSC), que buscam integrar o saber científico a contextos reais e a processos de tomada de decisão (Mazur, 1997; Hodson, 2014; Zanon; Ratcliffe, 2013).

As metodologias ativas têm ganhado destaque em razão de seu potencial para favorecer a aprendizagem, bem como pelos desafios associados à sua implementação em diferentes contextos e níveis de ensino. Elas derivam de um movimento histórico mais amplo, que desloca o foco do processo educativo para o estudante, concebendo-o como sujeito central da aprendizagem. Seus pressupostos remontam às propostas da Escola Nova, particularmente nas contribuições de William James, John Dewey e Édouard Claparède, que enfatizavam práticas pedagógicas centradas na experiência, na autonomia e na participação ativa do aprendiz (Berssanette, 2021).

De acordo com Moran (2018), as metodologias ativas podem ser compreendidas como diretrizes que orientam o processo de ensino-aprendizagem, manifestando-se por meio de estratégias, abordagens e técnicas variadas e específicas. Berbel (2011) destaca que elas promovem a aprendizagem por intermédio de experiências concretas ou simuladas, oferecendo

aos estudantes oportunidades de desenvolver competências para enfrentar desafios típicos das práticas sociais em diferentes contextos. Sob essa perspectiva, as metodologias ativas rompem com a linearidade do ensino tradicional, mobilizando o estudante para a ação, a reflexão e a construção autônoma do conhecimento.

Apesar de sua ampla utilização e associação com resultados positivos em aprendizagem, a literatura apresenta lacunas relevantes quanto à compreensão de o que os estudantes efetivamente aprendem e de que forma estruturam cognitivamente esse conhecimento. Uma dificuldade metodológica importante reside na deficiência de instrumentos e abordagens capazes de interpretar o progresso do entendimento, as habilidades desenvolvidas ou qualquer traço que indique aprendizagem em intervenções com metodologias ativas. Nesse sentido, torna-se necessária a avaliação sistemática da aprendizagem promovida por tais intervenções.

Neste contexto, a Taxonomia SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome*), proposta por Biggs e Collis (1982), apresenta-se como uma ferramenta com grande potencial. Ela permite analisar qualitativamente a complexidade estrutural do conhecimento construído pelos estudantes, caracterizando diferentes níveis de organização e integração conceitual. Assim, a SOLO se mostra particularmente adequada para investigar os resultados de aprendizagem em estratégias didáticas que demandam protagonismo discente e envolvem construção ativa do conhecimento.

Dessa forma, o presente estudo busca investigar de que maneira uma sequência didática pautada em metodologias ativas para o ensino de corrente elétrica e circuitos elétricos se manifesta após a intervenção, quando analisada qualitativamente a partir dos parâmetros da Taxonomia SOLO. A análise centra-se no nível de entendimento alcançado pelos estudantes, com base nas respostas a pré e pós-testes, permitindo caracterizar mudanças na estrutura do raciocínio e evolução do conhecimento dos discentes. A relevância desta pesquisa reside em fornecer evidências empíricas sobre a qualidade da aprendizagem em Ensino de Física, especialmente em tópicos historicamente desafiadores como a eletricidade.

2 Taxonomia SOLO

A aprendizagem, neste estudo, é compreendida como um atributo latente, assim como o conhecimento e as concepções, que se manifesta por meio de comportamentos observáveis e passíveis de hierarquização (Fischer, 1980; Fischer & Bidell, 2006; Dawson, 2004). Aprender,

portanto, implica desenvolver a capacidade de coordenar múltiplos elementos e aplicá-los em diferentes contextos, sendo o aumento da complexidade cognitiva um indicador central do desenvolvimento do pensamento (Commons et al., 2008).

Para a análise das respostas dos estudantes, adotou-se uma taxonomia fundamentada na perspectiva teórica da complexidade hierárquica do pensamento, conforme proposta por Biggs e Collis (1982). Essa taxonomia insere-se no campo das teorias neopiagetianas, as quais concebem o desenvolvimento cognitivo de forma mais flexível do que a abordagem piagetiana clássica. Nessa perspectiva, admitem-se modos de pensamento que orientam formas específicas de operar cognitivamente, de modo análogo aos estágios piagetianos; entretanto, dentro de cada modo, existem níveis crescentes de complexidade que permitem lidar com o conhecimento de maneira diferenciada, hierárquica e multimodal.

É multimodal pois partem do pressuposto de que um mesmo indivíduo pode operar simultaneamente em diferentes modos de pensamento, a depender do domínio de conhecimento mobilizado. Diferentemente de Piaget, cujos estágios de desenvolvimento estão rigidamente associados à idade e à maturidade cognitiva, os modos de pensamento nessa abordagem são específicos a determinados domínios e não seguem necessariamente uma progressão linear comum a todos os sujeitos (Amantes & Oliveira, 2012).

No âmbito da Taxonomia SOLO, os modos de pensamento correspondem a diferentes formas de operar com o conhecimento em tarefas cognitivas específicas. Cada modo comporta níveis crescentes de complexidade, o que possibilita interpretar não apenas a transição entre modos, mas também o aprofundamento do entendimento dentro de um mesmo modo. No modelo proposto por Biggs e Collis (1982), esses níveis são denominados: pré-estrutural, uniestrutural, multiestrutural, relacional e abstrato estendido. Tais níveis relacionam-se à quantidade e à qualidade das informações mobilizadas e integradas, permitindo avaliar a aprendizagem de forma hierárquica e progressiva.

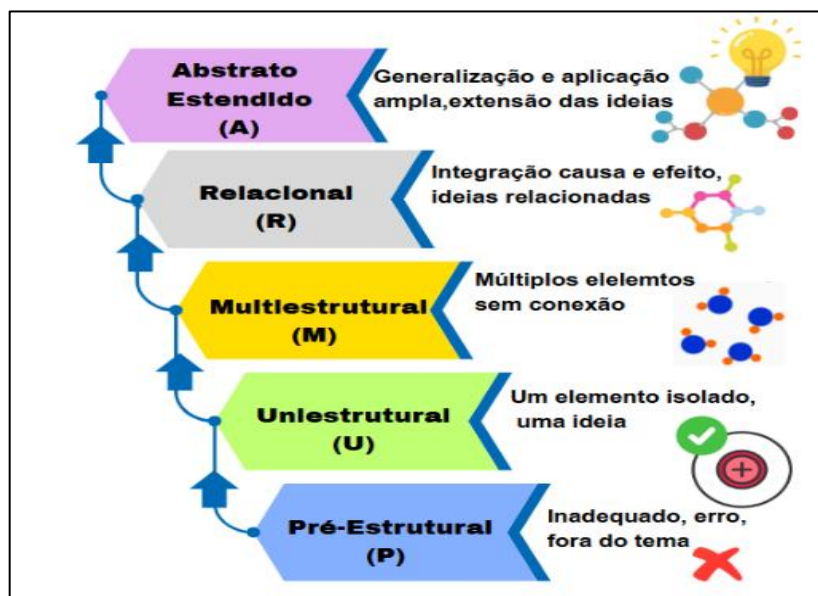
A aplicação da Taxonomia SOLO em pesquisas educacionais tem sido ampla, abrangendo a avaliação de professores, a análise de programas de ensino e a categorização de respostas estudiantis (Biggs, 1994; Bond et al., 2000). No presente estudo, a taxonomia foi utilizada para classificar o entendimento dos estudantes acerca dos conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos. As respostas foram categorizadas em níveis de operação cognitiva, conforme descrito a seguir:

- **Pré-estrutural (P):** respostas inadequadas, com compreensão insuficiente ou desviadas por elementos irrelevantes;
- **Uniestrutural (U):** respostas corretas, porém com a explicitação de poucos elementos relevantes;
- **Multiestrutural (M):** presença de múltiplos elementos corretos, ainda pouco integrados;
- **Relacional (R):** integração coerente das informações, com estabelecimento de relações consistentes;

Nesse sentido, a Taxonomia SOLO configura-se como um referencial teórico-metodológico consistente para a análise qualitativa da aprendizagem, na medida em que possibilita identificar não apenas a presença de conhecimentos, mas, sobretudo, o grau de profundidade, integração e sofisticação do entendimento manifestado pelos estudantes em diferentes conteúdos e contextos educacionais. Ao privilegiar a organização estrutural das respostas, esse instrumento atende às demandas de pesquisas que buscam avaliar a aprendizagem sob uma perspectiva hierárquica e progressiva, permitindo descrições mais refinadas dos níveis de complexidade cognitiva alcançados (Amantes & Oliveira, 2012).

Inserida na vertente das teorias neopiagetianas, a Taxonomia SOLO propõe, portanto, um modelo analítico voltado ao mapeamento da natureza do pensamento mobilizado em tarefas específicas, fundamentando-se em evidências empíricas observáveis, como as produções e respostas dos estudantes (Biggs & Collis, 1982; Mol & Santos, 2019). Essa orientação epistemológica favorece a distinção sistemática entre aprendizagens superficiais, caracterizadas por respostas fragmentadas, e aprendizagens profundas, marcadas pela integração conceitual e pela capacidade de generalização. Os cinco níveis da taxonomia organizam-se, assim, em uma estrutura hierárquica crescente de complexidade, conforme esquematizado na Figura 1.

Figura 1: Estrutura da Taxonomia SOLO (Biggs & Collis, 1982)



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

3 Método

3.1 Sujeitos, Material Didático e Contexto de Pesquisa

A investigação foi conduzida com uma amostra de 88 estudantes de Licenciatura em Física, vinculados a uma Universidade Federal e a um Instituto Federal da região Nordeste. O grupo apresentou perfil majoritariamente masculino (68 homens e 20 mulheres), com acentuada variação geracional, abrangendo idades entre 18 e 56 anos. Essa amplitude etária reflete a pluralidade característica das licenciaturas no contexto das instituições federais brasileiras.

A intervenção pedagógica consistiu na aplicação de uma Sequência Didática (SD), intitulada *Entendendo o celular: entre correntes e circuitos*, estruturada em três encontros de 100 minutos cada. O funcionamento do aparelho celular foi adotado como eixo temático e contextual para o ensino de eletrodinâmica. O suporte instrucional da SD compreendeu três produtos educacionais: um caderno estruturado para o estudante, um manual orientador para o docente e um ambiente virtual interativo. Ressalta-se que a estrutura da Sequência Didática e seus respectivos materiais foram previamente submetidos a um processo de validação por juízes especialistas, assegurando a adequação conceitual e pedagógica da proposta.

A dinâmica da intervenção buscou promover o protagonismo discente por meio de uma linguagem dialógica, mediada por narrativas gráficas protagonizadas pelos personagens Eletrikarla e Celuquinho. A progressão temática contemplou desde a evolução das telecomunicações e a simbologia de circuitos até o funcionamento técnico de telas *touchscreen* e baterias. Para sustentar essa trajetória, foram integradas diferentes metodologias ativas, como

Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), Aprendizagem Baseada em Investigação (IBL), Estudos de Caso, Gamificação e atividades de Escape Room. A autonomia discente foi reforçada por materiais de pré-aula acessíveis por meio de QR Codes no material impresso ou por links no ambiente virtual.

3.2 Instrumentos de Coleta: questões discursivas

O delineamento da pesquisa adotou o modelo de pré-teste e pós-teste, estratégia amplamente utilizada para mapear a evolução do entendimento dos participantes após intervenções didáticas. A coleta de dados ocorreu em dois momentos distintos: uma sondagem inicial (pré-teste) e uma verificação final (pós-teste), realizada após a aplicação das práticas diversificadas da Sequência Didática. O instrumento principal consistiu em dois testes equivalentes quanto ao nível de dificuldade e ao conteúdo, voltados à avaliação do entendimento conceitual de corrente e circuitos elétricos. Embora os testes originais fossem compostos por 30 itens (27 objetivos e 3 discursivos), a análise apresentada neste artigo restringe-se às três questões discursivas, mantidas idênticas em ambas as etapas, a fim de assegurar a comparabilidade das respostas.

As três questões discursivas foram estruturadas de modo a contemplar os domínios conceitual e procedimental da Física. A primeira questão, de natureza procedimental, exigiu a aplicação da Lei de Ohm ($R = V/I$), demandando do estudante a interpretação das unidades de medida (ohm, volt e ampère) e a resolução do cálculo da resistência elétrica. A segunda questão abordou a aplicação contextual e a segurança elétrica, solicitando a análise dos riscos e do funcionamento de aparelhos submetidos a tensões inadequadas (110 V e 220 V). Sua resolução requeria a articulação dos conceitos de diferença de potencial, potência, corrente elétrica e transformações de energia. Por fim, a terceira questão solicitou uma explicação detalhada do funcionamento de um circuito elementar composto por pilha, chave, lâmpada e condutores, com o objetivo de identificar os modelos mentais e as articulações lógicas dos discentes acerca da circulação da corrente elétrica.

3.3 Construção das Categorias de Análise via Taxonomia SOLO

Para a análise qualitativa das produções discentes, foi desenvolvido um sistema de rubricas fundamentado na hierarquia de complexidade da Taxonomia SOLO. Esse instrumento permitiu classificar o entendimento dos estudantes em cinco níveis progressivos: Pré-Estrutural, Uniestrutural, Multiestrutural, Relacional e Abstrato Estendido, convertendo os critérios teóricos de Biggs e Collis em indicadores operacionais aplicáveis aos conceitos de corrente e

circuitos elétricos. Tal adaptação assegurou uma leitura rigorosa da evolução cognitiva observada entre o pré e o pós-teste.

A primeira questão do instrumento foi: *Qual é a resistência de uma frigideira elétrica que puxa 12 A de corrente quando conectada a uma tomada de 120 V?* A resolução correta exigia a mobilização da Lei de Ohm ($V = R \cdot I$ ou $R = V/I$), a identificação adequada das variáveis envolvidas e a realização do cálculo correspondente, resultando em uma resistência de 10Ω . Embora se trate, à primeira vista, de uma aplicação direta de fórmula, a análise orientada pela Taxonomia SOLO revelou uma ampla variação nos níveis de compreensão, que vão desde erros conceituais elementares até o domínio integrado do conceito físico, das operações matemáticas e das unidades envolvidas.

Diferentemente de uma correção tradicional, centrada apenas na obtenção do resultado correto, o sistema categorial adotado privilegiou o nível de articulação entre os elementos conceituais presentes na resposta. Parte-se do pressuposto de que a aprendizagem constitui um processo não linear, marcado por avanços e recuos, de modo que respostas com erros operacionais podem, ainda assim, evidenciar maior complexidade estrutural do que respostas vagas ou omissas.

Para essa questão, a análise concentrou-se nos níveis Uniestructural, Multiestructural e Relacional. As respostas classificadas como Pré-estruturais (P) situaram-se aquém do solicitado, apresentando erros graves, respostas desconexas ou explicações genéricas sem relação direta com os conceitos de eletrodinâmica. No nível Uniestructural (U), as respostas apresentaram apenas um elemento isolado do problema, geralmente o resultado numérico, com ou sem unidade de medida. As respostas Multiestruturais (M) exibiram maior articulação, com a apresentação do cálculo – com ou sem a fórmula explícita –, podendo conter equívocos de unidade ou de algum termo da relação matemática, mas demonstrando a coordenação de mais de um elemento conceitual. Já no nível Relacional (R), as respostas evidenciaram a integração coerente dos elementos envolvidos, com a apresentação correta do cálculo, o reconhecimento explícito da Lei de Ohm e o uso adequado das grandezas físicas, conforme sistematizado no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Sistema de Rubricas e Exemplos para a Questão 1

Nível/Rubrica	Exemplo de Resposta
(P) - P	A frigideira esquentando muito rápido.
(U) - IN01	10
(M) - IN02	$R = V/I$ $R = 120/12$ $R = 10\Omega$

(R) - IN03	A resistência pode ser calculada pela Lei de OHM, implica em $V(\text{tensão}) = \text{Resistência (R)} \times \text{Corrente (I)}$, logo $R = 120/12=10 \text{ ohm}$.
------------	--

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Para a sistematização da análise, foram definidos indicadores de complexidade (IN), identificados pelos códigos IN01, IN02 e IN03. Essa codificação tem função operacional: facilitar a tabulação, o tratamento dos dados e a correlação das respostas dos 87 estudantes com a evolução do entendimento conceitual. O indicador IN01 sinaliza a apreensão de um único elemento isolado do problema, geralmente o resultado final. O IN02 evidencia a capacidade procedimental de articular múltiplas variáveis por meio do cálculo. Já o IN03 representa o patamar mais elevado para essa categoria, caracterizado pela integração coerente dos conceitos de eletrodinâmica, com fundamentação explícita na Lei de Ohm.

A segunda questão do instrumento foi: *Qual situação é menos perigosa: ligar um aparelho projetado para 110 V em uma tomada de 220 V ou conectar um aparelho de 220 V em uma tomada de 110 V? Explique sua resposta.*

Para responder adequadamente à Questão 2, o estudante deveria avaliar os riscos associados à incompatibilidade entre a tensão nominal do equipamento e a diferença de potencial fornecida pela rede elétrica. Trata-se de uma questão que exige a articulação dos conceitos de Diferença de Potencial, Corrente Elétrica e, de modo central, Potência Elétrica. O núcleo conceitual do problema reside no reconhecimento de que a situação menos perigosa é ligar um aparelho projetado para 220 V em uma rede de 110 V, pois a redução da tensão aplicada a uma resistência aproximadamente constante implica diminuição da potência dissipada. Nessa condição, o equipamento tende a não funcionar adequadamente, mas não sofre sobrecarga nem risco imediato de dano.

Com base nessa estrutura conceitual, o sistema categórico da Questão 2 foi organizado em dois ciclos de complexidade, permitindo identificar se o estudante se apoia em elementos isolados ou se estabelece relações causais e fenomenológicas mais elaboradas:

- **Ciclo 1:** respostas que se limitam à identificação do perigo ou a justificativas fragmentadas, sem articulação consistente entre as grandezas físicas envolvidas.
- **Ciclo 2:** respostas que avançam para explicações fenomenológicas, relacionando tensão, corrente e efeitos observáveis, culminando na associação explícita com a variação da potência elétrica.

A hierarquia de complexidade da Questão 2 está sistematizada no Quadro 2. As respostas classificadas no nível Pré-Estrutural (P) situam-se aquém do solicitado, como aquelas

que afirmam que “100 volts é menos perigoso” ou que sustentam, de forma equivocada, que ligar um aparelho de 110 V em 220 V reduziria a potência pela metade. Tais produções evidenciam confusão conceitual elementar ou ausência de articulação com os princípios fundamentais da eletrodinâmica.

Quadro 2: Sistema de Rubricas e Exemplos para a Questão 2

Nível/Rubrica	Exemplo de Resposta
(P) - P	“100 volts é menos perigosa ou” “Ligar um aparelho projetado para 110 V em uma tomada de 220 V”.
(U1) - E1N01	“Conectar um aparelho 220v em uma tomada 110v”.
(M1) - E1N02	“Ligar um aparelho de 220v em uma tomada de 110, porque ele estará apenas operando abaixo de sua capacidade máxima assim não ocorrendo o risco de um curto no aparelho”.
(R1) - E1N03	“A segunda situação é menos perigosa, pois nessa o que pode ocorrer é o funcionamento inadequado do aparelho pois a tensão não é o suficiente para gerar trabalho. Já no primeiro caso, a tensão por ser superior a recomendada, os componentes do aparelho podem queimar ou danificar devido o valor maior da ddp”.
(U2) - E2N01	“Ligar um aparelho de 220v em uma tomada de 110v, pq não corre o risco de danificar o aparelho”.
(M2) - E2N02	“Quando se liga um aparelho projetado para 220V em uma tomada de 110V, pode ocorrer um curto-circuito devido a voltagem da tomada ser maior que a do objeto. No caso contrário, o aparelho simplesmente irá funcionar em uma capacidade menor”.
(R2) - E2N03	“Ligar um aparelho de 220V em uma tomada de 110V é menos perigoso do que o inverso, pois a tensão fornecida pela tomada é menor do que a necessária para que o aparelho funcione adequadamente. Caso fosse a situação inversa (um aparelho de 110V ligado em uma tomada de 220V), poderia haver uma sobrecarga de energia, podendo causar incêndios devido o aumento da potência do aparelho que é dada pela relação: $P = V^2 / R$. podendo causar queima do aparelho, superaquecimento e até risco de incêndio”.

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

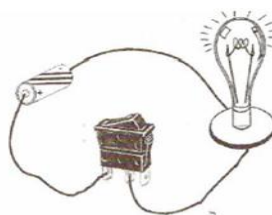
No Ciclo 1, as respostas classificadas nos indicadores Uniestruturais (E1N01) limitam-se a apontar o evento correto (aparelho de 220 V em tomada de 110 V), porém sem fundamentação. No nível Multiestrutural (E1N02), o aluno já reporta o evento e uma causa, contudo de forma fragmentada, como na resposta: “conectar um aparelho de 220 V em uma tomada de 110 V, pois queima o aparelho”; aqui, embora identifique a situação, a justificativa ainda carece de lógica relacional. Ao atingir o nível Relacional (E1N03) deste ciclo, o estudante já estabelece relações entre causas e efeitos, explicando, por exemplo, que a tensão insuficiente impede a geração de trabalho, enquanto o excesso de ddp danifica os componentes.

No Ciclo 2, observa-se um salto na sofisticação do raciocínio. No nível Uniestrutural (E2N01), o aluno introduz elementos como a resistência elétrica do equipamento como causa.

No nível Multiestrutural (E2N02), surgem explicações fenomenológicas mais ricas, mencionando que a corrente circulante será menor que a projetada ou que o aparelho funcionará com “metade da potência”. Finalmente, o nível Relacional (E2N03) representa a integração plena: o discente utiliza a definição formal de que a potência (P) é a tensão (V) ao quadrado dividida pela resistência (R), explicando, com precisão, que a ligação inversa causaria danos por sobrecarga de potência que o aparelho não suportaria resistir.

A terceira questão foi a seguinte: (Coelho, 2011): *uma ação cotidiana e corriqueira é apertar um interruptor e acender uma lâmpada no teto ou no abajur. A figura mostra um modelo mais simples dessa situação: uma pilha comum está ligada a um interruptor e a uma lâmpada de lanterna. Ao pressionar o interruptor, a lâmpada se acende. Explique o que ocorre na pilha, nos fios, no interruptor e na lâmpada quando ela está acesa.*

Figura 2: Representação de um circuito elétrico simples



Fonte: Coelho (2011, p. 60).

A Questão 3 solicitou que o estudante explicasse o que ocorre em cada componente de um circuito (pilha, fios, interruptor e lâmpada) enquanto o sistema permanece ativo. Diferentemente das questões anteriores, que focavam em cálculos ou situações binárias, esta demanda uma visão sistêmica da eletrodinâmica. O estudante deve ser capaz de descrever desde a conversão de energia química em energia elétrica na pilha até a dissipação térmica e luminosa, por efeito Joule, na lâmpada, mediada pelo fluxo ordenado de elétrons nos condutores e pelo fechamento do circuito no interruptor.

Seguindo o padrão das análises anteriores, o sistema categórico foi estruturado em dois ciclos:

- **Ciclo 1:** respostas que focam em fatos isolados ou em apenas um elemento do circuito, sem uma visão integrada do sistema.
- **Ciclo 2:** respostas que abrangem múltiplos elementos e buscam estabelecer relações entre eles, progredindo até a compreensão do circuito como um todo interdependente.

A complexidade hierárquica está sistematizada no Quadro 3. As respostas Pré-Estruturais (P) são aquelas que apresentam conceitos desconexos ou que não atendem à

solicitação mínima de explicação do fenômeno. No Ciclo 1, o nível Uniestructural (C1N01) identifica apenas um fato relativo a um único elemento (exemplo: “com o interruptor fechado, a corrente flui”). Já no nível Relacional (C1N03) desse ciclo, o aluno consegue relacionar fatos de um ou mais elementos, mas ainda de forma restrita ou incompleta frente à totalidade do circuito.

Quadro 3: Sistema de Rubricas e Exemplos para a Questão 3

Nível/Rubrica	Exemplo de Resposta
(P) - P	“Existe uma troca contínua de carga”.
(U1) - C1N01	“Com o interruptor fechado, a corrente flui pelo fio até a lâmpada e a acende”.
(M1) - C1N02	“Ao fechar o circuito, uma DDP é aplicada entre os terminais da lâmpada, fazendo com que a corrente circule pelo filamento e acenda a luz”.
(R1) - C1N03	“Quando a chave é fechada (interruptor é ligado), surge uma diferença de potencial nos terminais da bateria, essa diferença de potencial, por sua vez é a fonte do movimento de fluxo de cargas ordenas, a corrente elétrica. Quando a corrente passa pela lâmpada, ocorre o Efeito Joule, ou seja, sendo a lâmpada incandescente, o aumento da temperatura na lâmpada gera a luminosidade”.
(U2) – C2N01	“Pilha - fonte de energia. Fios - condutores. Interruptor - permite a passagem da corrente. Lâmpada - aquece pela resistência à passagem de elétrons”.
(M2) –C2N02	“Ao pressionar o interruptor, permitimos que a corrente flua no fio através da diferença de potencial e passando pela lâmpada. Esse trajeto se repete enquanto a chave de circuito estiver ligada, na luz temos uma resistência que dificulta a passagem da eletricidade gerando luz e calor”.
(R2) – C2N03	“Em ordem: (i) a pilha armazena energia química que é convertida em energia elétrica, fornecendo uma ddp. (ii) quando o interruptor (que funciona como uma chave) é pressionado, o circuito se fecha, a energia química da lâmpada é convertida em elétrica, que permite que a eletricidade chegue até a lâmpada. (iii) o caminho que a eletricidade percorre é propiciada pelos fios que são condutores. (iv) por fim, (considerando a lâmpada de filamento representada na imagem) ela exerce a função de resistor, aproveitando a energia dissipada como calor pelo efeito Joule para aquecer o filamento metálico é emitir luz enquanto flui corrente.”

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

No Ciclo 2, observa-se o protagonismo da visão sistêmica. O nível Uniestructural (C2N01) reporta fatos para diversos elementos, porém de forma estanque, como uma lista de funções independentes. A evolução para o nível Multiestructural (C2N02) ocorre quando o discente detalha mais de um fato para cada elemento (como a ddp na pilha e o efeito Joule na lâmpada), mas sem “amarrar” a continuidade do fluxo. O patamar de maior sofisticação é o Relacional (C2N03), no qual a resposta estabelece uma relação geral entre todos os componentes, descrevendo o circuito como um processo contínuo de transformação e transporte de energia.

Esse modelo classificatório foi aplicado à análise de 87 respostas, coletadas em três questões distintas, em dois momentos: antes (pré-teste) e após a oficina (pós-teste). Investigou-

se se ocorreu mudança nesses níveis de complexidade após a intervenção interdisciplinar, fornecendo, assim, possíveis indicativos sobre o que uma SD fundamentada em metodologias ativas pode contribuir para a construção de conceitos fundamentais de corrente e circuitos elétricos.

4 Análise dos Resultados

4.1 Validação da Categorização

Foi realizada uma classificação pareada dos itens com base na Taxonomia SOLO, na qual cada item foi categorizado de forma independente e, posteriormente, teve suas classificações cruzadas com aquelas atribuídas pelos especialistas, com o objetivo de verificar o nível de concordância entre os julgamentos. Para essa finalidade, foram construídas tabelas de concordância e calculado o coeficiente Kappa de Cohen (κ), apropriado para avaliar a concordância entre classificações categóricas, descontando o efeito do acaso.

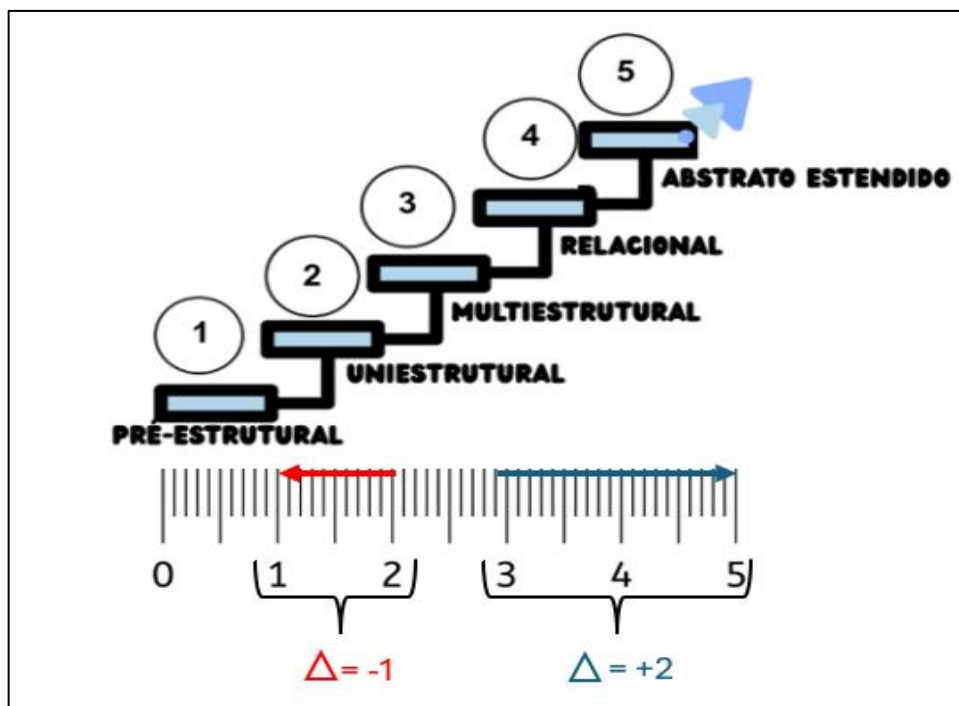
Na comparação entre A3 e E3, obteve-se $\kappa = 0,583$, indicando uma concordância moderada e estatisticamente significativa ($p < 0,001$). Já na comparação entre A2 e E2, o coeficiente atingiu $\kappa = 0,670$, caracterizando uma concordância substancial ($p < 0,001$). Adicionalmente, a comparação entre A1 e E1 apresentou o maior índice de estabilidade, com $\kappa = 0,780$. Esses resultados evidenciam um alinhamento consistente entre a classificação pela Taxonomia SOLO e a avaliação dos especialistas, validando o instrumento para a análise dos conceitos de corrente e circuitos elétricos.

4.2 Mudança dos Níveis de Complexidade

A investigação dos dados fundamentou-se em uma abordagem qualitativa da evolução conceitual. Inicialmente, quantificou-se a incidência de cada categoria nas fases de pré- e pós-teste, expressando-as em termos percentuais. Complementarmente, mensurou-se a transição entre os níveis cognitivos em ambos os momentos, utilizando-se uma métrica escalar, conforme ilustrado na Figura 3.

Essa metodologia permite atribuir valores numéricos às transições de patamar. A título de exemplificação, um discente (Est.) que migrou do nível Multiestrutural (valor 3) no pré-teste para o Abstrato Estendido no pós-teste (valor 5) apresenta uma variação (Δ) de +2, representando um acréscimo de dois pontos na escala de complexidade.

Figura 3: Ilustração da escala qualitativa relacionada à mudança dos níveis de complexidade



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Inversamente, o recuo de um estudante do nível Uniestrutural (valor 2) no pré-teste para o nível Pré-Estrutural (valor 1) no pós-teste configura um decréscimo (Δ) de -1 , como se pode observar na Figura 3. Essa transição sugere que a intervenção didática pode ter gerado conflitos conceituais não resolvidos para esse sujeito. Tal procedimento oferece uma perspectiva qualitativa e direcional sobre as mudanças ocorridas, permitindo identificar a magnitude da evolução ou regressão dos conceitos sobre corrente e circuitos elétricos.

Análise da Questão 1: Após a classificação das respostas do pré- e do pós-teste da Questão 1, avaliaram-se as mudanças representadas como delta Δ (mudança) na amostra em geral, em termos percentuais, e para cada estudante (Est.), em termos da escala qualitativa.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam as variações observadas na amostra global. De maneira geral, identifica-se que o nível Uniestrutural (IN01) é a categoria predominante no pré-teste, concentrando o maior volume de dados, com 47 respostas em um universo de 88 (53,4%). Observa-se que, à exceção do nível Uniestrutural, há um decréscimo progressivo no número de respostas à medida que o nível de complexidade cognitiva aumenta. A distribuição configurou-se da seguinte forma: 19 respostas no nível Pré-Estrutural, 47 no Uniestrutural (IN01), 19 no Multiestrutural (IN02) e apenas 3 no nível Relacional (IN03).

Esses resultados indicam que, antes da intervenção (oficina), a compreensão dos estudantes sobre corrente e circuitos elétricos era limitada à indicação do resultado correto, sem articulação teórica suficiente. Evidenciou-se a dificuldade em reconhecer a Lei de Ohm e em

utilizar corretamente as unidades de medida, com a presença de diversos equívocos na aplicação da fórmula e erros de cálculo. Ressalta-se, ainda, que apenas três estudantes apresentaram a resposta correta acompanhada do cálculo e do reconhecimento explícito da Lei de Ohm. Em comparação aos 85 discentes restantes, esse dado sugere que o conhecimento estruturado sobre o fenômeno e suas leis físicas é escasso, possivelmente restringindo-se a remanescentes fragmentados do Ensino Médio.

No pós-teste, observa-se um incremento significativo no número de respostas nos níveis mais elevados de complexidade, com destaque para o nível Relacional (IN03), que registrou 24 ocorrências. Paralelamente, houve uma redução abrupta no nível Pré-Estrutural, que passou a contabilizar apenas quatro respostas. No nível Uniestrutural (IN01), verificou-se uma ligeira retração para 44 respostas, tendência também observada no nível Multiestrutural (IN02). Ao comparar o pré- e o pós-teste por meio do Gráfico 1, percebe-se uma inversão na frequência de respostas em relação ao aumento do nível de complexidade cognitiva.

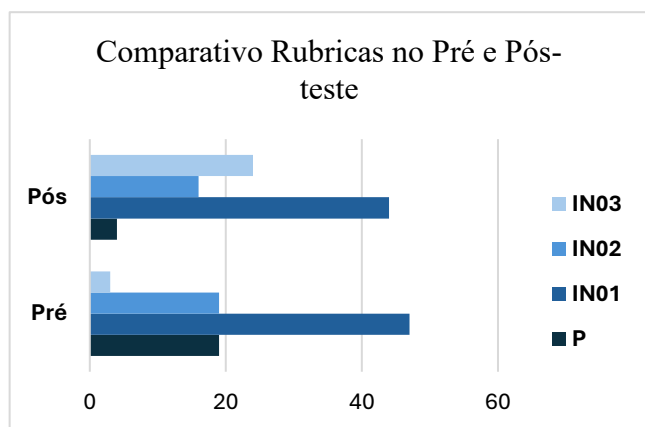
Esse resultado indica que a instrução mediada pela oficina pode ter favorecido uma articulação mais robusta do entendimento, evidenciada pela apresentação de resultados integrados à aplicação de fórmulas e ao reconhecimento da Lei de Ohm. Contudo, o fato de parcela considerável das respostas no pós-teste ainda se restringir à apresentação do valor numérico isolado demonstra que a compreensão dos estudantes não está plenamente consolidada, sugerindo a persistência de perspectivas intuitivas ou fragmentadas sobre o fenômeno físico estudado.

No Quadro 4, observa-se a variação na escala qualitativa para cada uma das 88 respostas coletadas nos instrumentos de pré- e pós-teste. Verificou-se que 41 respostas se mantiveram inalteradas ($\Delta = 0$), sugerindo que, para esse grupo de discentes, a intervenção didática não promoveu mudanças imediatas nas concepções prévias. Em contrapartida, oito respostas apresentaram um decréscimo de um ponto na escala ($\Delta = -1$). Quanto aos avanços, 39 estudantes apresentaram acréscimos na escala de complexidade cognitiva, distribuídos da seguinte forma: 21 respostas com evolução de um ponto ($\Delta = +1$), 13 respostas com incremento de dois pontos ($\Delta = +2$) e cinco respostas com aumento de três pontos ($\Delta = +3$).

Considerando que a aprendizagem é um processo ascendente, porém permeado por avanços e retrocessos, o decréscimo observado pode ser atribuído a dois fatores: i) o entendimento dos estudantes cujas respostas regrediram um ponto pode estar em uma fase de retrocesso momentâneo, indicando que a oficina possivelmente introduziu elementos que desencadearam um processo de desequilíbrio (Piaget, 1983); ii) as respostas podem ter sido

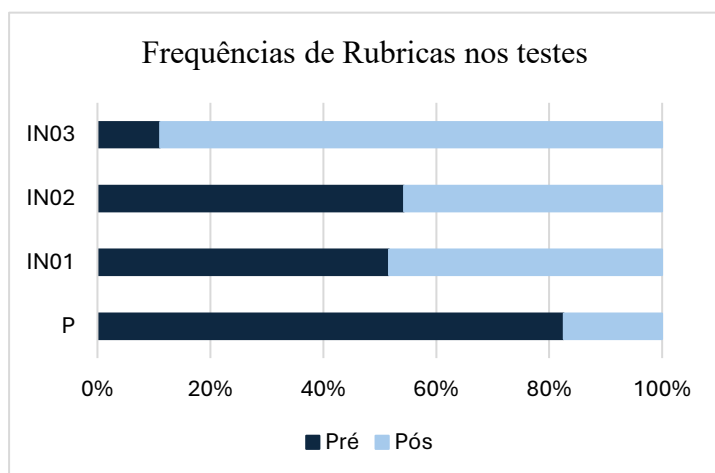
influenciadas por fadiga ou falta de engajamento, visto que o pós-teste foi administrado ao encerramento da oficina.

Gráfico 1: Comparativo Rubricas Q1



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Gráfico 2: Porcentagem das Categorias Q1



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Quadro 4: Mudança dos níveis Q1

Questão 1							
Est	Pré	Pós	Δ	Est	Pré	Pós	Δ
1	IN01	IN01	0	45	IN01	IN01	0
2	IN01	IN01	0	46	IN02	IN02	0
3	IN02	IN03	1	47	P	IN01	1
4	P	IN01	1	48	IN02	IN01	-1
5	IN02	IN02	0	49	P	IN03	3
6	IN01	IN01	0	50	IN01	IN01	0
7	IN01	IN01	0	51	P	IN01	1
8	IN03	IN03	0	52	IN01	IN02	1
9	IN01	IN01	0	53	IN01	IN01	0
10	IN01	IN01	0	54	P	IN03	3
11	IN01	IN03	2	55	P	IN01	1
12	P	IN01	1	56	P	IN03	3
13	P	IN01	1	57	IN02	IN02	0
14	P	IN03	3	58	IN02	IN03	1
15	IN03	IN03	0	59	IN01	IN03	2
16	IN02	IN01	-1	60	IN01	IN02	1
17	IN01	P	-1	61	IN01	IN01	0
18	P	IN02	2	62	IN01	IN02	1
19	IN01	IN01	0	63	IN01	IN01	0
20	IN01	IN03	2	64	P	P	0
21	P	IN01	1	65	IN01	IN01	0
22	IN02	IN03	1	66	IN02	IN01	-1
23	IN01	IN03	2	67	IN02	IN02	0
24	P	IN02	2	68	IN01	IN03	2
25	IN03	IN03	0	69	IN01	IN01	0
26	IN02	IN01	-1	70	IN02	IN03	1
27	IN01	IN02	1	71	IN01	IN01	0
28	IN01	IN01	0	72	IN01	IN01	0
29	IN02	IN02	0	73	IN02	IN02	0
30	IN02	IN03	1	74	IN01	P	-1
31	IN01	IN01	0	75	IN01	IN01	0
32	IN01	IN01	0	76	IN02	IN02	0
33	IN01	IN03	2	77	IN01	IN01	0
34	IN01	IN01	0	78	P	P	0
35	IN01	IN03	2	79	IN01	IN01	0
36	IN01	IN01	0	80	IN02	IN03	1
37	IN02	IN01	-1	81	IN01	IN03	2
38	IN01	IN01	0	82	IN01	IN01	0
39	P	IN01	1	83	IN01	IN02	1
40	P	IN01	1	84	IN02	IN01	-1
41	P	IN02	2	85	P	IN03	3
42	IN01	IN01	0	86	IN01	IN01	0
43	IN01	IN02	1	87	IN01	IN03	2
44	IN01	IN01	0	88	IN01	IN03	2

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os dados revelam que, embora 41 estudantes tenham mantido seus níveis iniciais, o saldo positivo de 39 alunos com evolução indica que a oficina fomentou, de maneira geral, um avanço na complexidade do entendimento do fenômeno. A manutenção dos níveis pode ser devido ao fato de a questão ser muito simples, de baixo nível de dificuldade e não demandar maiores explicações, o que pode levar a uma resposta direta. O progresso ocorrido não atingiu os níveis mais elevados de abstração para a totalidade da amostra, o que pode ter ocorrido também devido ao formato da questão. Interpretamos, contudo, que os progressos encontrados provavelmente são em decorrência do aprofundamento sobre os conteúdos estudados durante a oficina.

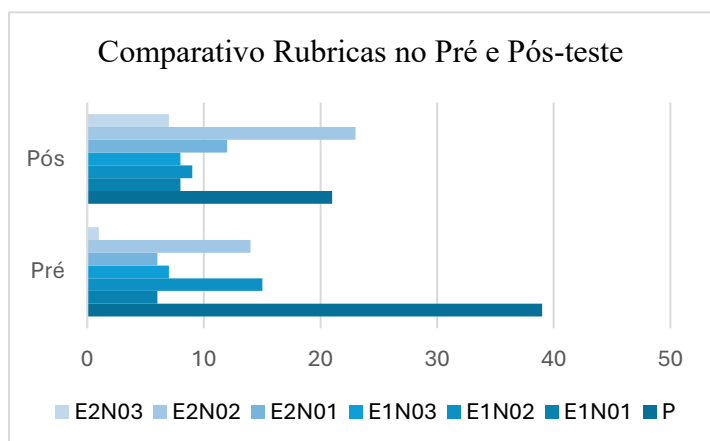
Os resultados da Questão 2, sistematizados nos Gráficos 3 e 4 e no Quadro 5, reportam a evolução da complexidade das respostas, fundamentada em dois ciclos de classificação (E1 e E2). A escala abrange desde o nível Pré-Estrutural (P) até o Relacional de cada ciclo, exigindo, diferentemente da questão anterior, uma articulação mais profunda entre os componentes do circuito elétrico.

Os dados demonstram uma transição significativa entre o pré e o pós-teste. Inicialmente, o nível Pré-Estrutural (P) mostrou-se predominante (39 respostas), indicando uma compreensão aquém da solicitada. No pré-teste, os níveis Multiestruturais de ambos os ciclos detinham a segunda maior quantidade de respostas (E1N02: 15; E2N02: 14), enquanto os níveis Uniestruturais apresentavam quantitativos idênticos. No pós-teste, a categoria Pré-Estrutural reduziu-se para 21 respostas, evidenciando a superação parcial de concepções equivocadas. Enquanto o primeiro ciclo (E1) manteve um crescimento discreto, o segundo ciclo (E2) concentrou os maiores índices de evolução: o nível E2N01 alcançou 12 respostas, e o E2N02 consolidou-se como a categoria predominante, com 23 ocorrências. Destaca-se o nível Relacional 2 (E2N03), que exige a correlação com o aumento de potência elétrica, saltando de 1 para 7 respostas.

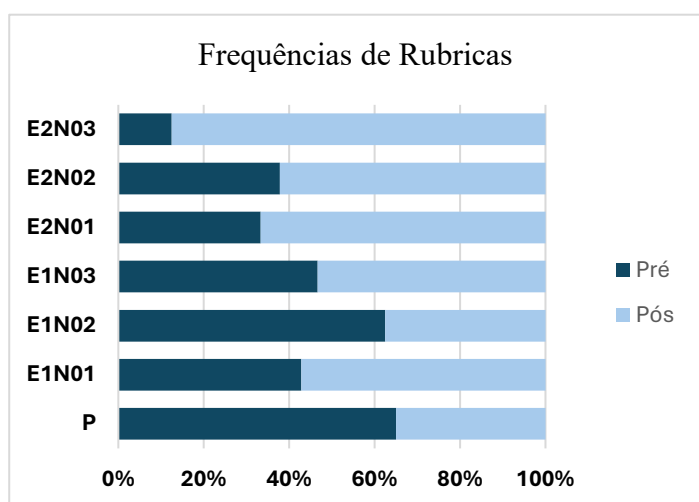
No que concerne à escala qualitativa de mudança, verificou-se que 28 respostas se mantiveram inalteradas ($\Delta = 0$). Em contrapartida, houve um expressivo movimento ascendente dos níveis de complexidade, totalizando 44 estudantes (50% da amostra). Esses avanços distribuíram-se de forma heterogênea: treze respostas com ganho de um ponto ($\Delta = +1$), quatorze respostas com aumento de dois pontos ($\Delta = +2$), quatro respostas com aumento de três pontos ($\Delta = +3$), oito respostas com acréscimo de quatro pontos ($\Delta = +4$), duas respostas com ganho de cinco pontos ($\Delta = +5$) e três estudantes que atingiram o ganho máximo de seis pontos na escala ($\Delta = +6$).

Essa inversão da frequência em direção aos níveis superiores do ciclo E2 indica que a instrução favoreceu um entendimento mais profundo o conteúdo da questão. Contudo, é imperativo considerar que a natureza da Questão 2, a qual solicita a identificação da situação “menos perigosa” entre conectar aparelhos em tensões distintas, pode ter induzido a erros de interpretação. Por exigir que o discente identifique a alternativa de menor risco sob uma perspectiva técnica, muitos estudantes podem ter se confundido com a semântica da pergunta, o que explicaria a permanência de 21 sujeitos no nível Pré-Estrutural.

Identificou-se que 16 respostas apresentaram retrocessos na escala qualitativa, variando de $\Delta = -1$ a $\Delta = -5$. Embora a aprendizagem seja um processo não linear, a magnitude dessas regressões na Questão 2 exige uma análise mais cuidadosa. Tais resultados podem ser fundamentados por três eixos principais: i) Desequilíbrio Cognitivo e Obstáculos Epistemológicos: a natureza da pergunta exige que o estudante abandone o pensamento puramente intuitivo para operar com variáveis inversamente proporcionais em contextos de segurança. O confronto entre o conhecimento prévio, o conhecimento do cotidiano e a formalização da Lei de Ohm ($I = V/R$) e da Potência Elétrica ($P = V^2/R$) pode ter gerado um estado de desequilíbrio cognitivo ou as relações e/ou operações mentais (de assimilação, acomodação e generalização) necessárias podem não ter ocorrido. Uma possível explicação é a de que o discente tenta integrar novos conceitos (como a resistência constante do aparelho), mas a complexidade de relacionar o aumento da tensão com o aquecimento por Efeito Joule pode causar um “bloqueio” ou uma simplificação excessiva da resposta, resultando em um nível de complexidade inferior ao demonstrado no pré-teste. ii) Ambiguidade Semântica e Interpretação do “Menos Perigoso”: a interpretação do termo “menos perigoso” impõe um desafio linguístico-científico. Enquanto o senso comum pode associar perigo apenas à “queima” ou ao “não funcionamento”, a análise física exige discernir sobre a insuficiência de tensão versus o excesso de dissipação térmica. O erro de interpretação pode ter levado estudantes que possuíam maior articulação do conhecimento a se confundirem na estrutura lógica da explicação, focando em aspectos periféricos da segurança em vez de estabelecer as relações causais entre tensão, corrente e potência exigidas pelos níveis de complexidade do Ciclo 2 (E2). iii) Complexidade das Relações Quadráticas: a Questão 2 exige a compreensão de que a potência varia com o quadrado da tensão (V^2). Para estudantes em transição conceitual, operar com relações não lineares é significativamente mais difícil. A dificuldade em consolidar que dobrar a tensão quadruplica a potência dissipada pode ter levado a explicações menos articuladas, incapazes de reportar o perigo associado ao derretimento de isolantes e focos de incêndio de forma relacional.

Gráfico 3: Comparativo Rubricas Q2

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Gráfico 4: Porcentagem das Categorias Q2

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Quadro 5: Mudança dos níveis Q2

Questão 2							
Est.	Pré	Pós	Δ	Est.	Pré	Pós	Δ
1	E1N03	E1N03	0	45	E2N02	E2N02	0
2	P	P	0	46	P	P	0
3	P	E1N02	3	47	P	E2N02	4
4	E1N03	E1N03	0	48	E2N02	E1N01	-3
5	P	P	0	49	P	P	0
6	E1N01	E2N01	1	50	P	E2N02	4
7	P	E2N02	4	51	P	E2N03	6
8	P	P	0	52	P	E2N02	4
9	E2N02	E1N03	1	53	E2N01	E1N02	1
10	P	E2N02	4	54	P	E2N01	2
11	P	E1N01	1	55	P	E1N01	1
12	E2N01	E2N01	0	56	P	E2N01	2
13	E1N02	E2N01	1	57	P	E2N03	6
14	E2N01	P	-2	58	E2N02	E2N02	0
15	P	P	0	59	E1N02	E1N02	0
16	E2N02	E1N01	-3	60	E1N01	E1N01	0
17	E1N02	E1N02	0	61	P	E2N01	2
18	E2N02	E1N01	-3	62	E1N02	E1N03	2
19	E2N01	E2N02	2	63	E1N01	E2N03	5
20	E2N02	E2N02	0	64	P	E2N01	2
21	E2N01	P	-2	65	P	P	0
22	E2N01	E2N02	2	66	P	E2N01	2
23	E2N02	E2N01	0	67	P	P	0
24	E1N02	E2N01	-1	68	P	E2N02	4
25	E1N03	E2N03	1	69	E2N02	E1N02	-1
26	E1N02	P	-3	70	IN02	IN03	1
27	P	P	0	71	IN01	IN01	0
28	E1N02	E2N02	1	72	IN01	IN01	0
29	P	E2N01	2	73	IN02	IN02	0
30	E1N01	E2N02	3	74	IN01	P	-1
31	P	E2N02	4	75	IN01	IN01	0
32	E1N03	P	-5	76	IN02	IN02	0
33	E2N02	E1N03	1	77	IN01	IN01	0
34	E1N03	P	-5	78	P	P	0
35	P	E1N03	5	79	IN01	IN01	0
36	E2N02	E2N02	0	80	IN02	IN03	1
37	P	E2N02	4	81	IN01	IN03	2
38	P	P	0	82	IN01	IN01	0
39	P	E1N01	1	83	IN01	IN02	1
40	P	P	0	84	IN02	IN01	-1
41	P	E2N01	2	85	P	IN03	3
42	E2N03	E2N02	-2	86	IN01	IN01	0
43	E2N02	E2N03	2	87	IN01	IN03	2
44	P	P	0	88	IN01	IN03	2

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os resultados da Questão 3, sistematizados nos Gráficos 5 e 6 e no Quadro 6, reportam a evolução da complexidade das respostas, fundamentada em dois ciclos de classificação (C1 e C2). A escala abrange desde o nível Pré-Estrutural (P) até o Relacional do segundo ciclo

(C2N03), exigindo do discente a articulação de fatos para diversos elementos do circuito, como pilha, fios, interruptor e lâmpada.

Os dados obtidos demonstram uma transição expressiva entre o pré- e o pós-teste. Inicialmente, o nível Pré-Estrutural (P) apresentava 27 respostas, indicando uma compreensão aquém da solicitada ou a presença de concepções equivocadas. No primeiro ciclo (C1), os níveis Uniestrutural (C1N01) e Multiestrutural (C1N02) registraram baixos quantitativos, com 4 e 3 respostas, respectivamente.

Em contrapartida, os níveis Relacionais de ambos os ciclos, C1N03 (17 respostas) e C2N03 (18 respostas), apresentaram valores expressivos já no pré-teste. Esse dado indica que uma parcela significativa dos estudantes iniciou a oficina com um entendimento prévio estabelecido sobre o funcionamento de um circuito simples, conseguindo relacionar os elementos e seus respectivos fatos de maneira coerente antes mesmo da instrução formal.

No pós-teste, o número de respostas no nível Pré-Estrutural reduziu-se drasticamente para apenas 1 resposta, indicando que oficina influenciou na superação de concepções equivocadas. O segundo ciclo (C2) concentrou os maiores índices de evolução: o nível Multiestrutural (C2N02) saltou de 6 para 15 respostas, e o nível Relacional (C2N03), que exige o estabelecimento de relações gerais entre todos os elementos, consolidou-se como a categoria predominante, passando de 18 para 35 ocorrências. Essa inversão da frequência em direção aos níveis superiores indica que a intervenção favoreceu a mudança da visão fragmentada para uma visão mais sistêmica do fenômeno.

No que concerne à escala qualitativa de mudança, verificou-se que 19 respostas se mantiveram inalteradas ($\Delta = 0$), sendo estas majoritariamente de alunos que já apresentavam alto desempenho inicial. Em contrapartida, houve um robusto movimento ascendente, totalizando 53 estudantes com acréscimos na escala: 11 respostas com $\Delta = +1$, 10 com $\Delta = +2$, 6 com $\Delta = +3$, 10 com $\Delta = +4$, 6 com $\Delta = +5$ e 10 estudantes que atingiram o ganho máximo de seis pontos ($\Delta = +6$). Esses saltos indicam que a oficina permitiu a transição de descrições isoladas para explicações relacionais complexas.

O expressivo aumento de respostas no nível Relacional no ciclo 2 (C2N03), que atingiu 35 ocorrências no pós-teste, evidencia que a intervenção pedagógica promoveu uma reestruturação mais profunda da articulação do conhecimento dos estudantes. Enquanto no pré-teste predominavam descrições isoladas, o estágio pós-oficina revelou a capacidade dos discentes de estabelecer relações sistêmicas entre os quatro elementos do circuito (pilha, fios, interruptor e lâmpada).

Tais resultados podem ser interpretados a partir de três eixos principais: i) quando os estudantes passam a identificar a pilha não apenas como um “depósito de eletricidade”, mas como uma fonte de energia química que estabelece uma diferença de potencial (ddp); ii) a transição para níveis Relacionais indica que o estudante compreendeu a função da “chave”: ao ser pressionada, ela garante a continuidade física necessária para fechar o circuito. Sem essa visão sistêmica, o interruptor é visto apenas como um botão isolado; no nível C2N03, ele é reconhecido como o elemento que permite ou interrompe o fluxo de energia por todo o sistema; iii) o diferencial das respostas mais completas reside na explicação fenomenológica da lâmpada. Ao caracterizá-la como um resistor que converte energia elétrica em térmica e luminosa por meio do Efeito Joule, o estudante demonstra o domínio de conceitos de alta complexidade. A justificativa do aumento de nível está no reconhecimento de que o aquecimento do filamento metálico e a consequente emissão de luz são resultados diretos da resistência oferecida à passagem da corrente, estabelecendo uma conexão clara entre as leis da eletrodinâmica e o fenômeno observado.

Apesar do progresso geral, os 16 casos de retrocesso (Δ negativo) e as respostas que permaneceram no nível Pré-Estrutural podem ser explicados pela dificuldade de transposição didática de conceitos abstratos. O erro comum reside na tentativa de integrar termos técnicos recém-adquiridos (como ddp, corrente e resistência) sem uma estrutura lógica consolidada, o que pode levar a explicações confusas que regridem na escala de complexidade. Além disso, o cansaço ao final da oficina pode ter prejudicado a capacidade de redação detalhada, essencial para atingir os critérios da rubrica do segundo ciclo (C2).

Gráfico 5: Comparativo Rubricas Q3

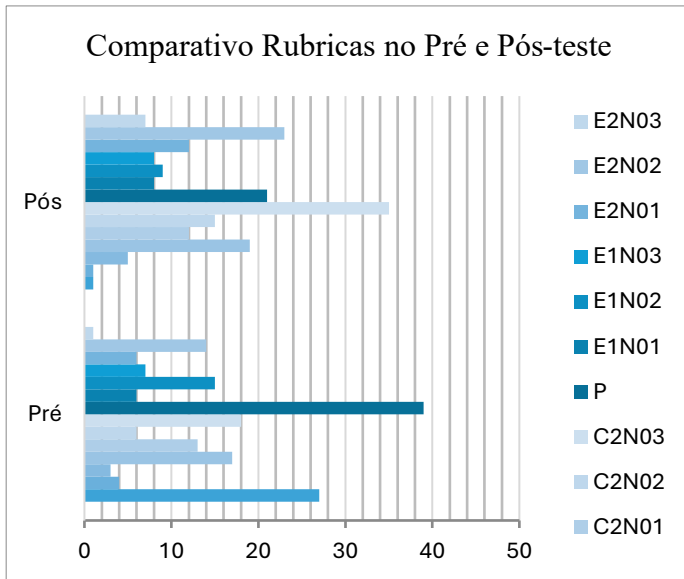
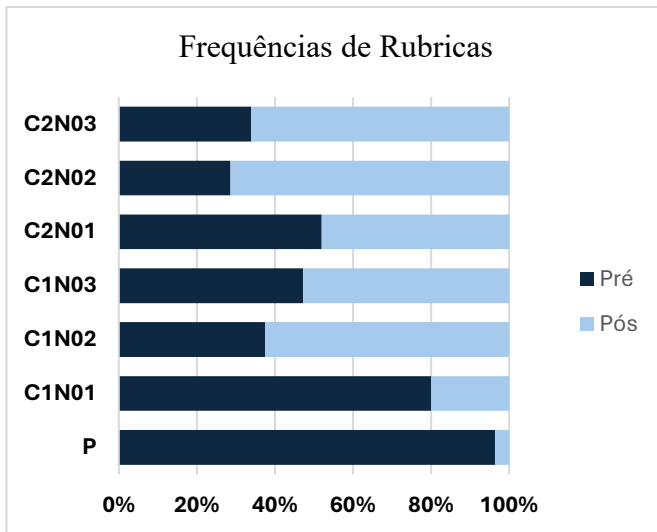


Gráfico 6: Porcentagem das Categorias Q3



Quadro 6: Mudança dos níveis Q3

Questão 3							
Est.	Pré	Pós	Δ	Est.	Pré	Pós	Δ
1	C2N02	C2N03	2	45	C1N02	C2N02	1
2	C2N01	C2N01	0	46	C2N01	C1N03	3
3	C2N01	C2N01	0	47	P	C1N03	5
4	C2N01	C2N03	4	48	P	C2N01	2
5	C2N01	C2N03	4	49	C1N03	C2N03	1
6	C2N01	C1N03	3	50	P	C1N03	5
7	C2N01	C2N03	4	51	P	C2N03	6
8	C2N02	C1N01	-3	52	P	C1N03	5
9	C2N01	C2N03	4	53	P	C2N02	4
10	P	C2N01	2	54	P	C2N01	2
11	C2N01	C2N01	0	55	P	P	0
12	C2N01	C2N01	0	56	C1N01	C1N03	4
13	C2N03	C2N02	-2	57	C1N03	C2N03	1
14	P	C1N02	3	58	C2N03	C1N02	-3
15	P	C2N03	6	59	C1N03	C1N03	0
16	C2N03	C1N03	-1	60	C2N01	C1N03	3
17	C1N03	C1N03	0	61	C1N03	C2N03	1
18	C1N03	C2N03	1	62	C1N03	C2N03	1
19	C2N01	C2N01	0	63	C1N03	C2N03	1
20	P	C1N03	5	64	P	C2N03	6
21	P	C2N02	4	65	C1N01	C2N02	3
22	P	C2N03	6	66	C1N03	C2N02	-1
23	C2N03	C1N03	-1	67	C1N03	C2N03	1
24	P	C2N02	4	68	P	C2N03	6
25	C1N03	C2N03	1	69	C2N03	C2N03	0
26	C2N02	C2N02	0	70	C2N03	C2N02	-2
27	C2N03	C2N03	0	71	C1N02	C1N03	2
28	C1N03	C2N02	-1	72	C1N02	C1N03	2
29	C2N03	C2N02	-2	73	C2N02	C2N03	2
30	P	C2N03	6	74	C2N03	C2N03	0
31	C1N03	C2N03	1	75	P	C2N02	4
32	C2N02	C2N03	2	76	C1N03	C1N03	0
33	P	C2N03	6	77	C2N03	C2N03	0
34	C2N03	C1N03	-1	78	P	C2N03	6
35	C2N03	C2N03	0	79	P	C1N02	3
36	P	C1N03	5	80	C2N03	C2N02	-2
37	C2N03	C2N02	-2	81	P	C2N01	2
38	C1N03	C1N03	0	82	C2N03	C2N01	-4
39	C1N01	C2N03	5	83	C1N03	C1N02	-2
40	P	C2N03	6	84	C2N03	C2N03	0
41	C1N01	C1N03	4	85	C2N02	C1N02	-1
42	C2N01	C2N01	0	86	C2N03	C2N02	-2
43	P	C2N01	2	87	C1N03	C2N03	1
44	P	C2N03	6	88	C2N03	C2N03	0

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

5 Discussão dos Resultados

Ao retomar a pergunta norteadora deste estudo que busca investigar de que maneira uma sequência didática pautada em metodologias ativas para o ensino de corrente elétrica e circuitos elétricos se manifesta após uma intervenção desse tipo, quando analisada qualitativamente pelos parâmetros da Taxonomia SOLO? Os dados revelam que a intervenção promoveu o aumento do nível de complexidade do entendimento sobre conteúdos de eletricidade. Verificamos, contudo, que as mudanças nos níveis não foi uniforme, mas dependente da natureza dos conteúdos e do formato da questão. De maneira geral, a análise qualitativa permitiu observar que a oficina pedagógica promoveu um deslocamento significativo dos discentes do nível Pré-Estrutural para níveis Relacionais, embora a profundidade desse alcance tenha variado conforme a demanda cognitiva de cada questão.

Nas questões que exigiam uma articulação sistêmica ou a análise de variáveis inversamente proporcionais (Questões 1 e 2), os níveis de complexidade mais contemplados foram aqueles que descrevem entendimento intermediário. Isso sugere que o conhecimento se consolidou mais em termos de compreensão de relações diretas entre variáveis do que na generalização abstrata do fenômeno. Na Questão 1, por exemplo, 53,4% da amostra iniciou no nível Uniestrutural, enquanto, na Questão 2, o desafio técnico de interpretar o cenário “menos perigoso” e a relação quadrática da potência resultaram em um alcance mais tímido dos patamares mais complexos (E2N03), que contou com apenas 7 respostas no pós-teste.

Nas questões de menor abstração conceitual, como a Questão 3, a metodologia ativa logrou êxito em conduzir a maioria da amostra aos níveis mais sofisticados (Relacional 2 – C2N03), reduzindo drasticamente o nível Pré-Estrutural de 27 para apenas uma resposta. Isso indica que, para circuitos simples, a abordagem em questão provavelmente facilitou a “aprendizagem profunda” preconizada por Biggs e Collis (1982), permitindo que o estudante relacione múltiplos elementos e fatos de forma sistêmica. A constatação, entretanto, deve ser feita mediante aplicação de teste de retenção.

Na Questão 3, que continha uma imagem cujos componentes do circuito (pilha, fios e lâmpada) permitiam uma visualização mais concreta e imediata, os níveis de complexidade mais altos foram amplamente alcançados, com o nível Relacional 2 (C2N03) saltando de 18 para 35 ocorrências. Esse contraste reforça a hipótese de que a demanda de conhecimento e a clareza semântica da pergunta provavelmente influenciaram a capacidade do estudante de estruturar sua resposta.

A persistência de alguns estudantes em níveis iniciais ou a ocorrência de retrocessos pontuais sugerem que o conhecimento ainda não está totalmente estruturado. Em suma, os

resultados levam à conclusão de que o entendimento da maioria dos estudantes está em construção. Enquanto a identificação de elementos e fatos isolados foi amplamente superada, a capacidade de argumentar sobre fenômenos complexos e de estabelecer relações sistêmicas profundas, especialmente em situações que envolvem riscos e segurança elétrica, ainda demanda maior tempo de desequilíbrio e reorganização cognitiva. Para sustentar a efetividade dessa abordagem, sugere-se a condução de estudos complementares com amostras ampliadas.

6 Considerações Finais

O presente estudo teve como objetivo analisar a qualidade da aprendizagem sobre corrente e circuitos elétricos por meio da Taxonomia SOLO. As evidências empíricas coletadas demonstram que a intervenção fundamentada em metodologias ativas promoveu um movimento ascendente do nível de complexidade de entendimento para a maioria dos discentes.

A permanência de níveis básicos em temas complexos demonstra que a compreensão inicial dos ingressantes sobre corrente e circuitos elétricos não está articulada o suficiente para lidar com equívocos de maneira contundente, algo que mudou apenas parcialmente com a oficina.

A presença de dois ciclos de respostas (E1/C1 e E2/C2) concorda com teorias de aprendizagem que explicam o processo como oscilatório e ascendente. Não se atinge a formalização plena de construtos como o Efeito Joule ou a Lei de Ohm em um primeiro contato; o conhecimento formal necessita de tempo e de vivências diversas para ser construído. Como implicação educacional, interpretamos que há a necessidade de elaborar ferramentas diagnósticas precisas e estratégias de ensino que levem em consideração a recursividade curricular, garantindo que o estudante transite do entendimento superficial para a aprendizagem profunda.

Os resultados mostraram que o uso do pluralismo metodológico e das metodologias ativas incluídas nesse estudo promoveram aprendizagem, mas ela se deu predominantemente nos níveis intermediários de entendimento, indicando que para o alcance do patamar formal outras estratégias podem ser mais eficazes. Apesar de haver necessidade de réplicas desse estudo, para atestar a evidência desse resultado de forma mais robusta, tal indicativo traz questões relevantes para se pensar no papel de metodologias ativas enquanto estratégias de ensino: é preciso discutir seu potencial enquanto promotora de consolidação de conhecimentos, mas também é necessário investigar e reconhecer sua limitação no favorecimento da construção de entendimentos nos mais altos níveis de complexidade. Isso porque tais metodologias primam por linguagem mais familiar, mas acessível, por designs instrucionais mais flexíveis e com

elementos mais conectados ao dia a dia. Certamente essa estrutura favorece uma aprendizagem mais contextualizada e o conhecimento formal deixa de ser o foco, como nas instruções mais tradicionais. E isso implica em construção de conhecimentos distintos, tendo em vista a mudança do enfoque.

Dessa forma, entender de forma mais consistente os resultados de aprendizagem dessa estratégia, que no caso desse estudo aponta para o favorecimento da consolidação de um tipo de entendimento em relação a outro, é imprescindível para que decisões metodológicas no âmbito de ensino sejam mais assertivas. É preciso que achados dessa natureza informem o campo da práxis para que os materiais instrucionais, as abordagens e os métodos sejam adotados em conformidade com os objetivos de ensino traçados nos mais diversos contextos educacionais.

Referências

AMANTES, A.; BORGES, O. O uso da Taxonomia SOLO como ferramenta metodológica na pesquisa educacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2008, Belo Horizonte. *Anais [...]* Belo Horizonte: FAE/UFMG, 2008. v. único, p. 1–12. Disponível em: <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p678.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2025.

AMANTES, A.; OLIVEIRA, E. A construção e utilização de sistemas de categorias para avaliar a compreensão dos alunos. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, p. 61–79, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/SCSCXZDHqgDBHHsSMpcJJgJ/?lang=pt>. Acesso em: 26 dez. 2025.

AMANTES, R. F.; OLIVEIRA, M. E. Taxonomia SOLO: uma abordagem para avaliação da aprendizagem. *Educação em Pesquisa*, v. 38, n. 2, p. 423–442, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/SCSCXZDHqgDBHHsSMpcJJgJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 jan. 2026.

BIGGS, J.; COLLIS, K. *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press, 1982.

COMMONS, M. L. et al. Hierarchy and complexity in the development of human cognition. In: DEMETRIOU, A.; SHAYER, M.; EFKLIDES, A. (org.). *Neo-Piagetian theories of cognitive development*. London: Routledge, 2008. p. 237–268.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. B. *Neurociência e educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre: Artmed, 2011.

DAWSON, T. L. The LECTICA Assessment System. 2004. Disponível em: <https://www.lecticalive.org>. Acesso em: 27 dez. 2025.

FISCHER, K. W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, v. 87, n. 6, p. 477–531, 1980.

FISCHER, K. W.; BIDELELL, T. R. Dynamic development of action, thought, and emotion. In: DAMON, W.; LERNER, R. M. (org.). *Handbook of child psychology*. 6. ed. New York: Wiley, 2006. v. 1, p. 313–399.

HODSON, D. Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals of School Science. *International Journal of Science Education*, 2014.

LENT, R. *O cérebro aprendiz: neuroplasticidade e educação*. Rio de Janeiro: Atheneu, 2019.

LIMA, L. C. de M.; MELO, C. V. S. de; ALMEIDA, M. T. P. de; CERQUEIRA, G. S. Metodologias ativas no ensino de ciências com role play games: revisão integrativa de literatura. *Revista de Educação, Artes e Ciências*, v. 25, p. 103–114, 2025. DOI: <https://doi.org/10.29276/redapeci.2025.25.121767.103-114>.

MAZUR, E. *Peer Instruction: a user's manual*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

MILLAR, R.; OSBORNE, J. *Beyond 2000: science education for the future*. London: King's College London, 1998.

MOL, S. M.; MATOS, D. A. S. Uma análise da taxonomia SOLO: aplicações na avaliação educacional. *Estudos em Avaliação Educacional*, v. 30, n. 75, p. 722–747, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18222/ea.v30i75.6593>.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, v. 93, n. 3, p. 223–231, 2004.

SILVA, B. P. da; VIDMAR, M. P.; PASTORIO, D. P. Problem-Based Learning no ensino de física e de ciências: uma revisão sistemática da literatura. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 42, n. 2, p. 282–314, 2025.

VIEIRA, P. E. F.; OLIVEIRA, A. N. de. Contribuições do PRP para a formação inicial docente: um olhar sobre as metodologias ativas no ensino de Física. *Revista Ensino em Debate*, Fortaleza, v. 6, p. e2025015, 2025. DOI: 10.21439/2965-6753.v6.e2025015. Disponível em: <https://revistarede.ifce.edu.br/ojs/index.php/rede/article/view/112>. Acesso em: 26 dez. 2025.

ZANON, L. B.; RATCLIFFE, M. Questões sociocientíficas e o ensino de ciências. In: _____. *Ensino de Ciências: tópicos de atualidade*. 2013.

CAPÍTULO 6: NEUROCIÊNCIA E ENSINO: INVESTIGANDO A CARGA COGNITIVA DE ABORDAGENS BASEADAS EM METODOLOGIAS ATIVAS

NEUROSCIENCE AND TEACHING: ASSESSMENT OF COGNITIVE LOAD IN DIFFERENT ACTIVITIES USING ACTIVE METHODOLOGIES

RESUMO

O presente trabalho investigou as demandas cognitivas de atividades elaboradas na perspectiva de Metodologias Ativas, quando aplicadas sob a forma de uma sequência didática sobre eletricidade. A investigação fundamenta-se na Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), sendo a SD aplicada em seis aulas para 88 estudantes de licenciatura em Física. Ao final de cada aula, foi utilizada a escala de Paas para identificar a carga intrínseca (CI), estranha (CE) e pertinente (CP) de cada atividade. Os resultados mostraram que a CI oscilou conforme a complexidade das tarefas, atingindo seu valor mais alto na Aula 5, baseada em Aprendizagem Baseada em Problemas. A CE foi mais elevada nas atividades iniciais, mas apresentou redução ao longo da sequência, enquanto a CP apresentou crescimento em sua trajetória, indicando que o esforço cognitivo dos estudantes se direcionou progressivamente para a aprendizagem. Os achados trazem implicações em relação ao design das abordagens, cujos conteúdos e formato podem limitar e/ou potencializar a aprendizagem de acordo com o repertório cognitivo dos estudantes. **Palavras-chave:** Ensino de Física; Teoria da Carga Cognitiva; Metodologias Ativas; Design Instrucional.

ABSTRACT

This study investigated the cognitive demands of activities developed within the perspective of Active Methodologies when applied in the form of a didactic sequence on electricity. The research is grounded in Cognitive Load Theory (CLT), with the didactic sequence implemented over six classes involving 88 undergraduate Physics students. At the end of each class, the Paas scale was used to identify the intrinsic (IL), extraneous (EL), and germane (GL) cognitive loads associated with each activity. The results showed that IL varied according to task complexity, reaching its highest level in Lesson 5, which was based on Problem-Based Learning. EL was higher in the initial activities but decreased throughout the sequence, whereas GL showed a progressive increase, indicating that students' cognitive effort gradually shifted toward learning. The findings have implications for instructional design approaches, as content and format can either limit or enhance learning depending on students' cognitive repertoire.

Keywords: Physics Education; Cognitive Load Theory; Active Methodologies; Instructional Design.

1 Introdução

O movimento crescente de propostas de inovação no âmbito do ensino de Ciências tem reposicionado os estudantes no centro das práticas pedagógicas. Nesse contexto, as metodologias ativas têm ganhado destaque como estratégias centradas na participação efetiva do discente na construção do conhecimento. Tais abordagens caracterizam-se por propostas flexíveis e, frequentemente, híbridas, que buscam romper com modelos instrucionais predominantemente expositivos (Bacich; Moran, 2017). Contudo, a ênfase no protagonismo estudantil nem sempre é acompanhada de uma análise sistemática sobre as exigências

cognitivas impostas pelas tarefas, aspecto fundamental para compreender em que medida essas estratégias efetivamente contribuem para a aprendizagem, seja ela conceitual, procedimental ou atitudinal (Zabala, 1998).

Apesar da expressiva mobilização em torno dessas inovações, ainda são limitadas as evidências que explicitam como tais metodologias auxiliam a compreensão dos estudantes e sob quais condições elas favorecem a aprendizagem. Observa-se uma lacuna no que se refere à análise das demandas cognitivas impostas e à identificação dos elementos do design instrucional que podem tornar essas abordagens mais ou menos eficazes (Kirschner; Sweller; Clark, 2006; Mayer, 2009). Frequentemente, metodologias ativas são implementadas sem uma avaliação do nível de esforço mental exigido ou da adequação das atividades às limitações da memória de trabalho dos estudantes.

Uma teoria promissora para investigar esse aspecto é a Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), proposta por Sweller (1998) com base na compreensão da arquitetura cognitiva humana e desenvolvida a partir de conceitos teóricos relativos à memória de trabalho e à memória de longo prazo (Sweller; Van Merriënboer; Paas, 2019). Essa teoria busca elucidar de que maneira a carga de processamento de informações induzida por atividades de aprendizagem influencia a capacidade de processar novas informações e construir conhecimento na memória de longo prazo. A carga cognitiva pode ser definida como um construto multidimensional que representa a carga imposta ao sistema cognitivo em função da realização de uma tarefa específica (Paas et al., 2003; Paas; Van Merriënboer, 1994).

A TCCO parte do princípio de que a capacidade da memória de trabalho é limitada e de que a aprendizagem depende da forma como as informações são organizadas. No campo do design instrucional, essa teoria tem sido amplamente utilizada para orientar a elaboração de atividades que otimizem os recursos cognitivos, reduzindo cargas desnecessárias e favorecendo processos de aprendizagem profunda (Mayer, 2009; Sweller et al., 2019). Evidências indicam que abordagens que desconsideram essas limitações podem sobrecarregar o processamento de informações, comprometendo a compreensão conceitual, mesmo quando fundamentadas em propostas consideradas inovadoras (Kirschner; Sweller; Clark, 2006).

endo em vista a necessidade de avaliar em que medida as metodologias ativas são projetadas para atender às capacidades cognitivas dos estudantes, o presente trabalho analisa a carga cognitiva demandada pelas tarefas de uma sequência didática (SD), aplicada na forma de oficina sobre corrente elétrica e circuitos elétricos, desenvolvida sob a perspectiva das metodologias ativas. A investigação fundamenta-se à luz da Teoria da Carga Cognitiva para avaliar o esforço mental mobilizado durante a execução das tarefas, buscando oferecer

subsídios para o aprimoramento do design instrucional no ensino de Ciências. A partir desse cenário, o presente estudo busca responder em que medida diferentes atividades baseadas em metodologias ativas apresentam demandas relativas às cargas cognitivas intrínseca, estranha e pertinente; de licenciandos de Física, tendo como referência o esforço mental declarado por eles e o design das tarefas.

A relevância deste estudo reside na necessidade de transcender a discussão sobre a dicotomia entre ensino tradicional e ensino denominado como inovador, focalizando na contribuição dos processos neurocognitivos subjacentes. Embora as metodologias ativas sejam amplamente celebradas por proporcionar participação dos estudantes nas aulas, a ausência de um olhar analítico sobre a carga cognitiva pode resultar em atividades que, embora dinâmicas, sobrecarreguem a memória de trabalho. Ao integrar os pressupostos da neurociência cognitiva ao design instrucional, este artigo oferece subsídios para que educadores e pesquisadores planejem intervenções que respeitem os limites cognitivos dos sujeitos para aprender. Desse modo, busca-se contribuir para um ensino de Ciências baseado em evidências, no qual a inovação pedagógica seja acompanhada de eficiência instrucional.

2 Teoria da Carga Cognitiva e Design Instrucional

A Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), proposta originalmente por John Sweller no final da década de 1980, fundamenta-se na arquitetura cognitiva humana, especialmente nas limitações da memória de trabalho durante o processamento de novos conteúdos. De acordo com essa perspectiva, a memória de trabalho possui capacidade restrita tanto em volume de informações quanto em tempo de processamento, enquanto a memória de longo prazo apresenta capacidade ilimitada, sendo responsável pelo armazenamento de esquemas de conhecimento (Sweller, 1988; Sweller; Ayres; Kalyuga, 2011). Nessa perspectiva, a aprendizagem ocorre quando esses esquemas são construídos, refinados e automatizados, processo que depende diretamente da organização das informações e das tarefas no percurso instrucional.

A TCCO descreve como a carga imposta por uma tarefa influencia a capacidade de consolidar conteúdos na memória de longo prazo. A teoria postula a existência de três tipos de carga cognitiva, os quais atuam de forma interdependente:

1. **Carga cognitiva intrínseca** (*Intrinsic Load* – CI): relacionada à complexidade inerente do conteúdo e à interação entre os conhecimentos prévios do estudante e a tarefa;
2. **Carga cognitiva Estranha** (*Extraneous Load* – CE), ou “extrínseca”: relacionada a elementos instrucionais que não contribuem para a aprendizagem, os chamados “ruídos”, e que devem ser minimizados por um design instrucional eficiente;

3. **Carga cognitiva Pertinente** (*Germane Load* – CP): referente ao esforço mental dedicado especificamente à construção e à automação de esquemas mentais (Sweller; Van Merriënboer; Paas, 2019).

Pode-se afirmar que a carga cognitiva é uma demanda que emerge da relação entre as exigências de uma tarefa e as capacidades cognitivas do indivíduo durante sua interação com ela. Por se tratar de um fenômeno multicausal, abarca tanto as propriedades estruturais da atividade quanto o funcionamento das funções executivas do indivíduo. Nesse cenário, a presença de ruídos instrucionais ou de elementos distratores eleva a carga cognitiva estranha, constituindo um obstáculo ao processamento da informação. Assim, o planejamento de estratégias educacionais deve considerar o gerenciamento dessas variáveis, de modo a alinhar as demandas da tarefa aos objetivos pedagógicos (Sweller; Van Merriënboer; Paas, 2019).

À luz desse referencial, o design instrucional tem como objetivo central minimizar a carga estranha, favorecendo a alocação de recursos cognitivos para a carga pertinente. Estudos indicam que materiais mal estruturados ou instruções ambíguas podem sobrecarregar a memória de trabalho, comprometendo a aprendizagem, mesmo em propostas pedagógicas que valorizam a participação ativa dos estudantes (Kirschner; Sweller; Clark, 2006; Mayer, 2009). Assim, a efetividade de uma abordagem não depende exclusivamente do nível de participação do estudante, mas também da organização racional das informações apresentadas.

No campo do ensino de Ciências, a TCCO tem sido amplamente utilizada para fundamentar o desenvolvimento e a avaliação de sequências didáticas e de atividades diversas. Pesquisas indicam que propostas alinhadas aos princípios da teoria tendem a promover melhores resultados, ao favorecer a compreensão conceitual e reduzir esforços cognitivos improdutivos (De Jong, 2010; Mayer, 2014). Dessa forma, a TCCO oferece um arcabouço robusto para orientar o design instrucional, potencializando a aprendizagem ao considerar explicitamente as limitações cognitivas do aprendiz.

3 Mensuração da Carga Cognitiva

A mensuração da carga cognitiva é um campo em expansão que oferece subsídios relevantes para diversas áreas acadêmicas. Sua aplicação é fundamental na Psicologia para delimitar aspectos psicológicos gerais, visto que está vinculada ao pensamento lógico e às respostas emocionais. Na Educação, essa mensuração viabiliza desde a criação de ambientes de aprendizagem otimizados até a investigação aprofundada dos processos cognitivos dos estudantes (PAAS; RENKL; SWELLER, 2003).

Segundo Oliveira e Moreira (2016), a Teoria da Carga Cognitiva foca no desenvolvimento de materiais instrucionais que facilitem a aprendizagem. Complementarmente, Dan e Reiner (2015) afirmam que estudos dessa natureza fornecem métodos para avaliar variáveis que aprimoram as estratégias de ensino, adaptando-as ao estado cognitivo contínuo do aluno. Para que tais adaptações sejam fundamentadas empiricamente, torna-se necessário instrumentos capazes de mensurar as cargas cognitivas associadas aos materiais e às tarefas de aprendizagem. Uma das formas mais utilizadas para essa avaliação consiste na aplicação de escalas psicométricas, prática amplamente consolidada na Psicologia e incorporada aos estudos em Educação.

Na Psicologia, as escalas são instrumentos essenciais para quantificar traços latentes, como atitudes, carga de trabalho e habilidades, permitindo que fenômenos complexos e abstratos sejam analisados de forma sistemática. De acordo com Stevens (1968), uma escala atribui valores numéricos a fenômenos psicológicos sob regras rigorosas, assegurando correspondência lógica entre o observável e os dados estatísticos.

Um dos métodos difundidos para avaliar a carga cognitiva é a escala NASA-TLX (*Task Load Index*), desenvolvida pelo *Human Performance Group* da NASA (Hart, 1988). Originalmente concebido para contextos operacionais de alta exigência, como a aviação, o instrumento fundamenta-se na natureza multidimensional da carga de trabalho. Sua avaliação abrange seis dimensões distintas: a demanda mental, relativa ao esforço de raciocínio e à tomada de decisão; a demanda física, que se refere à intensidade da atividade motora; e a demanda temporal, associada à pressão exercida pelo ritmo da tarefa.

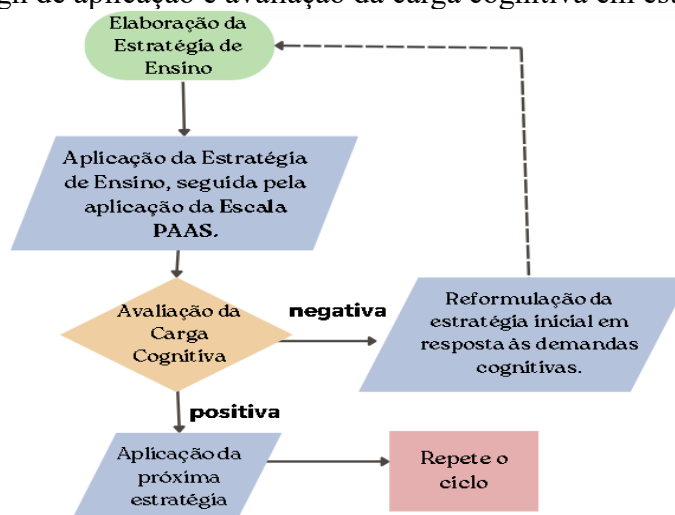
Além dessas, o método considera o esforço, representando o empenho total (mental e físico) despendido; o desempenho, que mensura a satisfação do sujeito com seus resultados; e o nível de frustração, que identifica reações emocionais como estresse ou irritação. Na prática, a NASA-TLX é frequentemente aplicada após testes psicométricos de memória, como o *Counting Span*, permitindo mensurar funções executivas, como a memória de trabalho, assim como a capacidade de processamento de informações em intervalos de tempo determinados.

A carga cognitiva é comumente mensurada por meio de escalas numéricas do tipo Likert, podendo os dados serem submetidos a diferentes métodos em análises estatísticas. No contexto educacional, um dos instrumentos mais difundido foi proposto por Paas (1992), solicitando que os sujeitos quantifiquem o esforço mental despendido durante o processo de aprendizagem. Ao longo dos anos, essa escala evoluiu para aumentar sua sensibilidade às variáveis contextuais e individuais dos estudantes.

Nesse processo de aperfeiçoamento, Leppink et al. (2013) desenvolveram um instrumento, conhecido como Escala Paas, capaz de distinguir os três componentes da carga cognitiva: intrínseca (CI), estranha (CE) e pertinente (CP). A aplicação da Escala Paas, por sua vez, deve ocorrer imediatamente após a atividade instrucional, seja ela uma aula, palestra ou treinamento de habilidades. A partir dessa aplicação, a mensuração precisa dos três tipos de carga cognitiva auxilia na compreensão de como os diferentes formatos instrucionais e as características dos alunos influenciam o desempenho escolar. Adicionalmente, o instrumento permite detectar alunos com dificuldades específicas que fogem ao padrão da turma, demandando suporte individualizado. Por fim, no âmbito curricular, a escala é válida para verificar se a complexidade prevista nos conteúdos corresponde à capacidade cognitiva real dos estudantes, fornecendo subsídios para a reformulação de planos de ensino.

Souza e Amantes (2025) sugerem uma estrutura de design para aplicação e avaliação da carga cognitiva em estratégias de ensino a partir do uso da Escala Paas, representada na Figura 1. Essa estrutura organiza, de forma sequencial, as etapas de planejamento, aplicação da estratégia de ensino e avaliação da carga cognitiva ao longo do processo instrucional. A análise dos resultados obtidos possibilita diagnosticar quais aspectos das tarefas representaram os maiores desafios para o grupo, permitindo a formulação de abordagens mais eficazes.

Figura 1: Design de aplicação e avaliação da carga cognitiva em estratégia de ensino



Fonte: Souza e Amantes (2025).

Conforme ilustrado na Figura 1, o processo inicia-se com a elaboração de uma estratégia de ensino, como, por exemplo, uma Sequência Didática (SD) construída na perspectiva de metodologias e da utilização de recursos tecnológicos. Em seguida, ao fim de cada aula dessa sequência didática, os estudantes são convidados a responder à escala PAAS sobre o esforço

mental investido na aula. A partir dos resultados, pode-se identificar qual aspecto de cada tarefa apresentou maior obstáculo à aprendizagem para a maioria dos estudantes, o que direciona a formulação de estratégias de ensino adequadas a esses sujeitos. Além disso, os resultados também podem ser empregados na identificação de sujeitos com dificuldades distintas daquelas consideradas padrão para a turma, apontando para a necessidade de orientações instrucionais individuais. Por fim, é possível, a partir dessa escala, avaliar se o que é esperado do ponto de vista curricular, em termos de obstáculos de aprendizagem, corresponde ao que é demarcado em relação à capacidade cognitiva avaliada, o que também aponta para a reformulação de estratégias e abordagens mais adequadas.

4 Método

A metodologia deste estudo foi organizada em três etapas: Descrição da Intervenção Didática (SD), sujeitos e contextos, e Instrumentos Avaliativos.

4.1 Intervenção Didática



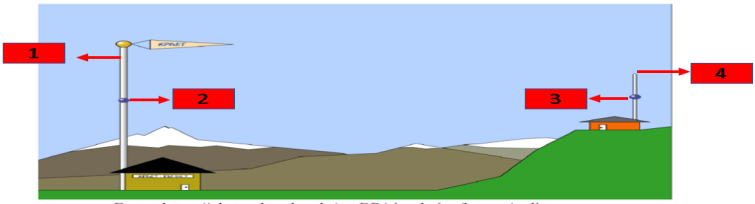
A Sequência Didática (SD) *Entendendo o celular: entre correntes e circuitos* foi desenvolvida sob a perspectiva das metodologias ativas e estruturada em formato de oficina, composta por seis aulas de 50 min cada, a oficina ocorreu em três encontros, com duração de 100 minutos cada, totalizando seis aulas. O funcionamento do aparelho celular foi adotado como tema central e como ponte pedagógica para a discussão dos conceitos de corrente elétrica e circuitos.











O material instrucional é composto por três produtos: o caderno do aluno, o guia do professor e um site interativo. A narrativa é conduzida pelos personagens Celuquinho e Eletrikarla, que utilizam uma linguagem acessível, apresentada em formato de tirinhas, para introduzir os desafios propostos. As metodologias empregadas ao longo da Sequência Didática foram selecionadas de modo a favorecer o protagonismo discente e a construção progressiva dos conceitos de corrente elétrica e circuitos, articulando diferentes abordagens ativas de aprendizagem.

Inicia-se com o Estudo de Caso, que mobiliza conhecimentos prévios e promove a problematização histórica e tecnológica do uso do celular. Na Aula 2, foi utilizada a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), que estimula a investigação dos componentes internos do aparelho por meio da observação direta. Em seguida, a Aula 3 adotou a Aprendizagem Baseada em Simulação (SBL), permitindo a exploração controlada de fenômenos relacionados à comunicação e à propagação de sinais das antenas. Já na Aula 4, a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL-proj.) promoveu a aplicação prática dos conceitos

elétricos na construção de circuitos com materiais de baixo custo, como LED, papel alumínio e pilhas. Posteriormente, na Aula 5, a PBL foi novamente utilizada para consolidar conceitos associados a carregadores e baterias, por meio da resolução de situações-problema e de atividades lúdicas. Por fim, a Aula 6 consistiu em uma revisão utilizando a Gamificação, que integra e sintetiza os conhecimentos trabalhados ao longo da SD por meio de desafios conceituais e lógicos, exigindo a mobilização articulada dos conteúdos abordados. As características específicas de cada aula, bem como suas atividades correspondentes, estão sistematizadas no Quadro 1.

Quadro 1: Características das aulas da Sequência Didática (SD)

Aula	Tema e Metodologia	Atividade proposta
1	<p>Tema: <i>Do telefone ao 5G no celular: o que mudou no mundo?</i></p> <p>Metodologia: Estudo de Caso</p>	<p>O Viajante do Tempo: Análise da viabilidade técnica de um celular de 2024 funcionar em 1943, discutindo infraestrutura e compatibilidade de sinal com base em uma imagem viral de um suposto viajante do tempo.</p> 
2	<p>Tema: <i>Por dentro do celular, entre símbolos e circuitos.</i></p> <p>Metodologia: Aprendizagem Baseada em problema (ABP)</p>	<p>Dissecção Tecnológica: Desmontagem de aparelhos antigos para identificação de componentes internos (antenas, placas, baterias). O foco reside no processo de investigação científica e observação direta.</p> 
3	<p>Tema: <i>Como ocorre a ligação do celular?</i></p> <p>Metodologia: Aprendizagem Baseada em Simulação (SBL)</p>	<p>Laboratório Virtual: Uso do simulador PhET para manipular variáveis de ondas eletromagnéticas e compreender o funcionamento e o alcance das torres e antenas de telefonia de celular e a codificação de sinais analógicos e digitais.</p>  <p>Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/radio-waves</p>

<p>4</p>	<p>Tema: <i>Como funciona a tela touchscreen do celular?</i></p> <p>Metodologia: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP-proj.)</p>	<p>Circuitos de Papel: Construção de circuitos em série e paralelo utilizando papel alumínio, LEDs e baterias para testar a condutividade e a queda de tensão em materiais alternativos.</p>  <p>PARA A REALIZAÇÃO DESSA ATIVIDADE, ACOMPANHE O QR CODE AO LADO.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="background-color: green; color: white; text-align: center; padding: 2px;">MATERIAIS NECESSÁRIOS</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  <p>PILHA MOEDA 3V</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PAPEL ALUMINIO</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">  <p>LED DIFUSO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>FITA ADESIVA</p> </div> </div> </div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="background-color: green; color: white; text-align: center; padding: 2px;">IMPORTANTE!</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>POSITIVO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>NEGATIVO</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">  <p>NEGATIVO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>POSITIVO</p> </div> </div> </div> </div> 
<p>5</p>	<p>Tema: <i>Como funcionam os carregadores e baterias?</i></p> <p>Metodologia: PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas).</p>	<p>Desafio da Carga: Resolução de situações-problema sobre bateria e carregamento do celular e uso do Triminó físico (quebra-cabeça triangular) para associar conceitos, unidades e fórmulas elétricas.</p> <div style="text-align: center;"> <h2 style="color: blue;">AVENTURAS NO CAMPING</h2> <p>Você e seus amigos estão planejando uma viagem de dois dias para um acampamento em um local onde não há acesso direto à eletricidade. O camping escolhido tem uma estrutura rústica e inclui no pacote da diária a disponibilização de um power bank para cada grupo. Apesar de toda animação da galera, a preocupação geral é saber como vão manter os celulares carregados nesses dois dias no camping.</p> <div style="background-color: yellow; padding: 10px; border-radius: 15px; display: inline-block;"> <p>Resolva o seguinte Problema:</p> <p>Como você e seus amigos podem otimizar o uso do power bank para garantir que seus celulares tenham energia suficiente durante toda a viagem?</p> </div>   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-top: 20px;">  <div style="text-align: center;"> <h2 style="color: red;">TRIMINÓ DA ELETRICIDADE</h2> </div>  </div>

6	<p>Tema: <i>Entre correntes e circuitos</i></p> <p>Metodologia: Gamificação</p>	<p>Escape Room e Crack the Circuit: Missão final com enigmas conceituais e lógicos, integrada ao jogo digital <i>Crack the Circuit</i>, onde o aluno deve montar sistemas complexos para permitir o fluxo da corrente.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.2 Sujeitos e Contextos

O estudo foi desenvolvido no âmbito do ensino superior, envolvendo discentes em formação inicial no curso de Física. A amostra, selecionada de forma intencional, compreendeu 88 acadêmicos matriculados até o quarto semestre letivo. Um critério fundamental para a seleção foi a não participação prévia (e nem durante a oficina) em disciplinas formais que envolvessem os conteúdos de Eletromagnetismo ou Circuitos Elétricos. Essa delimitação teve como objetivo assegurar que o conhecimento de base dos estudantes fosse predominantemente residual da educação básica, permitindo uma análise fidedigna da evolução conceitual proporcionada pela intervenção.

A pesquisa foi conduzida com estudantes do Instituto de Física de uma Universidade Federal e de um Instituto Federal, ambos localizados na região Nordeste. A intervenção pedagógica foi implementada por meio de uma oficina extracurricular. Em termos

demográficos, o grupo apresentou-se heterogêneo: composto por 68 homens e 20 mulheres, com faixa etária variando entre 18 e 56 anos.

4.3 Instrumentos de Coleta e Métodos de Análise

A coleta de dados foi realizada por meio da Escala Paas (Leppink et al., 2013) e do acompanhamento via diário de bordo. A análise adotou uma abordagem mista (quantitativa), centrada na mensuração e interpretação das cargas declaradas pelos estudantes durante a Sequência Didática (SD). O processo foi estruturado com base na aplicação da escala ao término de cada uma das seis aulas, permitindo o cruzamento entre esses dados e registros observacionais de diário de bordo.

4.3.1 Escala PAAS

A estrutura do da escala PAAS está detalhada no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2: Escala Paas (2013)

Um questionário de dez itens para a medição de Carga cognitiva Intrínseca (IL) (itens 1, 2 e 3), Carga cognitiva Extrínseca (EL) (itens 4, 5 e 6) e Carga cognitiva pertinente (GL) (itens 7, 8, 9 e 10). Todas as perguntas a seguir referem-se à atividade (palestra, aula, sessão de discussão, treinamento de habilidades ou sessão de estudo) que acabou de terminar. Por favor, responda a cada uma das perguntas na seguinte escala (0 significa que não é o caso e 10 significa que é totalmente o caso).

- [1] O/s tópico/tópicos abordado/s na atividade foi/eram muito complexo.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [2] A atividade abrangeu fórmulas que percebi como muito complexas.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [3] A atividade abordou conceitos e definições que percebi como muito complexos.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [4] As instruções e/ou explicações durante a atividade não foram muito claras.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [5] As instruções e/ou explicações foram, em termos de aprendizagem, muito ineficazes.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [6] As instruções e/ou explicações estavam cheias de linguagem pouco clara.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [7] A atividade realmente melhorou minha compreensão do/s tópico/s abordado/s.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [8] A atividade realmente melhorou meu conhecimento e compreensão de corrente e circuitos.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [9] A atividade realmente melhorou minha compreensão das fórmulas abordadas.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- [10] A atividade realmente melhorou minha compreensão de conceitos e definições.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Fonte: Traduzido de Leppink et al. (2013).

O instrumento é composto por dez itens, organizados em três grupos que correspondem aos diferentes tipos de carga cognitiva. Os três primeiros itens avaliam a carga intrínseca (CI), relacionada ao esforço mental necessário para lidar com a complexidade inerente do conteúdo e com a interação entre os conhecimentos prévios do estudante e a tarefa. Os itens 4, 5 e 6 mensuram a carga estranha (CE), refletindo obstáculos decorrentes da apresentação ou estrutura do material instrucional que não contribuem diretamente para a aprendizagem. Por fim, os quatro itens finais (7 a 10) avaliam a carga pertinente (CP), relacionada ao esforço cognitivo investido na integração de informações e na construção de esquemas que favorecem o aprendizado. Assim, o quadro organiza visualmente a correspondência entre os itens e os tipos de carga cognitiva, facilitando a compreensão do instrumento.

Complementarmente a essa escala, utilizou-se um diário de bordo para o registro de observações sistemáticas. Segundo Ludke e André (1986), esse instrumento é fundamental em pesquisas educacionais, pois permite capturar nuances do contexto que as métricas quantitativas isoladas podem não revelar.

4.3.2 Procedimentos de Análise Estatística

O tratamento dos dados da escala foi realizado em duas etapas principais, utilizando os *softwares* R e SPSS:

i. **Validação e calibração:** Inicialmente, utilizou-se o ambiente R para aplicar a Teoria de Resposta ao Item, modelo Multidimensional, com o emprego do pacote “*mirt*”. A escolha deste modelo justifica-se por sua robustez na avaliação de construtos latentes complexos (Reckase, 2009). Essa etapa permitiu confirmar a dimensionalidade da escala, verificando se os itens se agrupavam adequadamente nos três fatores teóricos (CI, CE e CP). Por meio do pacote *mirt* (Chalmers, 2012), as respostas ordinais foram transformadas em medidas intervalares, possibilitando a linearização da escala e garantindo maior precisão métrica.

ii. **Análise comparativa:** Uma vez obtidas as medidas, os dados foram exportados para o *software* SPSS (v.26). Nessa fase, realizou-se análise estatística descritiva e inferencial (teste *t* para amostras emparelhadas), com o objetivo de comparar as médias das cargas entre as seis aulas, identificando variações estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Esse procedimento permitiu mapear a trajetória das três cargas ao longo da intervenção e avaliar como as metodologias ativas aplicadas – Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), Gamificação, Simulações, Estudo de Caso, Aprendizagem por Descoberta, Rotação por Estações e Escape Room – impactaram o esforço mental dos discentes.

4.3.3 Interpretação das Cargas mediante diário de Bordo

Para interpretar os picos e quedas nas medidas de carga, identificados nas análises realizadas no SPSS, utilizamos os registros do diário de bordo. Essa triangulação possibilitou inferir as possíveis causas pedagógicas, para além do design e formato das atividades, das variações no esforço mental. Tal procedimento possibilitou fazer interpretações sobre os resultados da análise quantitativa a partir da descrição do contexto de sala de aula, além dos parâmetros relacionados ao nível de complexidade das atividades, à compreensão do objetivo proposto e aos diferentes níveis de cargas durante as tarefas.

5 Análise e Resultados

A análise foi dividida em duas etapas: (1) a validação da estrutura da escala por meio da Teoria de Resposta ao Item e (2) a análise das variações das cargas cognitivas ao longo das seis aulas.

5.1 Validação do Modelo e Ajuste da Escala

Antes das análises inferenciais, foi necessário confirmar se o modelo teórico de três fatores: Carga Intrínseca (CI), Carga Extrínseca (CE) e Carga Pertinente (CP), se ajustava aos dados coletados. Para isso, avaliamos os índices do teste de ajuste global M2 e o erro quadrático médio de aproximação (RMSEA).

Os resultados do comando *summary* e do teste M2 no *software* R demonstraram que a escala apresentou uma performance estatística robusta em todas as aulas conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Índices de Ajuste Global do Modelo Multidimensional (N=88)

Aula	Vari. Explicada	M2 (S-X ²)	gl	p-valor	RMSEA
Aula 1	82,70%	45,32	24	0,005	0,08
Aula 2	70,80%	38,15	24	0,033	0,09
Aula 3	86,30%	42,1	24	0,012	0,07
Aula 4	83,20%	47,88	24	0,003	0,08
Aula 5	80,30%	51,12	24	<0,001	0,1
Aula 6	81,50%	44,25	24	0,007	0,08

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Conforme a Tabela 1, o modelo explicou, em média, mais de 80% da variância total das respostas, um índice considerado elevado para escalas de autorrelato. O valor de p tenha se mostrado significativo o que é comum em amostras reais de modelos complexos, e o RMSEA manteve-se entre 0,07 e 0,10. Na prática da Teoria de Resposta ao Item (TRI), valores de RMSEA nessa faixa, combinados com a alta variância explicada, indicam um ajuste satisfatório

e validam a estrutura tridimensional da escala. Além disso, o ajuste constante, com 24 graus de liberdade ($gl = 24$), evidencia a estabilidade da estrutura fatorial em todas as medições.

5.2 Análise da Evolução das Demandas Cognitivas

A partir das medidas obtidas na modelagem conduzimos uma análise no software SPSS para investigar a trajetória das cargas em relação às diferentes atividades, realizando também testes para efeito de comparação de médias para a responder à seguinte questão: Em que medida diferentes atividades baseadas em metodologias ativas estão associadas a carga cognitiva (intrínseca, extrínseca e pertinente) de estudantes de Ciências, e como o design dessas tarefas impacta o esforço mental despendido? Para tanto, realizou-se a comparação das médias das três cargas (CI, CE e CP) entre as seis aulas, utilizando o teste t de amostras emparelhadas, com o objetivo de identificar diferenças significativas na trajetória da carga cognitiva.

Realizamos uma análise geral das demandas ao longo da intervenção, fundamentada na média das medidas intervalares correspondentes a cada um dos tipos de carga. Conforme os dados apresentados na Tabela 2, verifica-se, de maneira geral, um aumento no módulo da Carga Pertinente (CP) ao longo do tempo.

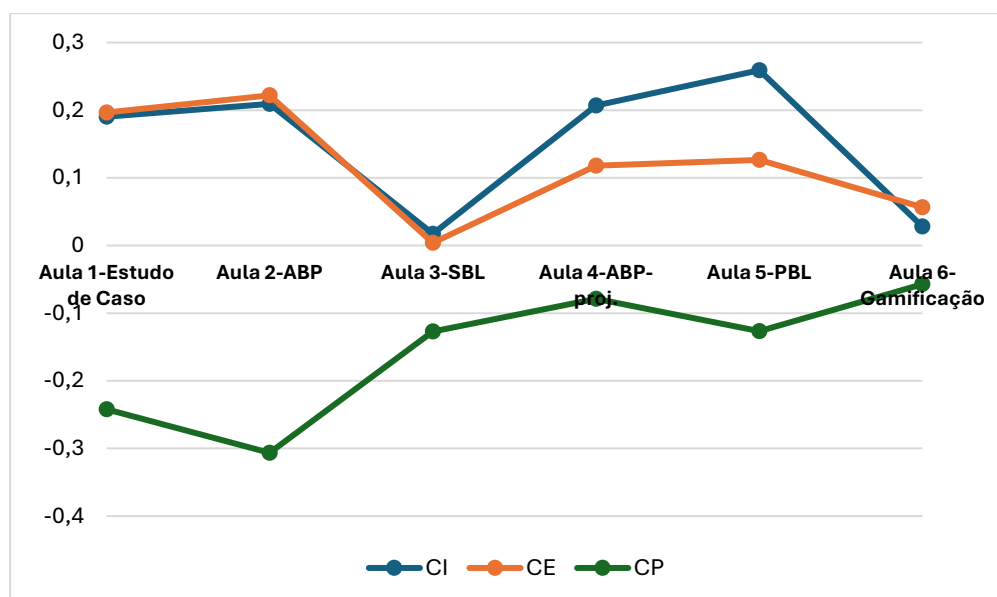
Tabela 2: Médias dos Escores Fatoriais por Aula

Carga	Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6
CI	0,190941	0,209396	0,012559	0,20683	0,247708	0,115728
CE	0,200554	0,223108	0,002946	0,117139	0,133285	0,062552
CP	-0,24274	-0,30747	-0,12753	-0,07839	-0,13328	-0,06255

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Nas aulas iniciais (Aulas 1 e 2), CE e CI apresentaram valores semelhantes, refletindo o baixo repertório prévio dos estudantes e a percepção de maior esforço decorrente da apresentação de novas informações, o que caracteriza uma carga estranha elevada. Na Aula 3, CI e CE registraram valores reduzidos, sugerindo que a atividade foi percebida como de baixa complexidade, permitindo um processamento cognitivo facilitado.

O Gráfico 1 ilustra a trajetória das cargas cognitivas ao longo das 6 aulas para as diferentes metodologias ativas, mostrando o crescimento gradual do módulo da CP e a sobreposição entre CE e CI nas primeiras aulas. Observa-se uma mudança substancial na Aula 3, caracterizada por baixos níveis de CI e CE. Esse perfil indica um momento em que a atividade foi percebida como de baixa complexidade, sugerindo que o conteúdo ou a tarefa proposta apresentava baixa carga estranha e que os estudantes possuíam repertório suficiente para interagir com a atividade sem muito esforço cognitivo, alcançando ganho de aprendizagem.

Gráfico 1: Trajetória das cargas cognitivas

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

*Nota: ABP= aprendizagem baseada em problema; SBL = Aprendizagem Baseada em Simulação; ABP.proj. = aprendizagem baseada em projetos

Do ponto de vista da Carga Intrínseca, que representa a complexidade inerente ao conteúdo e ao repertório cognitivo do estudante, podemos observar sua trajetória variável, na qual na aula 3 apresentou um valor de 0,017 (SD=0,950) (CI da Aula 3 – atividade no PhET utilizando a metodologia de Simulação Computacional) e seu valor mais alto na aula 5 CI= 0,259 (SD=0,836) (CI da Aula 5 – atividade sobre bateria, carregamento do celular e uso do Triminó utilizando a metodologia PBL), apresentando desvios padrão elevados ($\approx 0,7-1,0$), o que indica considerável variabilidade interindividual.

A Carga Estranha (CE) refere-se ao esforço adicional imposto pela forma de apresentação da informação e pela organização das tarefas, não sendo inerente ao conteúdo em si (Sweller, 1988; Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). Nos dados analisados, a CE apresentou seu menor valor na Aula 3 (0,003; DP = 0,858) e seu maior valor na Aula 2 (0,221; DP = 0,936), evidenciando ampla variabilidade interindividual na percepção do esforço mental associado aos aspectos instrucionais da sequência didática.

A CP apresentou seu menor valor na Aula 2 (atividade: CP = -0,306; SD = 1,07) e seu maior valor na Aula 6 (atividade de gamificação: CP = -0,057; SD = 0,941). A Aula 4 foi a segunda com maior valor de CP (-0,079; SD = 0,993), correspondendo à atividade de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP-proj.), na qual os alunos precisavam compreender como articular a ligação dos LEDs em série e paralelo, buscando conectar o maior número

possível de LEDs. Esses resultados indicam significativa variabilidade interindividual no grau de direcionamento dos recursos cognitivos para a aprendizagem. O aumento numérico dos valores da CP foi interpretado como indicativo de maior construção e automação de esquemas mentais.

Para investigar a diferença entre as cargas cognitivas (CI, CE e CP) em cada atividade, foram realizados testes *t* pareados no SPSS em cada aula, considerando 88 participantes.

Na Aula 1, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre CI1 e CE1 ($t = -0,177$; $p = 0,860$; $d = 0,51$), indicando níveis semelhantes de carga intrínseca e estranha. Em contrapartida, a CP1 diferiu significativamente tanto da CI1 ($t = -2,364$; $p = 0,020$; $d = 1,72$) quanto da CE1 ($t = 2,298$; $p = 0,024$; $d = 1,81$), com tamanhos de efeito elevados. Esses resultados indicam que, já na primeira aula, a carga pertinente se distinguiu das demais, sugerindo direcionamento específico dos recursos cognitivos para a aprendizagem.

Na Aula 2, novamente não houve diferença significativa entre CI2 e CE2 ($t = -0,218$; $p = 0,828$; $d = 0,59$). Contudo, a CP2 apresentou diferenças estatisticamente significativas em relação à CI2 ($t = -2,591$; $p = 0,011$; $d = 1,87$) e à CE2 ($t = 2,634$; $p = 0,010$; $d = 1,89$), ambas com tamanhos de efeito elevados. Esse padrão reforça a distinção da carga pertinente em atividades iniciais que exigiram maior esforço cognitivo direcionado à construção de esquemas.

Na Aula 3, nenhuma das comparações entre as cargas apresentou diferença estatisticamente significativa: CI3–CE3 ($t = 0,176$; $p = 0,861$; $d = 0,51$), CP3–CI3 ($t = -0,786$; $p = 0,434$; $d = 1,67$) e CE3–CP3 ($t = 0,696$; $p = 0,488$; $d = 1,76$). Apesar dos tamanhos de efeito elevados em algumas comparações, os valores de *p* indicam que essas diferenças não foram estatisticamente confiáveis, sugerindo elevada variabilidade interindividual.

Na Aula 4, também não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre CI4 e CE4 ($t = 1,503$; $p = 0,137$; $d = 0,56$), CP4 e CI4 ($t = -1,509$; $p = 0,135$; $d = 1,77$) e CE4 e CP4 ($t = 0,965$; $p = 0,337$; $d = 1,90$). Embora alguns tamanhos de efeito sejam elevados, a ausência de significância estatística sugere que as cargas cognitivas permaneceram relativamente equilibradas entre os estudantes durante a atividade de aprendizagem baseada em projetos.

Na Aula 5, apenas a comparação entre CP5 e CI5 apresentou diferença estatisticamente significativa ($t = -2,553$; $p = 0,012$; $d = 1,40$), indicando maior mobilização de recursos cognitivos para a construção de esquemas mentais. As comparações entre CI5 e CE5 ($t = 1,495$; $p = 0,139$; $d = 0,72$) e CE5 e CP5 ($t = 1,499$; $p = 0,137$; $d = 1,67$) não foram significativas.

Na Aula 6, nenhuma das comparações foi estatisticamente significativa: CI6–CE6 ($t = 0,627$; $p = 0,532$; $d = 0,80$), CP6–CI6 ($t = -1,011$; $p = 0,315$; $d = 1,65$) e CE6–CP6 ($t = 0,634$;

$p = 0,528$; $d = 1,85$). Esses resultados indicam estabilidade das cargas cognitivas durante a atividade final de gamificação, apesar da variabilidade interindividual observada.

A análise da evolução das demandas cognitivas ao longo da sequência didática evidencia padrões consistentes na trajetória das cargas intrínseca (CI), estranha (CE) e pertinente (CP), associadas às diferentes atividades baseadas em metodologias ativas. De modo geral, observa-se maior diferenciação entre os tipos de carga nas aulas iniciais, seguida por uma tendência de integração e estabilização nas aulas subsequentes, o que sugere um processo progressivo de reorganização cognitiva por parte dos estudantes.

Nas Aulas 1 e 2, CI e CE apresentaram valores próximos entre si, enquanto a CP se diferenciou significativamente dessas cargas. Esse padrão é compatível com o estágio inicial de contato dos estudantes com o conteúdo formal, no qual a compreensão simultânea dos conceitos, da linguagem técnica e da dinâmica das atividades demanda maior esforço da memória de trabalho. Tal comportamento é consistente com os pressupostos da Teoria da Carga Cognitiva, segundo os quais a carga cognitiva estranha tende a ser mais elevada nos momentos iniciais de aprendizagem, quando os estudantes ainda não dispõem de esquemas cognitivos consolidados para orientar o processamento da informação (Sweller et al., 2011). Assim, os valores iniciais mais elevados de CE observados na sequência não devem ser interpretados como falhas instrucionais isoladas, mas como um fenômeno esperado em contextos de introdução conceitual. A redução progressiva das diferenças entre os tipos de carga nas aulas subsequentes sugere a reorganização e a automação de esquemas cognitivos, compatíveis com a evolução do aprendizado.

A Aula 3 apresentou valores reduzidos de CI e CE, sem diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de carga, indicando que a atividade de simulação computacional foi percebida como de baixa complexidade instrucional e um aumento considerado de CP. Esse resultado sugere que o design da tarefa favoreceu um processamento cognitivo, possivelmente em função da estruturação da atividade e do alinhamento entre o nível de desafio proposto e o repertório prévio dos estudantes.

Nas Aulas 4 e 5, referentes a atividades de Aprendizagem Baseada em Projetos e Problemas, observou-se maior variabilidade interindividual e diferenças pontuais entre os tipos de carga, sobretudo envolvendo a CP. Esses resultados indicam que tarefas que exigem maior articulação conceitual e tomada de decisão tendem a mobilizar os recursos cognitivos voltados à construção e à reorganização de esquemas, ainda que essa mobilização não se manifeste de maneira homogênea entre os estudantes.

Por fim, na Aula 6, os resultados não indicaram diferenças estatisticamente significativas entre CI, CE e CP, sugerindo um cenário de maior equilíbrio entre as demandas cognitivas. Esse padrão pode ser interpretado como um indicativo de consolidação dos esquemas construídos ao longo da intervenção, no qual os estudantes conseguem direcionar seus recursos cognitivos de maneira mais eficiente para a aprendizagem, com menor impacto de demandas associadas à carga estranha.

Em conjunto, os resultados apontam para uma trajetória de aprendizagem caracterizada por um esforço cognitivo inicialmente mais elevado e fragmentado, seguido por uma progressiva integração das cargas, em consonância com os pressupostos da Teoria da Carga Cognitiva. Essa evolução reforça a importância do design instrucional na mediação das demandas cognitivas e na promoção de condições favoráveis à aprendizagem.

5.3 Análise das Demandas Cognitivas a partir do Diário de Bordo

A análise qualitativa dos registros do diário de bordo possibilitou interpretar a evolução das três dimensões da carga cognitiva: intrínseca (CI), estranha (CE) e pertinente (CP) ao longo das seis aulas. Essa abordagem detalhada permitiu identificar como diferentes atividades baseadas em metodologias ativas influenciaram o esforço mental dos estudantes, bem como quais fatores pedagógicos podem ter contribuído nos resultados sobre carga cognitiva.

O diário de bordo foi sistematizado de forma estruturada, registrando, para cada aula, a data, os principais pontos abordados, as ações dos estudantes durante as atividades e a metodologia aplicada em cada momento. Além disso, foram anotados registros sobre a participação dos alunos nas atividades propostas e eventuais dificuldades na interação com as tarefas.

A partir desses registros, foram selecionados dados específicos para interpretar o contexto de aprendizagem em cada aula, como as falas dos estudantes em relação às diferentes metodologias ativas, a forma como articulavam conceitos e resolviam tarefas e o nível de motivação nas atividades. Esses elementos possibilitaram compreender de que maneira o design das atividades influenciava o esforço cognitivo despendido pelos alunos e forneceram subsídios para analisar a evolução das cargas cognitivas ao longo da sequência didática.

Aula 1- Estudo de Caso

A análise das cargas mostra que, para a Aula 1, em que foi empregada a metodologia ativa de estudo de caso, foram observados os seguintes valores: CI = 0,190 (SD = 0,948), CE = 0,197 (SD = 0,911) e CP = -0,242 (SD = 0,950). Os valores de CI e CE próximos entre si

indicam que os estudantes, ainda iniciantes, mobilizaram esforço cognitivo semelhante para lidar com a complexidade do conteúdo e com os elementos extrínsecos da atividade, como instruções e organização da tarefa.

A carga intrínseca (CI) reflete a complexidade do conteúdo e a necessidade de mobilizar conhecimentos do repertório cognitivo. Para esta atividade, os estudantes precisavam compreender conceitos fundamentais sobre a tecnologia utilizada para o funcionamento do celular e comparar com a tecnologia da época da guerra e analisar se seria possível o funcionamento do celular naquela época, relacionado com conceitos de básicos de eletricidade. Como a maioria ainda estava em estágio inicial de aprendizagem, sem esquemas mentais consolidados, a CI apresentou valor elevado, indicando que cada nova informação exigia processamento isolado e esforço significativo da memória de trabalho.

A carga estranha (CE), que indica o esforço adicional imposto pela forma de apresentação da tarefa e pelas instruções, também apresentou valor elevado. Esse resultado está relacionado à dinâmica do estudo de caso, na qual os estudantes precisaram compreender simultaneamente o problema apresentado, a linguagem técnica e os procedimentos metodológicos. O relato de um estudante *“Não entendi direito o que precisava fazer antes da aula”* exemplifica como a falta de familiaridade com a metodologia contribuiu para aumentar a CE. Segundo a Teoria da Carga Cognitiva, esse cenário é esperado nos primeiros contatos com o conteúdo, quando os alunos ainda não possuem recursos cognitivos suficientes para organizar a informação de forma eficiente (Sweller; Ayres; Kalyuga, 2011).

Por fim, a carga pertinente (CP) indicou que, apesar das dificuldades iniciais, os estudantes direcionaram parte de seus recursos cognitivos à construção de esquemas conceituais. O valor da CP sugere que o estudo de caso, ao propor análise de situações contextualizadas, favoreceu discussões coletivas, tomada de decisão e articulação de conceitos, promovendo uma demanda de esforço mental para responder a tarefa e organizar o processamento de informação mesmo em meio à alta CI e CE.

Dessa forma, os resultados evidenciam que a metodologia ativa de estudo de caso exerce uma relação sobre as cargas cognitivas, ao mesmo tempo em que desafia os estudantes a mobilizar conhecimentos prévios e a organizar o processamento de informação de forma estratégica.

Aula 2- Aprendizagem Baseada em problema (ABP)

A segunda aula foi dedicada à atividade prática de desmontagem de aparelhos celulares antigos para identificação de componentes eletrônicos (microfones, antenas, resistores e

placas). Observou-se os seguintes valores: $CI = 0,209$ ($SD = 1,022$), $CE = -0,221$ ($SD = 0,936$) e $CP = -0,306$ ($SD = 1,0722$), um aumento expressivo na Carga Intrínseca (CI), que se elevou para 0,209, impulsionado pela curiosidade e pela motivação direta com o objeto de estudo. Relatos como *“Realizando um sonho em abrir um celular antigo”* e *“Achei o microfone! Não acredito que é feito de carvão”* demonstram alto envolvimento emocional e cognitivo; porém, a interatividade com elementos desconhecidos elevou a complexidade da tarefa.

A CE atingiu seu ápice na SD (0,221), o que pode ser explicado por dois fatores sob a ótica da TCCO:

i) **Demandas psicomotoras:** a falta de habilidade manual no manuseio de ferramentas de precisão para componentes miniaturizados atuou como um “ruído” instrucional, consumindo recursos da memória de trabalho que deveriam estar voltados à compreensão conceitual;

ii) **Desvio de foco:** o entusiasmo com a desmontagem física levou os estudantes a despenderem tempo excessivo na manipulação mecânica, em detrimento das associações teóricas propostas. Esse fenômeno demonstra que atividades práticas, embora motivadoras, podem elevar a carga estranha se a transição entre o “fazer” e o “refletir” não for rigidamente estruturada.

A Carga Pertinente (CP) apresentou crescimento moderado (0,306), evidenciado pelo esforço consciente de integrar os componentes físicos aos conceitos teóricos, como observado na dúvida: *“Gostei de descobrir onde ficava cada peça, mas não sabia para que servia o capacitor”*. Dúvidas como *“não sabia para que servia o capacitor”* e as discussões sobre a evolução tecnológica exigiram maior esforço cognitivo, forçando o estudante a despender recursos para integrar os objetos físicos aos conceitos teóricos da Física.

Aula 3- Laboratório Virtual

A análise das cargas mostra que, para a Aula 3, em que foi empregada a metodologia ativa de Aprendizagem Baseada em Simulação (SBL), foram observados os seguintes valores: $CI = 0,017$ ($SD = 0,897$), $CE = 0,003$ ($SD = 0,858$) e $CP = -0,127$ ($SD = 1,013$). Nesta aula, os estudantes utilizaram o simulador PhET para explorar o funcionamento das antenas de celular e a codificação de sinais analógicos e digitais. Observa-se uma redução acentuada da carga intrínseca (CI), indicando que os estudantes já possuíam repertório cognitivo suficiente sobre o conteúdo abordado para responder a tarefa. Além disso, a interface intuitiva e interativa do simulador contribuiu para diminuir a complexidade do processamento necessário, facilitando a compreensão de conceitos que, sem essa mediação, poderiam demandar maior esforço cognitivo.

A carga estranha (CE) atingiu seu valor mais baixo, sugerindo que o design instrucional da atividade foi eficiente em direcionar a atenção dos estudantes para os elementos essenciais do aprendizado, minimizando distrações ou esforços desnecessários relacionados à forma de apresentação ou à organização da tarefa. Características como instruções claras, feedback imediato do simulador e interface visualmente estruturada favoreceram a redução dessa carga extrínseca.

A carga pertinente (CP), embora numericamente menor do que em algumas aulas anteriores, evidenciou que os estudantes direcionaram seu esforço cognitivo de forma estratégica para a construção de esquemas conceituais. Esse direcionamento é perceptível nas perguntas feitas pelos alunos ao longo da aula, como: “*Como as antenas do celular afetam nossa saúde?*”, “*Como montanhas e prédios interferem no sinal do celular?*”, “*Por que perco o sinal do celular ao viajar na rodovia?*”, “*O sinal funciona igual para ligações internacionais?*” e “*Por que no térreo do Instituto de Física o celular não funciona?*”. Esses questionamentos demonstram que o design da atividade incentivou extrapolações conceituais, promovendo aprendizagem além da tarefa imediata.

O resultado observado na CP também está relacionado ao posicionamento da Aula 3 na sequência didática: após duas aulas anteriores, os estudantes já haviam adquirido certo repertório sobre circuitos e metodologias ativas, o que facilitou a construção de novos esquemas mentais. Dessa forma, o baixo CE, aliado à CI reduzida e à presença de CP, reflete um momento de aprendizagem em que o esforço cognitivo foi concentrado no que realmente importa para a compreensão do conteúdo, indicando que a simulação funcionou como mediadora eficaz do aprendizado.

Aula 4- Metodologia: Aprendizagem Baseada em Projetos

A análise das cargas mostra que, para a Aula 4, em que foi empregada a metodologia ativa de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP-proj.), foram observados os seguintes valores: $CI = 0,206$ ($SD = 0,977$), $CE = 0,118$ ($SD = 0,948$) e $CP = -0,079$ ($SD = 0,993$). Nesta aula, os estudantes construíram circuitos utilizando papel-alumínio, LEDs e baterias, com desafios de apresentar a melhor maneira de acender o maior número possível de LEDs nos diferentes tipos de circuitos.

O aumento da carga intrínseca (CI) em relação à aula anterior reflete a complexidade inerente à atividade, que exigiu planejamento, experimentação e resolução de problemas em tempo real. O relato de um estudante “*Cada tentativa me ajudou a entender melhor o circuito*”

exemplifica o processo de tentativa e erro, indicando que a atividade promoveu construção ativa e reorganização de esquemas conceituais.

A carga estranha (CE) permaneceu relativamente baixa, sugerindo que o design da tarefa foi eficaz em direcionar a atenção dos estudantes para os elementos essenciais da atividade, sem introduzir sobrecargas desnecessárias relacionadas à forma de apresentação ou instruções confusas. Elementos como orientação clara do professor, materiais disponíveis e objetivos bem definidos ajudaram a manter a carga extrínseca sob controle.

A carga pertinente (CP), por sua vez, indica que os estudantes mobilizaram seus recursos cognitivos para aplicar conceitos teóricos à prática experimental. O esforço de planejar, testar e ajustar os circuitos em colaboração com os colegas reforçou a aprendizagem, evidenciando que a metodologia baseada em projetos favorece o direcionamento estratégico da atenção e do esforço cognitivo para a construção de conhecimento.

Além disso, o posicionamento da Aula 4 na sequência didática contribuiu para que os estudantes já possuíssem repertório prévio adquirido nas aulas anteriores, permitindo que o esforço cognitivo fosse mais focado na aplicação prática e no aprofundamento conceitual, e não apenas na compreensão de novos conteúdos. Dessa forma, a combinação de CI moderada, CE controlada e CP relevante evidenciam que a ABP-proj. funcionou como um mediador da aprendizagem, equilibrando desafio e participação ativa dos estudantes na tarefa sem sobrecarregar a memória de trabalho.

Aula 5- Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP)

Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), foram observados os seguintes valores: CI = 0,259 (SD = 0,723), CE = 0,126 (SD = 0,836) e CP = -0,126 (SD = 0,836). Nesta aula, os estudantes participaram da resolução de situações-problema envolvendo bateria, carregamento de celular e uso do Triminó para associar conceitos, unidades e fórmulas elétricas.

O maior valor de carga cognitiva intrínseca (CI) registrado nesta aula reflete a complexidade inerente à atividade, que exigiu a integração de conhecimentos sobre segurança de baterias, princípios de funcionamento de circuitos e simbologias elétricas. O recurso didático Triminó, concebido como um jogo do tipo mosaico, estimulou a associação entre unidades de medida, aplicações tecnológicas e elementos de circuitos elétricos, aumentando a interatividade e a demanda cognitiva da tarefa. Relatos de estudantes, como *“Minha equipe sabe o que é curto-circuito, mas não lembro o símbolo correto!”*, ilustram o esforço necessário para organizar e aplicar os conhecimentos, ao mesmo tempo em que evidenciam lacunas no repertório prévio.

Apesar do aumento da CI, a carga cognitiva estranha (CE) permaneceu relativamente baixa, sugerindo que o repertório cognitivo adquirido nas aulas anteriores contribuiu para reduzir possíveis ruídos instrucionais. Isso indica que os estudantes conseguiram lidar com a complexidade da tarefa de forma mais eficiente, sem sobrecarga decorrente da apresentação ou da organização das atividades.

A carga pertinente (CP), por sua vez, evidencia que o esforço cognitivo dos estudantes favoreceu a integração de representações simbólicas, a resolução de problemas e a reorganização conceitual necessária à construção de esquemas mentais relacionados aos conteúdos científicos abordados. O elevado valor de CP indica que a metodologia ativa empregada promoveu um direcionamento do repertório cognitivo e do esforço, permitindo que os estudantes aplicassem o conhecimento adquirido, consolidando e expandindo seu repertório conceitual.

Em síntese, a Aula 5 demonstra como a combinação da ABP com recursos lúdicos pode aumentar a complexidade intrínseca e favorecer o direcionamento da carga cognitiva para a aprendizagem, mantendo a carga estranha sob controle.

Aula 6- Gamificação

Observou-se uma queda na CI (0,027) e na CE (0,056). Segundo a TCCO, essa redução indica que os estudantes deixaram de ser “iniciantes” no tema, apresentando conhecimentos mais consolidados e parcialmente automatizados.

A análise das cargas mostra que, para a Aula 6 a última aula, em que foram empregadas estratégias gamificadas, incluindo escape room e um jogo digital sobre circuitos, foram observados os seguintes valores: CI = 0,027 (SD = 0,913), CE = 0,056 (SD = 0,924) e CP = -0,057 (SD = 0,941). Nesta aula, os estudantes revisaram os conteúdos abordados ao longo da sequência didática por meio de atividades lúdicas e interativas, promovendo motivação para desenvolver a atividade e aplicação prática dos conceitos de circuitos elétricos.

O valor reduzido da carga cognitiva intrínseca (CI) indica que, neste ponto da sequência, os estudantes já possuíam repertório consolidado sobre os conteúdos, permitindo que realizassem as tarefas com maior facilidade. Relatos como “*Agora consigo montar o circuito rápido sem ajuda*” evidenciam a automatização de esquemas mentais, sinalizando que o esforço necessário para processar os conceitos centrais do conteúdo diminuiu.

A carga cognitiva estranha (CE) também apresentou valores baixos, refletindo a clareza das instruções e o design bem estruturado das atividades gamificadas. O formato da aula, com tarefas lúdicas e autoexplicativas, contribuiu para minimizar elementos de confusão ou ruídos

instrucionais, permitindo que os estudantes direcionassem seus recursos cognitivos diretamente à aprendizagem.

A carga pertinente (CP), embora levemente negativa (-0,057), indica que o esforço cognitivo dos estudantes permaneceu direcionado à construção e aplicação de conhecimentos, principalmente na resolução de desafios e na exploração das relações entre diferentes tipos de circuitos. Os comentários dos estudantes, como “*Nossa, muito bom esse jogo, realmente consigo visualizar a aplicação de um circuito paralelo*”, sugerem que as atividades gamificadas favoreceram a integração de conhecimentos prévios com novas experiências.

Em síntese, a Aula 6 demonstra que a gamificação, quando bem planejada, permite consolidar conhecimentos previamente adquiridos, reduzindo a carga intrínseca e extrínseca e direcionando o esforço cognitivo para a aprendizagem, segundo a TCCO, essa redução indica que os estudantes deixaram de ser “iniciantes” no tema, apresentando conhecimentos mais consolidados e parcialmente.

6 Considerações Finais

O presente estudo investigou as cargas cognitivas demandadas pelas tarefas de uma sequência didática, aplicada na forma de oficina sobre corrente elétrica e circuitos elétricos e estruturada com metodologias ativas.

Os resultados mostram que a Carga Intrínseca (CI) variou conforme a complexidade das atividades. A Aula 5 (Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP) apresentou o maior valor de CI (0,259; SD = 0,723), enquanto a Aula 3 (Simulação Computacional – SBL) registrou CI reduzida (0,017; SD = 0,897), indicando que possivelmente nesta aula os estudantes apresentavam um aumento no repertório cognitivo e a interface intuitiva do simulador reduziram a complexidade intrínseca do conteúdo.

A Carga Estranha (CE) apresentou valores mais elevados nas atividades iniciais, como na Aula 1 (Estudo de Caso, CE = 0,197; SD = 0,911), momento em que os estudantes precisaram lidar com conceitos novos, compreender instruções e organizar informações ainda pouco familiares. Ao longo da sequência, observou-se uma tendência de redução da CE, mantendo-se baixa na Aula 6 (Gamificação, CE = 0,056; SD = 0,924), indicando que os estudantes adquiriram maior familiaridade com os recursos e, sobretudo, maior domínio do conteúdo, permitindo uma alocação mais adequada dos recursos cognitivos.

A Carga Pertinente (CP) destacou-se em atividades que exigiam aplicação prática, como na aula 3 (metodologia de Aprendizagem baseada em Simulações-SBL CP= -0,127; SD= 1,01 e na aula 4 (metodologia de aprendizagem baseada em projetos -ABP-proj. CP = -0,079; SD =

0,993) e na aula 5 (metodologia de aprendizagem baseada em problema (ABP) $CP = -0,126$; $SD = 0,836$), indicando que os estudantes mobilizaram em maior grau os recursos mentais para integrar conceitos. Em simulações e gamificação, a CP manteve-se alta em relação à CE, mostrando que o esforço mental foi utilizado para construção de esquemas mentais e construção do conhecimento.

Observamos uma mudança substancial na Aula 3, caracterizada por baixos níveis de CI e CE, concomitantes a um aumento acentuada da CP. Esse perfil indica um momento em que a atividade foi percebida como de baixa complexidade, sugerindo que o conteúdo ou a tarefa proposta apresentava baixa carga estranha e que os estudantes possuíam repertório suficiente para interagir com a atividade sem muito esforço cognitivo, alcançando ganho de aprendizagem.

Os resultados deste estudo contribuem para a literatura ao abordar como diferentes metodologias ativas influenciam a distribuição das cargas cognitivas em estudantes de licenciatura em Física. Metodologias como ABP e ABP-proj. mostraram-se promissoras para direcionar o esforço cognitivo para a Carga Pertinente (CP), promovendo a construção de esquemas mentais. Trabalhos futuros podem expandir essa aplicação e análises para outros públicos e níveis de ensino, permitindo avaliar se os padrões observados se repetem e se as metodologias ativas continuam a desempenhar um papel na gestão das cargas cognitivas.

Referências

BACICH, L.; MORAN, J. *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2017. E-book.

CHALMERS, R. P. mirt: A Multidimensional Item Response Theory Package for the R Environment. *Journal of Statistical Software*, v. 48, n. 6, p. 1–29, 2012.

CLARK, R. E.; NGUYEN, F.; SWELLER, J. *Efficiency in learning: evidence-based guidelines to manage cognitive load*. [S.l.]: Pfeiffer, 2006.

DE JONG, T. Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, Dordrecht, v. 38, n. 2, p. 105–134, 2010.

FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 111, n. 23, p. 8410–8415, 2014.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, College Park, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998.

- KIRSCHNER, P. A.; SWELLER, J.; CLARK, R. E. Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, v. 41, n. 2, p. 75–86, 2006.
- LEPPINK, J. et al. Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, v. 45, p. 1058–1072, 2013.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.
- MAYER, R. E. Cognitive theory of multimedia learning. In: MAYER, R. E. (org.). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 43–71.
- MAYER, R. E. Multimedia learning. *Psychology of Learning and Motivation*, [S.l.]: Academic Press, v. 41, p. 85–131, 2002.
- MAYER, R. E. Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, v. 59, n. 1, p. 14–19, 2004.
- MICHAEL, J. Where's the evidence that active learning works? *Advances in Physiology Education*, Bethesda, v. 30, n. 4, p. 159–167, 2006.
- PAAS, F.; RENKL, A.; SWELLER, J. Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist*, London, v. 38, n. 1, p. 1–4, 2003. DOI: https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1.
- PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, Washington, v. 93, n. 3, p. 223–231, 2004.
- RECKASE, M. D. Historical background for multidimensional item response theory (MIRT). In: RECKASE, M. D. *Multidimensional item response theory*. New York: Springer, 2009. p. 57–77.
- SOUZA, E. de J.; AMANTES, A. Interfaces entre neurociência e ensino: o emprego da carga cognitiva para avaliação da aprendizagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 14., 2023. **Anais [...]** Campina Grande: Editora Realize, 2023. ISBN 978-85-61702-70-0. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/93136>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- SOUZA, E. de J.; AMANTES, A. O emprego de escalas para avaliação da carga cognitiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 15., 2025, Belém. **Anais [...]** Belém: ABRAPPEC, 2025.
- SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, v. 12, n. 2, p. 257–285, 1988.
- SWELLER, J. Evolution of human cognitive architecture. *Psychology of Learning and Motivation*, [S.l.]: Academic Press, v. 43, p. 215–266, 2003.

SWELLER, J. *Arquitetura cognitiva humana*. 2008. Disponível em: https://www.csuchico.edu/~nschwartz/Sweller_2008.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. *Cognitive load theory*. New York: Springer Science & Business Media, 2011.

SWELLER, J.; VAN MERRIËNBOER, J. J. G.; PAAS, F. Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, v. 10, n. 3, p. 251–296, 1998.

SWELLER, J.; VAN MERRIËNBOER, J. J. G.; PAAS, F. Arquitetura cognitiva e design instrucional: 20 anos depois. *Educational Psychology Review*, v. 31, n. 2, p. 261–292, 2019.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

CAPÍTULO 7: RELACIONANDO APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS CIENTÍFICOS À CARGA COGNITIVA E À MEMÓRIA DE TRABALHO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM METODOLOGIAS ATIVAS

COGNITIVE ARCHITECTURE AND SCIENCE EDUCATION: INVESTIGATING WORKING MEMORY VIA DIGIT SPAN

RESUMO

Este estudo investiga a relação entre o perfil da memória de trabalho, carga cognitiva e aprendizagem em tarefas científicas abordando o conteúdo de eletricidade. Participaram 88 estudantes de instituições de ensino superior da região Nordeste do Brasil, sendo 60 envolvidos na aplicação de testes individuais de perfil de memória de trabalho. A pesquisa utilizou uma sequência didática fundamentada em Metodologias Ativas, aplicada ao longo de seis aulas, com coleta de dados sobre desempenho, perfil de memória de trabalho e percepção de carga cognitiva intrínseca, estranha e pertinente. A análise foi conduzida feita a partir de testes de associação entre medidas da diferença de desempenho, indicador de aprendizagem, da carga cognitiva, obtiva através da escala PAAS e do perfil de desempenho, dimensionado pela aplicação de uma tarefa de Digit Span. Empregamos os testes estatísticos ANOVA, correlação de Spearman e Modelos Lineares Mistos, tendo em vista o caráter longitudinal do estudo. Os resultados indicaram que o perfil de memória de trabalho não se associou de forma significativa ao desempenho nem à carga cognitiva, sugerindo que a capacidade de retenção temporária de informações não é determinante para a aprendizagem científica nesse contexto. Em contraste, o desempenho mostrou associação significativa com as três dimensões da carga cognitiva, evidenciando que o esforço mental varia de acordo com a mudança do repertório cognitivo ocorrido em virtude da aprendizagem, assim como das diferenças de complexidade das tarefas. Outro resultado encontrado foi a tendência de diminuição da carga cognitiva estranha à medida que os estudantes avançam, enquanto a carga intrínseca e a pertinente aumentam, indicando uma relação dinâmica entre o conhecimento adquirido e a percepção do esforço cognitivo. Os achados reforçam a importância do planejamento pedagógico que considere a arquitetura cognitiva e os princípios da Teoria da Carga Cognitiva, bem como o uso de Metodologias Ativas, para modular a percepção de esforço e favorecer a aprendizagem efetiva. Também temos indícios de que a aprendizagem pode estar associada a outras variáveis que não foram analisadas como outras funções executivas como controle inibitório, flexibilidade cognitiva, uma vez que o perfil de memória de trabalho parece não ter relação com o processo.

Palavras-chave: Memória de Trabalho; Carga Cognitiva; Metodologias Ativas; Aprendizagem Científica; Modelos Lineares Mistos.

ABSTRACT

This study investigated the relationship between working memory, cognitive load, and learning in scientific tasks. Eighty-eight students from higher education institutions in the Northeast region of Brazil participated, with 60 involved in the administration of individual working memory tests. The research employed a didactic sequence based on active learning methodologies, applied over six lessons, with data collected on performance, working memory profile, and perceptions of Intrinsic, Extraneous, and Germane cognitive load. Analyses were conducted using ANOVA, Spearman correlation, and linear mixed models for longitudinal data. The results indicated that working memory profile was not significantly associated with performance or cognitive load perception, suggesting that temporary information retention

capacity is not a determining factor for scientific learning in this context. In contrast, performance showed a significant association with all three dimensions of cognitive load, indicating that the perception of mental effort varies according to learning progress and task complexity. Additionally, extraneous cognitive load tended to decrease as students progressed, while intrinsic and germane load increased, reflecting a dynamic relationship between acquired knowledge and perceived cognitive effort. These findings underscore the importance of instructional planning that considers cognitive architecture and the principles of Cognitive Load Theory, as well as the use of active learning methodologies, to modulate perceived effort and promote effective learning.

Keywords: Working Memory; Cognitive Load; Active Learning Methodologies; Scientific Learning; Linear Models.

1 Introdução

A aprendizagem de conteúdos científicos tem sido investigada sob diversas perspectivas teóricas e metodológicas, que buscam compreender a interação entre os processos cognitivos do estudante, a organização da instrução e as demandas inerentes às tarefas propostas. Nesse contexto, torna-se fundamental analisar como o design das atividades pedagógicas se adéquam às capacidades cognitivas individuais, a fim de otimizar a construção do conhecimento. Uma perspectiva promissora para tal investigação reside na análise integrada dos constructos cognitivos que emergem durante o processo de ensino-aprendizagem, considerando simultaneamente as características do sujeito e do material didático.

Dentre os modelos que sustentam essa análise, a Teoria da Carga Cognitiva (TCCO), proposta por Sweller (1988), oferece um aporte relevante ao explicar como as limitações da arquitetura cognitiva humana influenciam a aprendizagem. De acordo com essa teoria, o aprendizado é maximizado quando o design das tarefas instrucionais respeita a capacidade finita do sistema cognitivo, favorecendo a construção e a automação de esquemas na memória de longo prazo (Sweller; Ayres; Kalyuga, 2011).

Articuladas a esse sistema, as Funções Executivas (FEs) compreendem um conjunto de processos de alto nível que possibilitam a regulação e o controle de comportamentos orientados a objetivos, incluindo habilidades como planejamento, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva e funcionamento da memória de trabalho (Diamond, 2013). Esta última, entendida como um sistema de capacidade limitada responsável pela manutenção e manipulação temporária de informações (Baddeley, 2000, 2012), desempenha papel central na resolução de problemas científicos. Evidências indicam que a sobrecarga desse sistema pode comprometer o desempenho em tarefas complexas, enquanto seu uso eficiente favorece a compreensão conceitual e a transferência de conhecimentos (Cowan, 2014; Sweller, 2020).

Apesar do avanço teórico acerca desses constructos, ainda são escassos os estudos que os articulam explicitamente à aprendizagem científica em contextos reais de sala de aula (Paas; Renkl; Sweller, 2003; Chandler; Sweller, 1991). Essa lacuna evidencia a necessidade de investigações que integrem modelos cognitivos e evidências neurocientíficas ao cotidiano escolar, contribuindo tanto para o design de instruções mais eficazes quanto para o aprofundamento do conhecimento sobre os mecanismos de aprendizagem.

Diante desse cenário, questões importantes surgem para que possamos ter direcionamentos mais substanciais em relação ao processo de ensino aprendizagem levando-se em consideração o aspecto individual, principalmente em relação à cognição, e o aspecto instrucional, relativo à forma de ensino e design de tarefas. Nesse sentido, questões como “A aprendizagem de conteúdos científicos depende do perfil de memória de trabalho?”, ou “Como os diferentes tipos de carga cognitiva imposta por tarefas de conteúdos científicos auxiliam e/ou limitam o processo de aprendizagem?” e ainda “Em que medida a influência da carga cognitiva e perfil da memória de trabalho é diferente para a construção de conhecimento científico e para a construção de conhecimentos de outras áreas?”.

Esse estudo tem como objetivo investigar a relação entre perfil de memória de trabalho, carga cognitiva e aprendizagem em tarefas científicas. E vai contribuir para explorar tais questões trazendo um estudo sobre a associação dessas variáveis em um estudo longitudinal, em que uma abordagem específica usando metodologias ativas foi empregada para ensinar conteúdos de eletricidade.

2 Perfil de Memória de Trabalho, Carga Cognitiva e Aprendizagem

A aprendizagem é compreendida como um processo dinâmico de construção do conhecimento em meio à organização e reorganização de estruturas cognitivas nas perspectivas cognitivistas (BIGGS; COLLIS, 1982; COMMONS et al., 2008; FISCHER1980; DAWSON, 2004). No âmbito das teorias neopiagetianas, em especial na perspectiva de Kurt Fischer, esse processo é entendido como o desenvolvimento de habilidades que emergem da interação entre as capacidades do indivíduo, as demandas da tarefa e o contexto sociocultural (Fischer, 1980; Fischer; Bidell, 2006). Tal concepção defende um modelo de desenvolvimento flexível, sensível tanto ao apoio contextual quanto às estruturas cognitivas individuais.

A articulação entre as abordagens neopiagetianas e a Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) permite compreender a aprendizagem como um fenômeno resultante da relação entre recursos cognitivos disponíveis e as pressões impostas pela atividade. Segundo Fischer (1980), o

desempenho do estudante reflete seu nível funcional de desenvolvimento, que oscila conforme o suporte oferecido e a complexidade do desafio. De modo análogo, a TCCO sustenta que a aprendizagem é fortemente influenciada pelo design instrucional: a forma como a informação é estruturada pode ampliar ou reduzir a carga cognitiva extrínseca, liberando recursos da memória de trabalho para processos cognitivos de fato relevantes.

Nesse sentido, a TCCO oferece um arcabouço complementar ao explicitar como as limitações da memória de trabalho afetam o aprendizado. Sweller (1988) e Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) postulam que, quando as demandas de uma tarefa excedem a capacidade de processamento temporário, a construção de esquemas na memória de longo prazo é prejudicada. Essa condição é crítica no ensino de ciências, que frequentemente exige a manipulação de múltiplos elementos interativos, representações simbólicas e abstrações.

Para gerenciar tais limitações, Sweller, Van Merriënboer e Paas (2019) propõem que a carga cognitiva se manifeste em três dimensões de forma interdependente. Primeiramente, a carga intrínseca refere-se à complexidade natural do objeto de estudo, sendo determinada pela interação entre o nível de dificuldade do conteúdo e o conhecimento prévio do sujeito. Paralelamente, a carga extrínseca (ou estranha) compreende os elementos instrucionais irrelevantes que competem pela atenção do aluno (os “ruídos”) e que, em um design pedagógico eficiente, devem ser reduzidos ao mínimo. Por fim, a carga pertinente (ou germânica) representa o esforço cognitivo produtivo, ou seja, a energia mental direcionada especificamente para a construção, organização e automação de esquemas mentais na memória de longo prazo.

A integração desses conceitos permite associar a carga intrínseca à complexidade estrutural do conteúdo científico, enquanto a carga pertinente se relaciona aos esforços de reorganização cognitiva. Na perspectiva de Fischer, esse processo corresponde à consolidação de novas habilidades em níveis mais abstratos e estáveis. Portanto, o desenvolvimento conceitual em ciências não depende exclusivamente de capacidades individuais, mas do equilíbrio entre as demandas da tarefa e o suporte do ambiente. Essa visão integrada fundamenta o desenvolvimento de sequências didáticas que alinham o design pedagógico às possibilidades cognitivas dos estudantes em diferentes etapas do processo educativo.

Portanto, a relevância de compreender as cargas cognitivas postuladas pela Teoria da Carga Cognitiva reside na sua capacidade de fornecer diretrizes consistentes para o design instrucional voltado ao ensino de conteúdos científicos formais. A aprendizagem está associada à gestão estratégica das cargas cognitivas que emergem durante o processo de interação do estudante com a tarefa. Sob essa perspectiva, a evolução do entendimento conceitual manifesta-se como um processo dinâmico, marcado pela redução do esforço cognitivo direcionado a

elementos irrelevantes e pelo aumento progressivo e qualitativo da carga cognitiva intrínseca e da carga cognitiva pertinente ao longo do tempo. Assim, o foco das intervenções pedagógicas deve concentrar-se na proposição de tarefas que favoreçam o incremento da carga intrínseca e, sobretudo, da carga pertinente, de modo a transformar o esforço cognitivo inerente ao conteúdo em aprendizagem e em conhecimento estruturado.

3 Método

3.1 Sujeitos e Contexto

A pesquisa foi realizada por meio da aplicação de uma Sequência Didática (SD) com estudantes provenientes do Instituto de Física de uma universidade federal e de um Instituto Federal, ambos localizados na região Nordeste do Brasil. Em um primeiro momento, a SD foi implementada na forma de uma oficina extracurricular, construída à luz de Metodologias Ativas de ensino. Ao todo, participaram dessa etapa 88 estudantes. Do ponto de vista demográfico, o grupo apresentou perfil heterogêneo, sendo composto por 68 estudantes do sexo masculino e 20 do sexo feminino, com faixa etária entre 18 e 56 anos. Essa etapa configurou a primeira fase da coleta de dados do estudo.

Em um segundo momento, destinado à aplicação da tarefa de *Digit Span*, participaram 60 estudantes que haviam integrado a primeira etapa da pesquisa, sendo 45 do sexo masculino e 15 do sexo feminino. A redução no número de participantes entre as duas etapas ocorreu em função das condições específicas de aplicação do teste, que é realizado individualmente, com duração média aproximada de 1h45min por participante. Essa etapa demandou um ambiente controlado e silencioso, além da coleta simultânea de dados fisiológicos. Tais exigências, associadas ao tempo prolongado de cada sessão e à necessidade de agendamento de equipamentos, inviabilizaram a participação de todos os estudantes que compuseram a primeira etapa da pesquisa.

3.2 Materiais da Pesquisa

3.2.1 Sequência Didática

A intervenção pedagógica teve como eixo a implementação de uma oficina temática fundamentada em uma Sequência Didática (SD), concebida a partir dos princípios das Metodologias Ativas, voltada ao ensino dos conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos. A proposta buscou articular conteúdos conceituais a situações contextualizadas, de modo a favorecer a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. A SD, intitulada *Entendendo o celular: entre correntes e circuitos*, foi estruturada em três encontros presenciais,

correspondentes a seis aulas geminadas, com duração total de 100 minutos por encontro. O funcionamento do aparelho celular foi adotado como eixo central de contextualização, atuando como mediador para a introdução e a discussão de conceitos fundamentais da Física.

O material instrucional foi organizado em três recursos educacionais complementares, concebidos para atender tanto estudantes quanto professores. Optou-se por uma linguagem acessível e menos formal, na qual a introdução dos conteúdos ocorre por meio de narrativas em formato de tirinhas, protagonizadas pelos personagens fictícios Eletrikarla, uma cientista, e Celuquinho, um celular futurista. Essa estratégia teve como objetivo reduzir barreiras iniciais de compreensão e favorecer o engajamento dos estudantes com os temas abordados.

A Sequência Didática foi planejada de modo a promover o protagonismo discente, integrando diferentes abordagens pedagógicas ativas. As aulas seguiram uma progressão temática, iniciando-se pela contextualização histórica e funcional do celular e avançando para a compreensão dos princípios físicos subjacentes ao seu funcionamento. Entre os temas abordados destacam-se a evolução das tecnologias de comunicação, a representação simbólica de circuitos elétricos, os mecanismos de transmissão de sinais, o funcionamento de telas sensíveis ao toque, bem como aspectos relacionados à segurança no uso de baterias e carregadores.

A SD foi estruturada a partir de diferentes Metodologias Ativas, como Aprendizagem Baseada em Projetos, Aprendizagem Baseada em Problemas, Estudo de Caso, Gamificação e Aprendizagem Baseada em Investigação, com o uso de simuladores e atividades experimentais, além de propostas no formato *Escape Room*. Cada aula foi antecedida por um momento de pré-aula, no qual os estudantes tiveram acesso, por meio de QR Code, a materiais de apoio como vídeos, animações e conteúdos digitais, incentivando o estudo prévio e o desenvolvimento da autonomia.

A SD passou por um processo sistemático de validação⁴ por especialistas, envolvendo seis docentes pesquisadores da área de Ensino de Física. Os avaliadores analisaram a coerência entre os objetivos pedagógicos, os conteúdos e as estratégias metodológicas, bem como a adequação das atividades propostas ao público-alvo. Os resultados indicaram predominância das classificações “adequado” e “muito adequado”, evidenciando a consistência interna da proposta e seu alinhamento com os pressupostos teórico-metodológicos que a fundamentam.

⁴Para saber mais sobre o processo de construção e validação da SD, consulte o capítulo 2.

3.2.2 Testes de Conhecimento

O banco de itens foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o conhecimento formal sobre corrente elétrica e circuitos elétricos. A elaboração dos itens baseou-se em instrumentos consolidados na literatura da área, contemplando dimensões conceituais, procedimentais e matemáticas do conteúdo. O banco final foi composto por 40 itens, sendo 37 objetivos e 3 discursivos. O instrumento passou por um processo de validação amostral com 205 estudantes da 3ª série do Ensino Médio, provenientes de instituições das redes estadual e federal. As respostas aos itens objetivos foram codificadas de forma dicotômica e analisadas por meio do Modelo Rasch, utilizando o *software* Winsteps®, considerando critérios de ajuste, dimensionalidade e confiabilidade. Os resultados indicaram evidências de multidimensionalidade do instrumento, contemplando aspectos conceituais, procedimentais e matemáticos do conhecimento. A confiabilidade interna mostrou-se adequada (alfa de cronbach $> 0,7$), assim como a separação de itens (índice = 5,72; confiabilidade = 0,97), indicando boa capacidade do banco em discriminar níveis de dificuldade.

A partir desse banco validado, foram construídos dois testes equivalentes (pré-teste e pós-teste) em termos de conteúdo e nível de dificuldade, com o objetivo de avaliar o entendimento conceitual dos estudantes sobre corrente elétrica e circuitos elétricos. Cada teste foi originalmente composto por 30 questões, sendo 27 objetivas, de múltipla escolha, e 3 discursivas. Ressalta-se que ambos os testes continham um conjunto de questões idênticas, utilizadas como itens-âncora. A inclusão desses itens é estratégica para a análise de medidas repetidas no tempo em designs longitudinais, pois possibilita a equiparação dos testes, permitindo a comparação da proficiência do entendimento conceitual dos estudantes ao longo da intervenção pedagógica.

3.2.3 Escala Paas

Para a avaliação da carga cognitiva imposta pelas tarefas da Sequência Didática (SD), utilizou-se o instrumento multidimensional proposto por Leppink et al. (2013), denominado Escala Paas. Essa escala permite distinguir os três componentes da carga cognitiva de forma independente: a Carga Intrínseca (CI), a Carga Estranha (CE) e a Carga Pertinente (CP). O instrumento é composto por 10 itens respondidos em uma escala de diferencial semântico de 11 pontos (0 a 10), em que 0 indica “não é o caso” e 10 “totalmente o caso”. A estrutura do questionário organiza-se da seguinte forma:

- **Carga Intrínseca (Itens 1, 2 e 3):** Avalia a complexidade percebida dos tópicos, fórmulas e conceitos;

- **Carga Estranha (Itens 4, 5 e 6):** Mede a não contribuição das instruções e a falta de clareza da linguagem utilizada;
- **Carga Pertinente (Itens 7, 8, 9 e 10):** Mensura o quanto a atividade contribuiu efetivamente para a melhoria do conhecimento e da compreensão do estudante.

A aplicação ocorreu imediatamente ao final de cada aula da SD. O procedimento consistiu em uma breve orientação aos participantes, reforçando que o foco deveria ser a percepção sobre a atividade recém-concluída.

A escolha por este modelo justifica-se por sua capacidade de fornecer um diagnóstico detalhado sobre quais aspectos da instrução podem ter sobrecarregado a memória de trabalho ou favorecido a construção de esquemas mentais na aprendizagem científica. A Escala de Paas (1992) representa um marco para a Psicologia Cognitiva e Educacional, sendo reconhecida internacionalmente como um instrumento psicométrico de alta confiabilidade e validade interna para a mensuração do esforço mental. Sua importância reside no fato de ter sido rigorosamente testada e validada para capturar a percepção subjetiva da carga cognitiva, transformando processos introspectivos em dados quantificáveis e estatisticamente tratáveis. Devido à sua sensibilidade e facilidade de aplicação, tornou-se o recurso padrão em investigações psicológicas que buscam correlacionar o desempenho em tarefas complexas com a economia de recursos cognitivos.

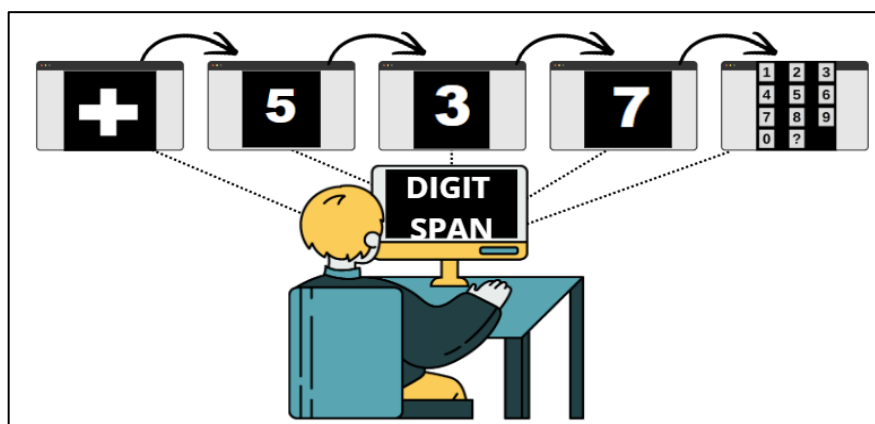
3.2.4 *Digit Span*

O perfil da memória de trabalho dos participantes foi avaliada por meio do teste *Digit Span*, instrumento amplamente utilizado em contextos clínicos e de pesquisa cognitiva. Na aplicação clássica, o pesquisador apresenta verbalmente uma sequência de números e registra a repetição do participante, tanto na ordem direta (*Digit Span Forward*) quanto na inversa (*Digit Span Backward*), servindo como um indicador da capacidade de armazenamento e manipulação de informações (Baddeley, 2000).

Para o presente trabalho, o teste foi aplicado em formato digital, utilizando uma versão automatizada na linguagem Python. O instrumento foi desenvolvido por Amantes (2023), acompanhado de um protocolo de coleta específico para a padronização dos dados. Nessa versão digital, as sequências numéricas compostas por dígitos de 0 a 9 eram exibidas no centro da tela, com um intervalo de um segundo entre cada numeral. Durante essa etapa, o sujeito deve memorizar os numerais e sua ordem de aparecimento. Ao final de cada série, um teclado virtual é disponibilizado na tela, no qual o participante deve assinalar os números respeitando a ordem

exata em que foram apresentados; em caso de esquecimento de algum dígito, o participante pode indicar a lacuna por meio de um símbolo de interrogação (Figura 1).

Figura 2: Interface da tarefa *Digit Span* e exemplo de sequência de dígitos



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

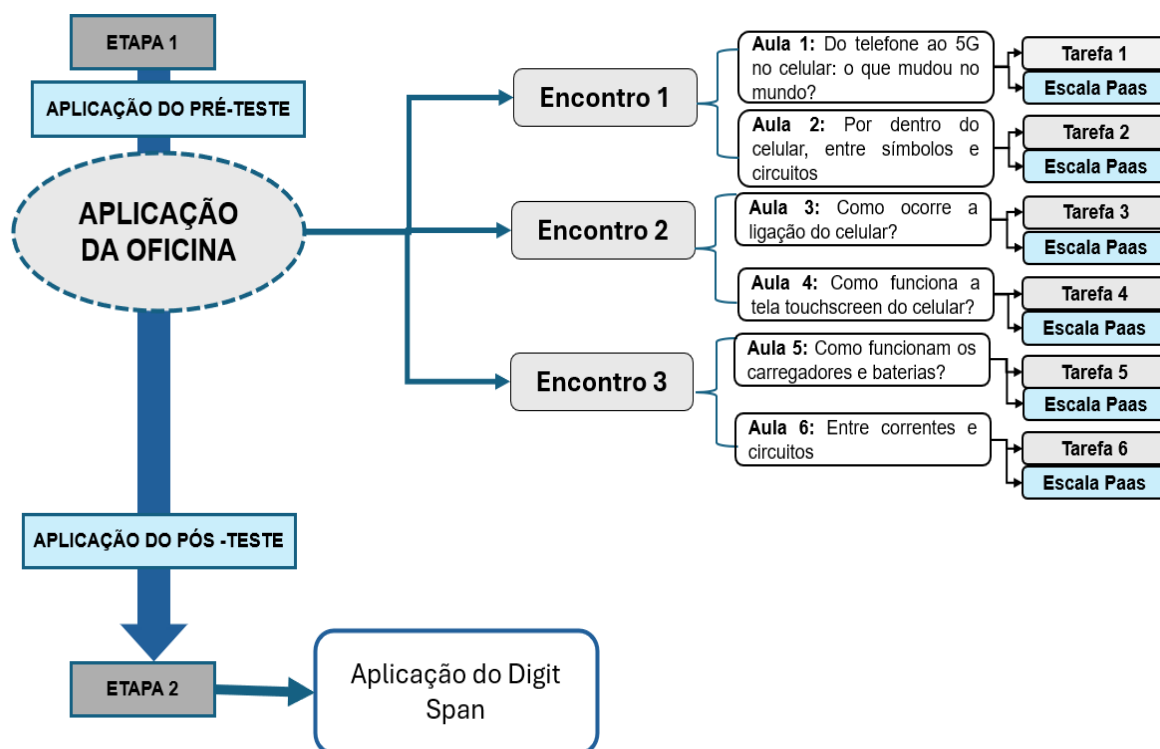
No presente estudo, foram utilizadas 50 sequências, distribuídas da seguinte forma: 14 sequências de três dígitos, 16 de cinco dígitos e 20 de sete dígitos. Diferentemente do protocolo tradicional, optou-se pela aplicação exclusiva da ordem direta, sem a etapa de ordem inversa, garantindo a aleatoriedade completa na geração dos números. Ao final da tarefa, as respostas registradas eram automaticamente exportadas para uma planilha em formato Excel, assegurando o armazenamento padronizado e a integridade dos dados para as análises posteriores.

A coleta de dados ocorreu de forma individual e controlada, em ambiente silencioso e com condições de iluminação e temperatura adequadas. Cada sessão teve duração média de aproximadamente 1h45min, uma vez que incluiu o registro de dados fisiológicos simultaneamente à execução do teste. Essa adaptação digital manteve a essência do *Digit Span* tradicional, garantindo padronização, confiabilidade e precisão na avaliação do perfil da memória de trabalho dos estudantes.

3.3 Design da Coleta

A Figura 3 ilustra o fluxo das etapas que compuseram a coleta de dados, detalhando o cronograma da pesquisa em dois momentos principais, a saber: a aplicação da SD em forma de Oficina Interdisciplinar e a realização do teste *Digit Span*.

Figura 3: Design das etapas da coleta



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.4 Metodologia de Análise

3.4.1 Testes de Conhecimento

A análise dos testes de conhecimento foi organizada em duas etapas: (i) avaliação psicométrica do instrumento e (ii) mensuração da evolução do conhecimento dos estudantes após a Sequência Didática (SD).

a) **Dimensionalidade e ajuste do teste:** Avaliou-se a dimensionalidade do instrumento para identificar os constructos acessados (Pasquali, 2009; SISTO, 2005). Utilizou-se a análise de variância residual padronizada no *software* Winsteps® 3.70 (Linacre, 2010), comparando a variância explicada pelo fator principal com a variância não explicada pelo primeiro contraste residual. O ajuste dos itens e dos respondentes foi verificado pelos índices *infit* e *outfit* do Modelo Rasch, em que valores próximos a 1,0 indicam bom ajuste. A confiabilidade foi mensurada pelo Alfa de Cronbach e pelos índices de separação de itens e pessoas, atestando a capacidade do teste em distinguir diferentes níveis de proficiência.

b) **Evolução do entendimento:** Com a validade confirmada, a evolução do conhecimento foi verificada por meio de:

- **Ganho de proficiência:** comparando os escores em logits do pré e pós-teste, apresentados em *box plots*. A significância das diferenças foi verificada por teste *t* de

Student é um procedimento estatístico inferencial utilizado para verificar se há diferença significativa entre médias. No caso do teste t para amostras emparelhadas, a comparação é realizada entre as mesmas unidades amostrais em dois momentos distintos, como em delineamentos de pré-teste e pós-teste. O teste avalia se a média das diferenças individuais entre as duas medidas é estatisticamente diferente de zero. Neste estudo, o teste t emparelhado indicou diferença estatisticamente significativa entre pré-teste e pós-teste ($p < 0,001$), evidenciando um ganho de aprendizagem após a instrução.

- **Mapa de Itens (Wright Map):** utilizado para observar o deslocamento da proficiência em relação à hierarquia de dificuldade dos itens, identificando a aquisição de conceitos anteriormente inacessíveis.

3.4.2 Escala Paas

O tratamento dos dados da escala foi realizado em duas etapas, com emprego dos *softwares* R e SPSS. Inicialmente, utilizou-se a Teoria de Resposta ao Item Multidimensional no ambiente R (pacote *mirt*), modelo adequado para avaliar constructos latentes complexos (Reckase, 2009; Chalmers, 2012). O objetivo foi confirmar o agrupamento dos itens nos três fatores teóricos (Carga Intrínseca, Estranha e Pertinente).

Em seguida, as medidas foram exportadas para o SPSS (v.26) para análises descritivas e inferenciais. O teste t para amostras emparelhadas foi empregado para comparar as médias das cargas cognitivas ao longo das seis aulas, identificando variações estatisticamente significativas ($p < 0,05$) e possibilitando o exame da evolução das mesmas ao longo da intervenção.

3.4.3 Digit Span

Foi realizada uma análise da performance dos 60 participantes, com o objetivo de identificar perfis de estudantes a partir de seus padrões de desempenho no teste *Digit Span*. Como variáveis de entrada, utilizou-se a proporção de acertos nas sequências de 3, 5 e 7 dígitos (Seq3, Seq5 e Seq7), o que permitiu capturar diferenças graduais na capacidade de armazenamento e manutenção de informações sob demandas crescentes de memória.

A partir da similaridade entre os desempenhos individuais nessas três condições, os participantes foram agrupados em cinco perfis distintos, que refletem diferentes trajetórias de manutenção e perda de informação à medida que a complexidade da tarefa aumenta.

4 Análise e Resultados

4.1 Medidas de Desempenho e Carga Cognitiva

O desempenho dos estudantes foi avaliado pelo Modelo Rasch, que transforma respostas dicotômicas em medidas intervalares (*logits*), permitindo comparar a proficiência dos estudantes com a dificuldade dos itens em uma mesma escala. Essa abordagem supera a limitação da contagem simples de acertos, fornecendo métricas precisas para a análise do avanço conceitual e procedimental.

As análises de dimensionalidade indicaram que o conhecimento sobre corrente e circuitos elétricos é predominantemente unidimensional, mas se manifesta em dois fatores complementares: Fenomenológico e Procedimental. A solução de dois fatores, apoiada por análise paralela, *Scree Plot* e critérios de ajuste (RMSR, RMSEA, TLI, AIC e BIC), apresentou coerência teórica e legitimou o uso de uma única escala de proficiência.

A qualidade psicométrica foi adequada: *infit* e *outfit* MNSQ próximos de 1,00, com elevada confiabilidade e separação dos itens, indicando que o instrumento discrimina diferentes níveis de dificuldade e mantém estabilidade da escala. Observou-se um aumento médio da proficiência de 0,19 *logits* no pré-teste para 1,54 *logits* no pós-teste (ganho médio = 1,35 *logits*; $p < 0,001$). Itens fenomenológicos, relacionados à compreensão conceitual, apresentaram reduções expressivas de dificuldade, enquanto itens procedimentais, embora mais desafiadores, passaram a discriminar níveis mais elevados de proficiência. A redução da variabilidade entre estudantes no pós-teste reflete maior homogeneidade da amostra e efetividade da intervenção.

A análise da Escala Paas foi conduzida em duas etapas: (1) validação psicométrica via Modelo de Resposta ao Item Multidimensional e (2) avaliação da evolução das cargas cognitivas ao longo das seis aulas da Sequência Didática. O modelo confirmou a estrutura de três fatores (CI, CE e CP) em todas as aplicações, com variância explicada acima de 70% e RMSEA entre 0,07 e 0,01, indicando ajuste satisfatório. As medidas foram tratadas como métricas comparáveis e exportados para SPSS para análise das trajetórias das cargas cognitivas.

As médias das medidas por aula indicaram que a carga Intrínseca (CI) apresentou oscilações entre 0,02 e 0,26 *logits*, refletindo a complexidade intrínseca do conteúdo, com diferenças significativas observadas apenas entre algumas aulas. A carga Estranha (CE) foi mais elevada no início da intervenção, diminuindo à medida que aumentava o repertório cognitivo dos estudantes, sendo que fatores individuais explicaram apenas 1,8% da variação observada. Já a carga Pertinente (CP) mostrou aumento progressivo em módulo, indicando maior direcionamento de recursos cognitivos para a aprendizagem.

4.2 Perfis de Memória de Trabalho

Conduzimos uma análise para identificação dos perfis de desempenho, inicialmente os dados brutos utilizados para a construção dos perfis foram obtidos a partir de um instrumento avaliativo composto por sequências de três, cinco e sete números (Seq3, Seq5, Seq7) que apareciam na tela deveriam ser memorizadas e logo em seguidas digitadas no teclado virtual. Ao final da aplicação, o sistema de correção gera automaticamente uma planilha contendo, para cada estudante, as marcações realizadas em cada item e o respectivo gabarito. A partir dessa correspondência, é calculado um escore bruto de acertos, que representa o número de respostas corretas em cada sequência do teste.

Em um segundo momento, esses escores brutos foram tratados de forma a permitir uma análise mais refinada do desempenho ao longo das diferentes sequências do instrumento. As questões foram organizadas por sequência, e procedeu-se ao cálculo da média de acertos em cada sequência para cada sujeito. Esse procedimento resultou na geração de três escores médios distintos por estudante, cada um correspondente ao nível de acerto em uma das sequências avaliativas.

A partir desses escores médios, foi realizada a plotagem dos perfis individuais de desempenho, por meio de gráficos que representam, para cada sujeito, a variação das médias de acerto ao longo das sequências. A inspeção visual dessas curvas possibilitou a identificação de tendências semelhantes entre os estudantes, tais como perfis de crescimento, estabilidade ou declínio do desempenho. A partir da similaridade entre os desempenhos individuais nessas três condições, os participantes foram agrupados em cinco perfis distintos de perfis de memória de trabalho, que refletem diferentes trajetórias de manutenção e perda de informação à medida que a complexidade da tarefa aumenta. Os perfis estão representados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1: Perfil de memória de trabalho

	Seq3	Seq5	Seq7
Perfil 1	1,00	0,98	0,29
Perfil 2	0,89	0,42	0,04
Perfil 3	1,00	0,94	0,85
Perfil 4	1,00	0,89	0,57
Perfil 5	0,99	0,72	0,17

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Na sequência, essa separação inicial foi formalizada por meio de uma análise de cluster, aplicada aos escores médios das sequências. O objetivo dessa análise foi identificar, de maneira estatisticamente fundamentada, grupos homogêneos de estudantes com perfis semelhantes de

desempenho ao longo das sequências. O procedimento resultou na identificação de três agrupamentos principais, correspondentes a padrões distintos de desempenho nas sequências 3, 5 e 7. Observou-se que um primeiro grupo apresentou médias consistentemente elevadas ao longo das sequências (por exemplo, no Perfil 5: $MSEQ3 = 0,987$; $MSEQ5 = 0,718$; $MSEQ7 = 0,174$), caracterizando um padrão de desempenho inicial alto com redução posterior. Um segundo grupo apresentou médias intermediárias (Perfil 4: $MSEQ3 = 1,000$; $MSEQ5 = 0,889$; $MSEQ7 = 0,569$), indicando manutenção parcial do desempenho ao longo das sequências. Já um terceiro grupo apresentou médias significativamente inferiores nas sequências posteriores (Perfil 1: $MSEQ3 = 1,000$; $MSEQ5 = 0,979$; $MSEQ7 = 0,289$), evidenciando maior oscilação no padrão de resposta.

A distinção entre esses agrupamentos foi estatisticamente confirmada por análises de variância (ANOVA), que indicaram diferenças significativas entre os grupos em todos os perfis analisados (por exemplo, Perfil 5: $F(2,84) = 465,378$; $p < 0,001$; Perfil 4: $F(2,36) = 117,958$; $p < 0,001$; Perfil 1: $F(2,24) = 385,746$; $p < 0,001$). Esses resultados reforçam que os agrupamentos identificados não são fruto de variação aleatória, mas refletem padrões estruturados de mudança no desempenho ao longo das sequências.

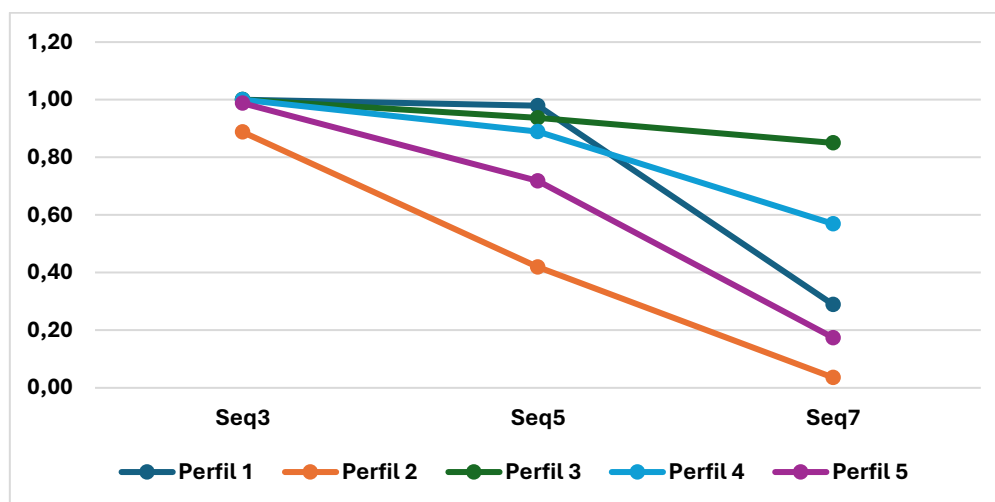
Os resultados da análise de cluster são apresentados graficamente, evidenciando perfis distintos de mudança no desempenho. Observam-se grupos de estudantes com padrões claramente diferenciados: alguns com manutenção de desempenho elevado, outros com redução moderada e outros com queda mais acentuada ao longo das sequências. Esses perfis serviram de base para a operacionalização da variável mudança no desempenho, utilizada nas análises subsequentes como indicador de aprendizagem, na medida em que refletem variações longitudinais associadas à progressão instrucional, e não apenas níveis absolutos de desempenho em um único momento de avaliação.

Com o objetivo de identificar padrões de desempenho associados à capacidade de perfil de memória de trabalho, realizou-se uma análise com base na proporção de acertos dos participantes nas sequências de 3, 5 e 7 dígitos do teste *Digit Span*. Essas sequências representam níveis crescentes de demanda cognitiva, permitindo observar como os estudantes lidam com o aumento progressivo da carga de memória.

O Gráfico 2 a seguir ilustra a trajetória do desempenho de cada perfil em função do aumento progressivo da carga de memória. A análise visual confirma, de modo geral, o princípio da capacidade limitada da memória de curto prazo, conforme descrito na literatura sobre perfil de memória de trabalho. Entretanto, observa-se que os perfis diferem

substancialmente na capacidade de sustentar o desempenho e de compensar essa limitação à medida que a complexidade da tarefa aumenta.

Gráfico 2: Perfis de memória de trabalho a partir do desempenho no Digit Span



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Perfil 1: caracteriza-se por um desempenho máximo (ou próximo do total) nas sequências de 3 (1,00) e 5 dígitos (0,98), indicando elevada capacidade de armazenamento e manutenção de informações em condições de baixa e média demanda cognitiva. Contudo, observa-se uma queda abrupta no desempenho ao passar para a sequência de 7 dígitos, com redução de aproximadamente 0,55, atingindo 0,29. Esse padrão sugere que, embora os estudantes desse perfil possuam uma memória de curto prazo eficiente para sequências moderadas, o limite funcional do perfil da memória de trabalho é rapidamente atingido diante de uma demanda mais elevada. Tal comportamento é compatível com situações de sobrecarga cognitiva, nas quais os recursos disponíveis tornam-se insuficientes para manter e manipular todos os elementos simultaneamente.

Perfil 2: apresenta o desempenho mais baixo entre os grupos, iniciando já com uma proporção inferior de acertos na Seq3 (0,89). O declínio acentuado ocorre na Seq5 (0,42), indicando que o limite da capacidade de armazenamento é atingido nesse momento. Na Seq7, o desempenho é praticamente nulo (0,04), evidenciando incapacidade de manutenção da informação sob alta carga. Esse perfil sugere uma limitação considerável tanto da memória de curto prazo quanto do perfil da memória de trabalho. A dificuldade em lidar com sequências a partir de cinco dígitos indica um *span* reduzido, o que pode ter implicações diretas para o

desempenho em tarefas cognitivas que exigem a coordenação simultânea de múltiplas informações.

Perfil 3: representa o grupo mais resistente ao aumento da carga de memória. O desempenho mantém-se elevado em todas as sequências, com valores de 1,00 na Seq3, 0,94 na Seq5 e 0,85 na Seq7. O declínio ao longo das sequências é mínimo, indicando uma capacidade robusta de armazenamento e manutenção da informação mesmo sob alta demanda. Esse padrão sugere um perfil de memória de trabalho altamente capaz de sustentar o processamento simultâneo de múltiplos elementos sem atingir rapidamente o limite de capacidade. Considerando que a sequência de 7 dígitos já se aproxima ou ultrapassa o *span* médio observado na maioria dos resultados, esse perfil destaca-se como um grupo com recursos cognitivos superiores à média.

Perfil 4: apresenta um desempenho elevado e relativamente estável nas sequências iniciais, com 1,00 na Seq3 e 0,89 na Seq5. Na Seq7, o desempenho reduz-se para 0,57, valor ainda superior ao observado na maioria dos perfis, mas que indica o início de uma limitação funcional. Esse padrão sugere uma memória de curto prazo eficiente e um perfil de memória de trabalho capaz de sustentar demandas moderadas, mas que, diferentemente do Perfil 3, atinge seu limite diante de cargas mais elevadas. Trata-se, portanto, de um perfil com boa capacidade cognitiva, porém suscetível à sobrecarga quando a complexidade da tarefa ultrapassa determinado limiar.

Perfil 5: inicia com desempenho elevado na Seq3 (0,99), mas apresenta uma inclinação decrescente mais acentuada do que os perfis 1, 3 e 4. Na Seq5, o desempenho já se encontra comprometido (0,72), indicando que o limite funcional do sujeito é menor. Na Seq7, a proporção de acertos cai para 0,17, evidenciando incapacidade de manutenção da sequência sob alta carga. Esse perfil caracteriza-se por uma limitação progressiva de perfil de memória de trabalho, na qual o sistema não consegue compensar adequadamente o aumento da demanda cognitiva. Tal padrão sugere que, embora o armazenamento inicial seja eficiente, a capacidade de sustentar múltiplos elementos simultaneamente é restrita.

De modo geral, os resultados evidenciam que, embora todos os perfis estejam sujeitos às limitações estruturais da memória de curto prazo, conforme previsto pela literatura, há diferenças consideráveis na capacidade de lidar com demandas crescentes de memória. Esses achados reforçam a importância de considerar diferenças individuais em perfil de memória de trabalho ao analisar processos de aprendizagem e ao planejar tarefas instrucionais, especialmente em contextos que envolvem elevada carga cognitiva.

4.3 Associação entre Perfil Memória de Trabalho, Cargas Cognitivas e Aprendizagem

4.3.1 Desempenho e Perfil de Memória de Trabalho

Para investigar a relação entre o desempenho dos estudantes e o perfil de memória de trabalho (MT), foram empregadas duas abordagens estatísticas complementares. Inicialmente, utilizou-se a Análise de Variância de um fator (ANOVA One-Way), considerando o desempenho como variável dependente e o perfil de MT como fator, com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas nas médias de desempenho entre os diferentes perfis. Esse procedimento é adequado para comparar múltiplos grupos independentes, permitindo avaliar se a variabilidade observada entre grupos é superior à variabilidade interna.

Neste estudo, o fator anteriormente denominado DES passa a ser referido como mudança no desempenho, por representar a diferença entre o desempenho dos estudantes antes e após a instrução. Essa variável foi adotada como indicador de aprendizagem, uma vez que expressa diretamente o ganho conceitual promovido pela intervenção didática, e não apenas um nível absoluto de desempenho em um dado momento. Sob a perspectiva da Teoria da Carga Cognitiva, essa medida é particularmente relevante, pois ganhos de desempenho refletem a construção e a automatização de esquemas cognitivos, o que tende a reduzir a demanda sobre o perfil de memória de trabalho e, conseqüentemente, a carga cognitiva percebida. Assim, a mudança no desempenho constitui um indicador mais sensível e teoricamente consistente de aprendizagem do que medidas pontuais, permitindo analisar de forma mais precisa a relação entre progressão instrucional e carga cognitiva.

Em seguida, realizou-se uma correlação não paramétrica de Spearman, apropriada para variáveis ordinais e para situações em que não se assume linearidade estrita, com o intuito de examinar a existência de associação monotônica entre desempenho e perfil de MT. A combinação dessas análises possibilitou avaliar, de forma complementar, tanto diferenças médias entre grupos quanto a presença de associação entre as variáveis.

Os resultados da ANOVA indicaram que não houve diferenças estatisticamente significativas no desempenho em função do perfil de memória de trabalho ($F(4,55) = 1,817$; $p = 0,139$), sugerindo que estudantes com diferentes perfis de MT apresentaram a mesma mudança de desempenho nas tarefas analisadas. O teste de homogeneidade das variâncias confirmou a adequação do modelo (Levene = 0,627; $p = 0,645$), assegurando a validade da comparação entre os grupos. Diante da ausência de efeito significativo, os testes *post hoc* não foram interpretados.

De forma convergente, a correlação de Spearman revelou uma associação fraca e não significativa entre desempenho e perfil de memória de trabalho ($\rho = -0,107$; $p = 0,416$),

reforçando a inexistência de uma relação sistemática entre essas variáveis. Esses resultados indicam que o desempenho em tarefas envolvendo conceitos científicos não depende diretamente da capacidade do perfil de memória de trabalho; ou seja, conseguir lidar com muitas informações na memória de curto prazo não está associada à construção de conhecimento científico ao longo de uma instrução nos moldes da abordagem realizada.

4.3.2 Perfil de Memória de Trabalho, Cargas Cognitivas e Aprendizagem

A associação entre o desempenho dos estudantes (DES), o perfil de memória de trabalho (PEF) e as cargas cognitivas Intrínseca (CI), Estranha (CE) e Pertinente (CP) medidas repetidamente ao longo das seis aulas da sequência didática foi analisada por meio de modelos lineares mistos (MLM). Esse método é indicado para dados longitudinais, pois permite considerar simultaneamente os efeitos do tempo (AULA) e de variáveis individuais medidas em um único momento (DES e PEF), além de modelar a correlação intraindivíduo decorrente das medidas repetidas.

Foram ajustados modelos independentes para cada tipo de carga cognitiva (CI, CE e CP), incluindo AULA, DES e PEF como efeitos fixos, bem como os termos de interação AULA \times DES e AULA \times PEF, com o objetivo de verificar se a associação entre essas variáveis e as cargas cognitivas se mantém constante ou varia ao longo do tempo. O intercepto foi especificado como efeito aleatório para os indivíduos, a fim de capturar diferenças basais entre estudantes. Os parâmetros foram estimados pelo método de máxima verossimilhança restrita (REML). Os testes de efeitos fixos dos modelos lineares mistos para as cargas cognitivas (CI, CE e CP) estão apresentados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2: Testes de efeitos fixos dos modelos lineares mistos para CI, CE e CP

	CI		CE		CP	
	F	p	F	p	F	p
INTERCEPT	311,33	<0,001	345,16	<0,001	310,81	<0,001
AULA	6,88	<0,001	7,97	<0,001	3,85	0,003
PEF	1,05	0,375	1,05	0,373	0,88	0,455
DES	31,66	<0,001	44,78	<0,001	43,62	<0,001
AULA \times PEF	0,45	0,958	0,64	0,832	0,65	0,823
AULA \times DES	2,72	<0,001	3,49	<0,001	3,44	<0,001
PEF \times DES	–	–	–	–	–	–
AULA \times PEF \times DES	–	–	–	–	–	–

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

*Nota: DES = variação no desempenho; PEF = perfil de memória de trabalho; AULA = tempo (seis aulas). Interações envolvendo PEF × DES não foram estimadas pelo modelo.

Carga Cognitiva Intrínseca (CI)

A associação entre DES, PEF e CI, medida ao longo das seis aulas, foi analisada por meio de modelos lineares mistos. Observou-se efeito significativo do tempo (AULA) sobre a CI ($F(5,84) = 6,876$; $p < 0,001$), indicando variações da carga intrínseca ao longo da sequência didática. O perfil de memória de trabalho não apresentou efeito significativo ($F(3,84) = 1,051$; $p = 0,375$), nem interação com o tempo ($AULA \times PEF: F(15,84) = 0,450$; $p = 0,958$), sugerindo que a CI não depende da capacidade do perfil de memória de trabalho dos estudantes.

Em contraste, o desempenho mostrou associação significativa com a CI ($F(43,84) = 31,663$; $p < 0,001$), e a interação $AULA \times DES$ também foi significativa ($F(203,84) = 2,720$; $p < 0,001$), indicando que a relação entre desempenho e CI varia ao longo das aulas. Esses resultados indicam que a carga cognitiva intrínseca está mais relacionada ao progresso da aprendizagem e à complexidade dos conteúdos.

A análise dos efeitos fixos indicou que o intercepto apresentou efeito significativo ($\beta = -1,94$; IC95% -3,78 a -0,11; $p = 0,038$). Entre as variáveis AULA, nenhuma apresentou efeito isolado significativo, enquanto o nível PEF = 3 mostrou associação positiva significativa ($\beta = 2,17$; IC95% 0,19 a 4,16; $p = 0,033$). Valores de DES demonstraram efeitos significativos, com β variando de 1,25 a 4,56 ($p < 0,05$). Interações entre AULA e DES revelaram padrões complexos: algumas combinações apresentaram efeito negativo significativo, como AULA 1 com DES = 0,1262 ($\beta = -3,21$; IC95% -5,35 a -1,08; $p = 0,004$), enquanto outras tiveram efeito positivo.

Esses resultados indicam que a CI não é determinada isoladamente pelo tipo de aula ou pelo perfil do estudante, mas resulta de interações entre elementos instrucionais e a complexidade da tarefa.

Carga Cognitiva Extrínseca (CE)

Para a CE, observou-se efeito significativo do tempo (AULA: $F(5,84) = 7,967$; $p < 0,001$), enquanto PEF e sua interação com o tempo não foram significativos. O desempenho apresentou efeito altamente significativo ($F(43,84) = 44,781$; $p < 0,001$), assim como a interação $AULA \times DES$ ($F(203,84) = 3,486$; $p < 0,001$), indicando que a percepção da carga extrínseca depende do desempenho e do momento da sequência didática.

O intercepto teve efeito significativo ($\beta = -1,56$; IC95% -3,11 a -0,01; $p = 0,049$). Nenhum nível de AULA ou PEF isoladamente apresentou efeito significativo. Entretanto,

interações entre AULA e DES foram significativas, como em AULA 3, na qual níveis específicos de DES apresentaram associações positivas ($\beta = 2,36$; IC95% 0,56-4,16; $p = 0,011$ e $\beta = 2,58$; IC95% 0,66-4,49; $p = 0,009$).

Esses resultados evidenciam que a CE é modulada pelo desempenho e pelas características contextuais das atividades, reforçando a importância do design instrucional.

Carga Cognitiva Pertinente (CP)

A fim de investigar se existe associação entre AULA, PEF e DES sobre a Carga Cognitiva Pertinente (CP) ao longo do tempo, foi ajustado um modelo de efeitos mistos considerando efeitos principais e interações. Os resultados indicaram efeito significativo de AULA ($F=3,85$; $p=0,003$) e de DES ($F=43,62$; $p<0,001$) sobre a CP, enquanto o fator PEF não apresentou efeito estatisticamente significativo ($F=0,879$; $p=0,455$).

As estimativas dos coeficientes revelaram que o efeito de AULA, embora significativo no teste global, apresenta variações modestas em relação à aula de referência, com tendência de redução da CP em algumas aulas (por exemplo, AULA 2: $\beta \approx -0,81$) e leve aumento em outras (AULA 4: $\beta \approx 0,32$), indicando um efeito moderado da progressão instrucional sobre a carga prescritiva. Em contraste, DES mostrou-se o principal determinante da CP, com coeficientes predominantemente negativos, indicando que níveis mais elevados de desempenho estão associados a menores valores de CP (por exemplo, DES=-0,5022: $\beta \approx -3,12$; $p=0,001$; DES=1,0276: $\beta \approx -2,43$; $p<0,001$).

Observou-se ainda uma interação significativa entre AULA e DES ($F=3,44$; $p<0,001$), evidenciando que o efeito das aulas sobre a CP depende do nível de desempenho dos estudantes. Em particular, estudantes com DES mais alto apresentaram aumentos significativos da CP em determinadas aulas (por exemplo, AULA 1 \times DES=-0,5022: $\beta \approx 2,49$; $p=0,007$), enquanto estudantes com DES mais baixo tenderam a perceber menor carga pertinente ao longo da sequência didática. As interações envolvendo PEF não foram significativas, indicando que esse fator não modifica os efeitos da AULA ou do DES sobre a CP.

Em síntese, os resultados indicam que a CP é predominantemente explicada pelo desempenho dos estudantes, sendo modulada pela progressão das aulas, o que reforça a ideia de que a carga pertinente diminui à medida que aumenta a autonomia cognitiva e o domínio conceitual, em consonância com a Teoria da Carga Cognitiva.

5 Considerações Finais

Esse trabalho parte de questões importantes a serem consideradas no contexto de ensino de ciências, tendo em vista aspectos relacionados ao processo cognitivo dos sujeitos, o design instrucional e parâmetros fundamentados por perspectivas teóricas da neurociência. Entender em que medida características funcionais associadas ao processo cognitivo subsidiam a construção de conhecimento científico podem trazer apontamentos relevantes para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem de conteúdos científicos, tendo em vista as dificuldades e obstáculos que temos para o alcance da formalização do pensamento nessa área (DAWSON, 2004).

Nosso estudo investigou as relações entre a mudança no desempenho dos estudantes, tomada como indicador de aprendizagem, a carga cognitiva ao longo de uma sequência didática e o perfil de memória de trabalho, buscando compreender como esses fatores se articulam no processo de construção do conhecimento científico. Para isso, analisamos a evolução do desempenho antes e após a instrução e sua associação com as diferentes dimensões da carga cognitiva, considerando também possíveis influências das características cognitivas individuais.

A análise das associações entre a mudança de desempenho dos estudantes (indicador de aprendizagem), e o perfil de memória de trabalho não revelou relações significativas. Ou seja, possuir um perfil de memória de trabalho maior ou menor aparentemente não influencia a carga cognitiva ao longo das aulas da sequência didática, nem está diretamente associada ao desempenho em tarefas que envolvem conceitos científicos. Esse resultado em particular traz importantes implicações do ponto de vista de interpretação sobre os processos de construção de conhecimento na área de Ciências. O fato de ter a capacidade de lidar com múltiplas informações simultaneamente em memória de curto prazo não fazer diferença para a aprendizagem de longo prazo sugere que outros tipos de funções executivas são mais determinantes para que conhecimento científico seja consolidado. A memorização, nessa interpretação, não é relevante para o entendimento de conteúdos complexos; temos a hipótese de que outras funções executivas tenham mais impacto nesse sentido, tal como as associadas ao controle inibitório, planejamento, tomada de decisão e flexibilidade cognitiva. Isso porque o pensamento científico demanda o estabelecimento de relações e construção de significados, assim como generalizações (BRUNER, 1960) que extrapolam a simples retenção de informações em memória de curto prazo. Não se descarta, contudo, a importância do perfil de memória de trabalho na aprendizagem científica; os resultados indicam apenas que seu papel

pode ser secundário em relação a outras funções cognitivas, apontando a necessidade de estudos futuros que aprofundem essa questão.

Por outro lado, a carga cognitiva ao longo do tempo, por outro lado, demonstrou estar relacionada ao nível de aprendizagem dos alunos, sendo essa associação não constante ao longo do tempo. À medida que o estudante aprende, seu repertório cognitivo se amplia, o que modifica a percepção do esforço mental exigido pelas tarefas. Especificamente, com o aumento do repertório, a carga Estranha (CE) tende a diminuir, enquanto a carga Intrínseca (CI) e a carga Pertinente (CP) tendem a aumentar (SWELLER,1988). Dessa forma, a relação entre aprendizagem e carga cognitiva é dinâmica e codependente: mudanças no conhecimento alteram a forma como os estudantes percebem e gerenciam a complexidade das tarefas.

Em conjunto, os achados fornecem evidências de que a aprendizagem exerce efeito direto sobre a carga cognitiva: à medida que os alunos aprendem, as demandas percebidas das tarefas se ajustam, resultando na diminuição da CE e no aumento da CI e da CP. Observa-se, ainda, que esses efeitos não dependem do perfil de memória de trabalho do estudante. Ou seja, a capacidade de lidar com múltiplas informações simultaneamente não garante, por si só, maior aprendizado ou modificação na carga cognitiva percebida.

Em suma, os resultados desse estudo apontam para o fato de que reter muitas informações ao mesmo tempo não significa, necessariamente, construir conhecimento científico. A aprendizagem envolve reorganização e automação de esquemas cognitivos, o que modifica a percepção de esforço diante das tarefas. Esses resultados evidenciam a necessidade de estudos que aprofundem nas questões postas e tragam apontamentos mais eficazes para que o processo de ensino-aprendizagem seja otimizado.

Referências

BADDELEY, A. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, v. 4, n. 11, p. 417–423, 2000.

BADDELEY, A. Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, v. 63, p. 1–29, 2012.

BIGGS, J.; COLLIS, K. *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press, 1982.

BRUNER, J. S. *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009.

CASE, R. Capacity-based explanations of cognitive growth. In: CASE, R. *Intellectual development: birth to adulthood*. New York: Academic Press, 1995.

CHALMERS, R. P. mirt: A Multidimensional Item Response Theory Package for the R Environment. *Journal of Statistical Software*, v. 48, n. 6, p. 1–29, 2012.

CHANDLER, P.; SWELLER, J. Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, v. 8, n. 4, p. 293–332, 1991.

COWAN, N. Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, v. 26, p. 197–223, 2014.

COMMONS, M. L. et al. Hierarchy and complexity in the development of human cognition. In: DEMETRIOU, A.; SHAYER, M.; EFKLIDES, A. (org.). *Neo-Piagetian theories of cognitive development*. London: Routledge, 2008. p. 237–268.

DAWSON, T. L. The Lectica Assessment System. 2004. Disponível em: <https://www.lecticalive.org>. Acesso em: 27 dez. 2025.

DIAMOND, A. Executive functions. *Annual Review of Psychology*, v. 64, p. 135–168, 2013.

DRIVER, R. et al. *Making sense of secondary science: support material for teachers*. London: Routledge, 2004.

FISCHER, K. W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, v. 87, n. 6, p. 477–531, 1980.

FISCHER, K. W.; BIDELELL, T. R. Dynamic development of action, thought, and emotion. In: DAMON, W.; LERNER, R. M. (org.). *Handbook of child psychology*. 6. ed. New York: Wiley, 2006.

GRABNER, R. H. et al. Intelligence and working memory systems: evidence of neural efficiency in alpha band ERD. *Cognitive Brain Research*, v. 20, n. 2, p. 212–225, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.02.010>.

PAAS, F. G. W. C. Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, v. 84, n. 4, p. 429–434, 1992.

PAAS, F.; RENKL, A.; SWELLER, J. Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist*, v. 38, n. 1, p. 1–4, 2003.

RECKASE, M. D. Historical background for multidimensional item response theory (MIRT). In: RECKASE, M. D. *Multidimensional item response theory*. New York: Springer, 2009. p. 57–77.

REDISH, E. F. *Teaching physics with the physics suite*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, v. 12, n. 2, p. 257–285, 1988.

SWELLER, J. Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology & Society*, v. 23, n. 2, p. 1–8, 2020.

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. *Cognitive load theory*. New York: Springer, 2011.

SWELLER, J.; VAN MERRIËNBOER, J. J. G.; PAAS, F. Arquitetura cognitiva e design instrucional: 20 anos depois. *Educational Psychology Review*, v. 31, n. 2, p. 261–292, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É chegado ao término desta investigação, após uma longa trajetória que percorreu sete capítulos estruturados em formato de artigos. Nesta seção, buscamos sintetizar os principais resultados obtidos a partir da construção e validação dos instrumentos e da análise dos dados, refletindo sobre o desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, destacamos os percalços enfrentados, a importância dos resultados encontrados e suas implicações para a área de ensino, bem como as limitações e projeções para estudos futuros. Em seguida, apresento a lista de anexos e apêndices que compõem a tese.

Síntese dos Resultados

Esta tese trouxe contribuições significativas para a pesquisa em ensino, de forma geral, e para o ensino de Física e de Ciências, em particular, abrangendo dimensões teóricas, metodológicas e pedagógicas. O estudo teve como objetivo investigar em que medida a aprendizagem de conceitos científicos sobre eletricidade, ocorrida em uma instrução didática fundamentada em metodologias ativas, está associada à carga cognitiva emergente nas tarefas e ao perfil de memória de trabalho dos estudantes. Ao longo dos sete artigos que compõem esta tese, foi possível abordar, de forma integrada, diferentes aspectos do processo de ensino-aprendizagem, desde a fundamentação teórica até a avaliação de intervenções pedagógicas em contextos reais de sala de aula.

Os estudos iniciais evidenciaram a relevância da Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) como referência para o design instrucional, demonstrando que o ganho no ensino depende do alinhamento entre as características da cognição humana e a organização das tarefas (Artigo 1). O planejamento adequado das atividades, que considere as cargas cognitivas intrínseca, estranha e pertinente, foi discutido como fundamental para reduzir a sobrecarga cognitiva e otimizar a construção de esquemas mentais na memória de longo prazo. Nesse contexto, o trabalho também sistematizou e discutiu 29 recomendações instrucionais baseadas em evidências empíricas, apresentadas por Sweller et al. (2006) na obra *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load*, ilustrando exemplos de aplicação dessas diretrizes no ensino de Física como estratégias para promover carga cognitiva pertinente e favorecer a aprendizagem.

A construção e validação de instrumentos e sequências didáticas revelaram-se etapas essenciais para assegurar a consistência interna e a confiabilidade metodológica dos materiais

utilizados (Artigos 2 e 3). Destacou-se a importância de desenvolver materiais didáticos de qualidade, capazes de atingir efetivamente os objetivos de aprendizagem, considerando que muitos recursos educacionais são empregados sem passar por processos sistemáticos de validação, o que pode comprometer sua efetividade pedagógica e gerar resultados enviesados. Nesse sentido, a validação por especialistas configurou-se como uma etapa central para garantir a relevância didática e a adequação metodológica do conteúdo científico abordado.

Os resultados da validação da Sequência Didática (SD) confirmaram a consistência do material elaborado. A elevada concordância observada entre os juízes (Índice de Percentual de Concordância – IPC), tanto nos objetivos gerais quanto nas atividades propostas e nas metodologias ativas empregadas, indicou forte consistência interna e validade de conteúdo. Os especialistas reconheceram o potencial didático da SD, destacando sua capacidade de motivar e engajar os estudantes por meio da contextualização com o tema do celular e do uso estratégico de metodologias como gamificação e estudo de caso.

As contribuições dos juízes foram fundamentais para o aprimoramento final da SD. As sugestões incorporadas permitiram refinar a linguagem, ampliar a clareza das instruções e fortalecer o suporte ao professor, assegurando que o material final fosse aplicável em diferentes contextos de sala de aula. Dessa forma, o estudo oferece uma contribuição metodológica relevante ao detalhar as etapas de elaboração e validação de um material instrucional fundamentado em metodologias ativas, com o uso de tecnologias digitais, podendo servir como referência para outras pesquisas que buscam conferir maior rigor e coerência a intervenções educacionais.

Com a validação concluída, a Sequência Didática passou a apresentar maior confiabilidade para sua aplicação em contextos educacionais voltados ao ensino dos conteúdos propostos. Essa etapa foi fundamental para viabilizar estudos subsequentes destinados à avaliação de sua contribuição no processo de ensino-aprendizagem, a partir da mensuração do desempenho e da consequente aprendizagem dos estudantes ao longo das aulas.

No que se refere ao desenvolvimento de instrumentos avaliativos, o Artigo 3 abordou a construção e validação de um banco de 40 itens sobre corrente e circuitos elétricos. A validação ocorreu de forma amostral, e os resultados evidenciaram a presença das facetas fenomenológica e procedimental do conhecimento. Houve confiabilidade interna adequada ($\alpha > 0,7$) e excelente separação de itens (5,72; confiabilidade 0,97). O mapa de itens: i) indicou boa dispersão de itens e pessoas, garantindo a adequação do teste para dimensionar diferentes

habilidades e a adequação da amostra para inferir sobre o conhecimento almejado; ii) foi utilizado para inferir sobre a aprendizagem a partir da diferença de médias entre a dificuldade dos itens e as habilidades das pessoas no pré e no pós-teste, indicando aumento das habilidades e diminuição da dificuldade relativa dos itens; iii) indicou maior aprendizagem nos itens que abrangem o aspecto fenomenológico do que naqueles correspondentes ao aspecto procedimental, mostrando que a SD favoreceu maior aprendizagem em termos de compreensão de definições e explicações do que em termos de aplicação.

De modo geral, a validação por especialistas e a análise do banco de itens forneceram evidências robustas de consistência interna e capacidade discriminativa, constituindo uma base sólida para diagnósticos mais detalhados do conhecimento em eletricidade e para o desenvolvimento de intervenções pedagógicas mais eficazes em pesquisas futuras.

A aplicação de sequência didática fundamentada em metodologias ativas promoveu ganhos significativos na aprendizagem (Artigos 4 e 5). No que se refere à aprendizagem mediada por metodologias ativas sobre conceitos de corrente e circuitos elétricos, os Artigos 4 e 5 apresentaram evidências empíricas de ganhos no entendimento, tanto do aspecto fenomenológico quanto do aspecto procedimental, decorrentes da aplicação da Sequência Didática. As análises psicométricas indicaram aumento altamente significativo da proficiência dos estudantes ($\Delta = 1,35$ logits; $p < 0,001$), com deslocamento coletivo ao longo da escala de desempenho, confirmando a ocorrência de aprendizagem a partir da intervenção.

A análise da dimensionalidade revelou que os avanços não se restringiram às bases fenomenológicas, mas incluíram progressos relevantes no entendimento procedimental, envolvendo a aplicação de leis físicas, a interpretação de situações-problema e o raciocínio analítico.

Complementarmente, a análise da qualidade da aprendizagem, à luz da Taxonomia SOLO, evidenciou um movimento ascendente na complexidade do entendimento da maioria dos estudantes. Destacou-se que: (i) na questão considerada mais simples, não se observaram mudanças expressivas em direção a níveis mais complexos de aprendizagem, o que pode estar associado ao fato de que ela não exigia explicitamente a descrição do entendimento almejado; (ii) nas demais questões, verificaram-se dois ciclos de evolução e maior progressão; contudo, essa progressão não alcançou os níveis mais elevados de complexidade. Esse resultado indica que a SD foi bem-sucedida em promover a aprendizagem dos conteúdos no nível de construção do conhecimento, especialmente no patamar fundamental dos conceitos; porém, os níveis mais

complexos não foram atingidos. Uma hipótese explicativa é que esse tipo de metodologia não ensina de forma explícita tais relações complexas, considerando que seu foco está na contextualização.

A análise da carga cognitiva (Artigos 6 e 7) evidenciou diferenças sistemáticas entre as abordagens metodológicas adotadas ao longo da SD, refletidas nos distintos perfis de carga demandados pelas tarefas. Observou-se que metodologias ativas do tipo ABP e PBL estiveram associadas a níveis mais baixos de carga pertinente, enquanto metodologias do tipo SBL, ABP-proj. e gamificação apresentaram cargas pertinentes mais elevadas, o que pode ser explicado pelas características próprias de cada abordagem. Metodologias com maior grau de estruturação, orientação explícita e sequenciamento progressivo tenderam a demandar menor carga estranha, como aquelas baseadas em simulações, gamificação, ABP-proj. e PBL; por outro lado, metodologias do tipo ABP e PBL implicaram maior carga cognitiva intrínseca. Essas diferenças sugerem que o modo como a tarefa é organizada e apresentada influencia diretamente o esforço mental requerido.

Verificou-se que, ao longo do tempo, houve aumento progressivo da carga cognitiva pertinente, seguido de aumento da carga intrínseca, concomitantemente à diminuição da carga estranha. Esse padrão é teoricamente esperado, pois indica que os estudantes passaram a investir mais recursos cognitivos na construção de esquemas e no aumento do repertório, enquanto elementos irrelevantes ou mal estruturados da tarefa foram progressivamente minimizados. Tal resultado é consistente com a ideia de ampliação do repertório cognitivo e de maior eficiência no processamento da informação à medida que a aprendizagem avança.

No que se refere às relações entre perfil de memória de trabalho, aprendizagem e carga cognitiva, os resultados indicaram ausência de associação direta entre o perfil de memória de trabalho e a aprendizagem ao longo do tempo. Em contrapartida, observou-se associação entre a aprendizagem e as cargas cognitivas, ainda que essa relação não tenha se mantido constante em todas as etapas da SD. Esse resultado sugere que o perfil de memória de trabalho, embora desempenhe papel fundamental na manutenção temporária de informações, não atua de forma isolada como determinante da aprendizagem ou da modulação da carga cognitiva. A construção do conhecimento parece depender da atuação integrada de outras funções executivas, como controle inibitório, tomada de decisão e flexibilidade cognitiva, bem como da interação entre o design instrucional e a progressão gradual das atividades propostas.

Especificamente, não foi identificada associação entre o perfil de memória de trabalho, avaliado por meio do Digit Span Forward, e os indicadores de aprendizagem, o que constitui uma limitação a ser considerada na interpretação dos resultados. A literatura aponta que o Digit Span Backward, por exigir não apenas a manutenção, mas também a manipulação ativa da informação, apresenta maior correlação com habilidades cognitivas superiores, como compreensão leitora, resolução de problemas e aprendizagem conceitual em Ciências (Cowan, 2014). Nesse sentido, a ausência dessa medida no delineamento da pesquisa pode ter restringido a detecção de relações entre perfil de memória de trabalho e aprendizagem. Assim, esses achados indicam a necessidade de investigações futuras que incorporem o Digit Span Backward para analisar sua relação com a aprendizagem conceitual e a carga cognitiva.

Em termos de contribuições práticas, esta pesquisa reforça a importância de:

1. Desenvolver materiais e sequências de ensino validados, contextualizados e adaptados à arquitetura cognitiva dos estudantes;
2. Planejar atividades graduais e desafiadoras que integrem conhecimentos prévios e favoreçam o conhecimento fenomenológico e procedimental;
3. Monitorar o progresso dos estudantes por meio de instrumentos consistentes, que possibilitem ajustes no design instrucional e intervenções pedagógicas mais precisas.

Pesquisas como esta, que buscam correlacionar a aprendizagem de conceitos científicos relacionados à corrente elétrica, promovida por uma instrução didática fundamentada em metodologias ativas, às demandas de carga cognitiva e ao papel do perfil de memória de trabalho dos estudantes, podem potencializar a aprendizagem, promovendo experiências educativas mais profundas, significativas e duradouras.

Nesse sentido, a utilização da proficiência obtida por meio da modelagem Rasch e da mensuração da carga cognitiva por meio de testes e da escala de Paas, teoricamente fundamentados, em vez de se basear apenas em notas de exames ou na análise da participação do estudante em aula como indicador direto de aprendizagem, proporciona informações mais robustas. Soma-se a isso a construção de material pedagógico com metodologias ativas, estruturado para o ensino de Física em sala de aula, bem como a validação e os ajustes do banco de itens, cujos resultados foram transformados em medidas numéricas qualificadas pela teoria subjacente ao entendimento que está sendo acessado, fortalecendo a consistência teórica e metodológica do estudo.

Relevância e implicações da pesquisa

No plano teórico, esta pesquisa reforça a relevância da Teoria da Carga Cognitiva (TCCO) na interface com a área de ensino, fornecendo subsídios sólidos para compreender o papel das cargas cognitivas intrínseca, estranha e pertinente no processo de aprendizagem. Os resultados evidenciam a importância de alinhar o design instrucional às características da cognição humana, de modo a minimizar a sobrecarga cognitiva e favorecer a construção, integração e automação de esquemas na memória de longo prazo. Uma limitação, contudo, refere-se ao fato de não ter sido possível inferir a carga na tarefa de Digit Span (que ocorreria a partir dos dados de EEG) e, assim, estabelecer associações com o dado fisiológico, previamente indicado como relevante para o avanço teórico-metodológico.

No âmbito metodológico, a tese trouxe avanços importantes na construção e validação de instrumentos de coleta e análise de dados. Foram desenvolvidos protocolos que integraram, de forma pioneira, medidas fisiológicas, escalas e testes psicométricos, possibilitando avaliar com maior precisão as demandas cognitivas dos estudantes. Embora não faça parte do escopo deste relato, o protocolo integra a pesquisa desenvolvida e contribui metodologicamente para investigações que pretendam estudar a cognição. A validação por especialistas dos materiais didáticos e de pesquisa apresenta um delineamento que pode ser empregado em diversas investigações no campo das intervenções educacionais.

Uma limitação do estudo refere-se ao fato de que os materiais didáticos foram concebidos em um contexto específico, o ensino de conceitos sobre corrente e circuitos elétricos, o que pode restringir sua aplicação direta a outros cenários educacionais. No entanto, os testes e instrumentos desenvolvidos apresentam potencial de uso em diferentes pesquisas que investiguem a aprendizagem de conceitos de eletricidade, uma vez que não dependem exclusivamente do contexto didático em que foram originalmente aplicados. Assim, embora os materiais didáticos estejam contextualizados, os instrumentos de avaliação configuram-se como recursos metodológicos transferíveis e passíveis de adaptação a outras investigações na área.

Do ponto de vista pedagógico, foram produzidos três materiais didáticos aplicáveis a diferentes níveis de ensino: um guia detalhado para professores, materiais de apoio para estudantes e um site interativo desenvolvido com linguagem dialogada ao longo de todo o conteúdo. Os resultados desta pesquisa orientam o emprego desses materiais e demonstram

como a articulação entre teoria, metodologia e prática pode favorecer estratégias de ensino que possam contribuir para uma aprendizagem profunda.

Além dos resultados e produtos apresentados, esta tese proporcionou impacto significativo na minha formação como pesquisadora na área de ensino de Ciências e Física. Por meio de análises mistas, foi possível compreender de forma mais detalhada como os estudantes aprendem e quais fatores facilitam esse processo, fornecendo subsídios para o aprimoramento do design de materiais de ensino, da organização das atividades e da personalização da aprendizagem, considerando a individualidade de cada estudante.

Do ponto de vista das implicações, destaca-se que os resultados referentes às diferenças de carga entre metodologias ativas apontam para a necessidade de considerar o repertório cognitivo na elaboração dessas estratégias. Além disso, o fato de determinada faceta do conhecimento (fenomenológica) ter sido mais favorecida nesse tipo de abordagem coloca em pauta a questão da adequação da estratégia adotada. É necessário reconhecer, sem juízo de valor, que o tipo de conhecimento alcançado quando o ensino se pauta na contextualização, com linguagem mais familiar e foco sobretudo nos aspectos descritivos e explicativos dos conteúdos, tende a favorecer menos o desenvolvimento do aspecto procedimental, relacionado às relações entre variáveis para a resolução de problemas. Da mesma forma, tais estratégias promoveram níveis de complexidade de entendimento mais compatíveis com essas descrições, sendo o patamar formal menos expressivo. Ainda que sejam necessários outros estudos para aprofundar esse resultado, é importante considerar que nenhuma estratégia, por si só, garante aprendizagem total, geral e completa. Conhecer o potencial de cada uma e seus resultados de aprendizagem é imprescindível para assegurar maior contribuição ao ensino, garantida pela autonomia docente na escolha consciente dos materiais mais adequados aos seus objetivos.

Outra implicação relevante desta pesquisa decorre dos resultados referentes às associações entre perfil de memória de trabalho, cargas cognitivas e aprendizagem. O fato de não ter sido identificada associação direta entre o perfil de memória de trabalho, avaliado por meio do Digit Span Forward, e a aprendizagem de conteúdos científicos traz implicações importantes para a interpretação do processo de aprender, na medida em que sugere que a capacidade de reter simultaneamente grande volume de informações não é, por si só, condição essencial para a construção desse tipo de conhecimento. Conforme discutido anteriormente, a literatura indica que o Digit Span Backward, por envolver manipulação e reorganização da informação, está mais associado a habilidades cognitivas de ordem superior, como raciocínio

lógico e resolução de problemas; no entanto, essa medida não foi contemplada no delineamento do presente estudo. Assim, os resultados obtidos não permitem descartar o papel do perfil de memória de trabalho na aprendizagem científica, mas apontam para a necessidade de investigações que avancem além de medidas de armazenamento simples, incorporando avaliações de outras funções executivas. Os achados sugerem, ainda, que a construção do conhecimento científico pode estar mais fortemente associada a funções que demandam estabelecimento de relações entre variáveis, integração de informações e coordenação de múltiplos elementos, reforçando a importância de investigar aspectos relacionais e executivos mais complexos no estudo da aprendizagem em Ciências.

Adicionalmente, a pesquisa trouxe contribuição relevante à área da neurociência educacional, por meio do protocolo de coleta desenvolvido, com potencial de aplicação também em contextos de saúde. Os resultados evidenciaram, ainda, que a aprendizagem se relaciona a mudanças nos padrões de carga cognitiva, em consonância com a literatura da área: à medida que o repertório cognitivo dos estudantes se amplia, elementos inicialmente percebidos como ruído tendem a perder relevância, refletindo a diminuição da carga estranha, enquanto se observa maior investimento de esforço cognitivo na compreensão dos conteúdos, expresso pelo aumento da carga intrínseca e da carga pertinente, associado a melhores resultados de aprendizagem.

Nesse sentido, considero que o percurso da pesquisa, os resultados alcançados e o desenvolvimento profissional obtido ao longo do doutorado contribuíram de forma significativa para minha atuação acadêmica. Pretendo utilizar os conhecimentos construídos para aprofundar investigações na interface entre neurociência e aprendizagem, com foco na construção de materiais educacionais que considerem a arquitetura cognitiva dos estudantes e promovam aprendizagem efetiva e significativa.

Limitações e projeções para estudos futuros

Entre as limitações desta pesquisa, destaca-se a necessidade de aplicação das sequências didáticas e dos instrumentos de avaliação em amostras mais heterogêneas, abrangendo diferentes faixas etárias, níveis de escolaridade e contextos educacionais. Além disso, alguns instrumentos podem ser aprimorados com o objetivo de reduzir efeitos de cansaço e ambiguidades semânticas que, eventualmente, podem subestimar o desempenho e a complexidade do raciocínio dos estudantes.

Outro aspecto a ser considerado refere-se às limitações temporais e logísticas, especialmente no que diz respeito à coleta de dados fisiológicos. A complexidade e os desafios técnicos enfrentados durante a coleta de EEG e pupilometria demonstram que essas medidas demandam ajustes metodológicos e condições adequadas de infraestrutura para garantir a qualidade de coletas futuras.

Para estudos futuros, pretende-se aplicar os materiais didáticos validados em outros domínios da Física ou das Ciências, bem como em diferentes modalidades de ensino, a fim de avaliar a generalização e a contribuição dos recursos desenvolvidos. Além disso, a integração de dados comportamentais, cognitivos e fisiológicos em amostras ampliadas poderá possibilitar um entendimento mais abrangente dos mecanismos subjacentes à aprendizagem, contribuindo para a elaboração de estratégias pedagógicas cada vez mais alinhadas à arquitetura cognitiva dos estudantes.

Também se pretende aprofundar a investigação da relação entre a automatização de esquemas cognitivos e funções executivas não exploradas neste trabalho, como controle inibitório, tomada de decisão e flexibilidade cognitiva. Tais investigações podem fornecer evidências sobre como diferentes processos interagem durante a aprendizagem científica, impactando a retenção de longo prazo e a transferência do conhecimento para novos contextos.

Adicionalmente, planeja-se aprofundar os estudos de análise de dados de EEG e pupilometria com o uso do MATLAB, de modo a compreender melhor o papel dessas medidas fisiológicas e explorar outras funções executivas, investigando suas contribuições para a aprendizagem científica.

Percalços Enfrentados

Desenvolver uma pesquisa que envolvesse a triangulação de diferentes frentes teórico-metodológicas apresentou desafios significativos, decorrentes do caráter inédito do estudo. O projeto inicialmente buscava articular uma perspectiva de neurociência educacional, integrando dados fisiológicos, escalas de percepção de carga cognitiva, aplicação de oficinas e coletas em contexto de ensino, abordagem ainda incipiente, conforme reporta a literatura.

Os desafios surgiram em diferentes etapas. A coleta de dados, combinando medidas da área de ensino com indicadores fisiológicos, exigiu esforços logísticos e metodológicos complexos para possibilitar a triangulação dessas linhas de investigação. Inicialmente, o projeto

previa a participação de 350 estudantes do ensino médio e técnico. Após a obtenção das liberações do comitê de ética e a formalização de acordos com os docentes das instituições, enfrentamos um obstáculo inesperado: poucos dias antes do início da coleta da Sequência Didática (SD), o professor responsável pelas turmas desistiu de liberar os alunos, condicionando a participação à aplicação de outro conteúdo que não correspondia ao planejado, contrariando acordos prévios.

Essa situação resultou na perda de uma amostra robusta, que contribuiria para análises estatísticas mais significativas. Para superar esse impasse, o projeto foi reestruturado:

- alteraram-se os sujeitos e contextos, transformando a aplicação da SD em formato de oficina;
- redefiniram-se os objetivos e as questões de pesquisa;
- mudou-se o público-alvo para estudantes iniciantes do curso de licenciatura em Física.

A nova proposta inicialmente incluía a aplicação da oficina nos cursos de Física, Química, Matemática e Biologia. Após diversas tentativas de estabelecer parcerias com docentes e apresentações em múltiplos cursos e turnos, constatou-se que o número de inscritos nos demais cursos era insuficiente para garantir significância estatística. Diante dessa limitação, decidiu-se concentrar o estudo nos alunos de graduação em Física, que apresentavam número considerado aceitável de participantes. Fizemos mais uma adaptação em nosso projeto para adequá-lo a esse público e contexto.

A oficina foi aplicada em três turnos, em dias alternados, inclusive aos sábados, para permitir a participação de todos os estudantes, durante sete semanas ao todo, e foi oferecida certificação de carga horária como incentivo. Com essas adaptações, asseguramos a participação de 88 estudantes de graduação dos períodos iniciais do curso. Apesar das dificuldades, a coleta de dados foi realizada com sucesso.

A segunda etapa da coleta envolveu a parte de neurociência, na qual aplicamos o teste Digit Span e coletamos dados fisiológicos por meio de Eye Tracking (medindo pupilometria) e eletroencefalograma (EEG), utilizado para registrar frequências cerebrais. Diversas dificuldades foram enfrentadas: o protocolo de coleta, originalmente criado por Amantes (2023), na Universidade de Granada, precisou ser adaptado às condições locais, que apresentavam diferenças nos equipamentos, nos espaços físicos e na logística de pesquisa. O sensor, que deveria ser conectado ao EEG para estabelecer a sincronização das atividades, precisou ser construído. Além disso, como havia apenas um aparelho de EEG disponível para

múltiplos grupos de pesquisa e não contávamos com um espaço fixo para coleta, a orientadora disponibilizou seu gabinete na universidade. Por cerca de seis meses, esse espaço foi transformado em um ambiente improvisado para coleta, embora não fosse um laboratório adequado.

O equipamento precisava ser montado e desmontado diariamente, o que gerou problemas de conectividade e calibração, resultando na perda de sujeitos em algumas coletas. Cada sessão durava, em média, duas horas, e os horários eram condicionados à disponibilidade do aparelho e dos estudantes, exigindo coletas em horários alternativos, inclusive à noite, aos sábados, domingos e até em feriados. Além disso, havia interferências externas, como barulho de reformas no Instituto de Física, falta de compromisso dos alunos que agendavam horário e não compareciam, falhas temporárias do EEG e dificuldades com estudantes cujo cabelo dificultava a obtenção da impedância adequada da touca. O aparelho tinha duas toucas e, para otimizar o tempo, era necessário lavar e secar a touca entre as coletas. Considerando que não havia local apropriado para a higienização no gabinete da orientadora, isso era feito em outro andar do Instituto, no LAMPMEC, onde a touca era lavada e deixada para secar em frente ao ventilador. Esse processo me permitiu realizar até quatro sessões de coleta por dia.

Apesar de todos esses percalços, dificuldades e problemas técnicos, conseguimos realizar 60 coletas na etapa de neurociência. Não foi possível alcançar os 88 estudantes planejados, devido a limitações de tempo e às falhas recorrentes do sensor. Ainda assim, os ajustes e esforços logísticos permitiram a execução dessa etapa da coleta de dados fisiológicos. Foram momentos de grande cansaço, intercalados com a sensação de frustração, quando parecia que não conseguiríamos obter dados, e de alegria intensa, quando todos os aparelhos funcionavam corretamente e o sinal era registrado com a qualidade idealizada. Esses momentos de êxito traziam motivação e persistência. Ao longo do processo, mantive contato constante com minha orientadora para relatar e desabafar sobre os problemas e validar a precisão das coletas, além de contar com o apoio do meu coordenador, Raphael, sempre que o sensor ou algum eletrodo apresentava falhas e ele prontamente me auxiliava. Entre lágrimas, ansiedade e momentos de felicidade, a coleta foi finalmente concluída.

Após a coleta de todos esses dados, os percalços passaram para a etapa de tratamento dos mesmos. Como o protocolo de coleta era inédito, enfrentamos dificuldades para organizar e preparar os dados para análise. Tivemos desafios tanto na construção de scripts para filtrar, limpar e tratar as informações quanto na recuperação de dados que apresentaram problemas durante a coleta. Por exemplo, a entrada do sensor da touca queimou, obrigando-nos a utilizar

apenas um eletrodo diferente, o que gerou sinais complexos e inconsistentes, exigindo grande esforço para compreender, identificar e interpretar corretamente os dados.

Arelado a isso, a questão do tempo nos levou a tomar decisões importantes para a finalização da tese. Como havia muitos dados coletados e o prazo para defesa estava apertado, decidimos não utilizar os dados fisiológicos nesta tese. Essa escolha foi necessária para que a defesa acontecesse dentro do cronograma estabelecido. No entanto, temos muitos dados das escalas NASA, de pupilometria e de EEG que serão utilizados em publicações de artigos futuros.

Foi difícil aceitar essa decisão. Era um desejo profundo que minha tese tivesse nove artigos, incluindo os dados de pupilometria e EEG, mas compreendo a grandiosidade e a ousadia de tentar isso dentro do tempo de um doutorado. Apesar do desejo de fazer mais, a orientadora, com sua sabedoria, me lembrava que “já está bom, você já tem material suficiente e de qualidade para defender”. Mais uma vez, precisei lidar com o desapego de aceitar que a tese não ficaria exatamente como eu queria, mas, ao mesmo tempo, tive clareza sobre o que desejo atuar ao longo da minha vida como pesquisadora.

Esta pesquisa me enche os olhos, aquece meu coração, e sinto-me muito feliz e realizada por tê-la desenvolvido. Há amor, dedicação e orgulho em cada linha escrita e em cada momento dessa minha formação.

ANEXOS

-Parecer comitê de ética

APÊNDICES

-APÊNDICE A- Sequência didática

- APÊNDICE B- Barema

- APÊNDICE C- Banco de itens

-APÊNDICE D- Fotos coleta

- APÊNDICE E- Estatística e modelagem

ANEXO-Parecer do comitê de Ética

FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA - FAGED



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Estabelecendo relações entre a evolução do entendimento e carga cognitiva para investigar aprendizagem em Física

Pesquisador: Ericarla de Jesus Souza

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 83397324.7.0000.0348

Instituição Proponente: Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia - FAGED

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.368.032

Apresentação do Projeto:

Trata-se do parecer sobre o protocolo de pesquisa intitulado 'Estabelecendo relações entre a evolução do entendimento e carga cognitiva para investigar aprendizagem em Física', que consiste em um estudo longitudinal, fundamentado em uma abordagem metodológica mista. O projeto é dividido em dois estudos, cada um com foco em aspectos distintos: Aprendizagem e Carga Cognitiva. O Estudo 1 aborda a aprendizagem de conceitos científicos por meio da aplicação de uma sequência didática. Já o Estudo 2 investiga a carga cognitiva, examinando a memória de trabalho dos participantes e o esforço mental envolvido em tarefas de memorização. O objetivo geral do projeto é: 'Avaliar a associação entre a evolução do entendimento sobre conceitos científicos dos estudantes submetidos a uma instrução didática desenhada na perspectiva de metodologias ativas e as demandas de carga cognitiva relacionadas à memorização'. Os participantes de pesquisa serão estudantes com idade igual ou superior a 18 anos, e a pesquisa será realizada no Instituto de Física da UFBA. Os dados serão coletados por meio de uma intervenção educacional e por registros de EEG (eletroencefalograma).

Foi apresentado o seguinte: formulário de informações básicas da Plataforma Brasil

Objetivo da Pesquisa:

¿OBJETIVO: Avaliar a associação da evolução do entendimento sobre conceitos científicos dos estudantes submetidos a uma instrução didática desenhada na perspectiva de metodologias

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N
Bairro: Canela **CEP:** 40.110-100
UF: BA **Município:** SALVADOR
Telefone: (71)3283-7213 **Fax:** (71)3283-7272 **E-mail:** cepfaced@ufba.br

Continuação do Parecer: 7.368.032

ativas com demandas de carga cognitiva relacionadas à memorização. OBJETIVO ESPECÍFICOS: I. Apresentar e discorrer sobre a Teoria de Carga Cognitiva e a relação com possíveis interfaces do ensino e da aprendizagem. II. Construir e validar uma sequência didática (SD) sobre o funcionamento do celular, pautada nas metodologias ativas e no uso de tecnologias digitais para o ensino de corrente e circuitos elétricos. III. Construir e validar um banco de itens sobre corrente e circuitos elétricos. IV. Mapear a evolução do entendimento dos estudantes ao longo de uma intervenção didática. V. Identificar possíveis preditores de aprendizagem relacionados às características amostrais e características da abordagem (metodologias ativas). VI. Avaliar a carga cognitiva demandada pelas tarefas no decorrer de cada instrução didática. VII. Avaliar a carga cognitiva demandadas em tarefas de memorização, descritas em termos de memória de trabalho e função executiva. VIII. Identificar as possíveis correlações entre evolução do entendimento, carga cognitiva das atividades de instrução e carga cognitiva das tarefas de memorização. (PROJETO MODIFICADO, p. 6).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

¿Sobre os riscos: Considerando que a pesquisa está dividida em duas etapas principais Estudo 1: Aprendizagem e Estudo 2: Carga Cognitiva, foram elaborados dois TCLEs distintos, de forma a detalhar os procedimentos específicos de cada estudo.

Riscos e Procedimentos Éticos no Tratamento de Dados da Pesquisa

Embora os riscos envolvidos na pesquisa sejam mínimos, é fundamental identificá-los e adotar medidas preventivas para garantir a segurança e o

bem-estar dos participantes. ESTUDO 1: APRENDIZAGEM

Entre os riscos potenciais do Estudo 1, destacam-se:

1. Desconforto ou ansiedade ao serem expostos a novas formas de aprendizado: Participantes podem sentir desconforto, especialmente se não estiverem habituados a metodologias ativas, que exigem maior interação e protagonismo. Para mitigar esse risco, os objetivos das aulas e a dinâmica das metodologias serão previamente explicados. A participação será voluntária, respeitando-se os limites individuais de cada participante.
2. Desconforto social: Atividades como apresentações, trabalhos em grupo ou exposições podem causar desconforto em indivíduos mais introvertidos ou inseguros. Para minimizar esse risco, será promovido um ambiente acolhedor e inclusivo, com ênfase no respeito mútuo. Os participantes terão liberdade para escolher o nível de engajamento, sem obrigatoriedade de participação em

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N
 Bairro: Canela CEP: 40.110-100
 UF: BA Município: SALVADOR
 Telefone: (71)3283-7213 Fax: (71)3283-7272 E-mail: cepfaced@ufba.br

FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA - FACED



Continuação do Parecer: 7.368.032

atividades públicas.

3. Exposição de dados pessoais: Durante a coleta de dados, como questionários ou entrevistas, há um risco relacionado à exposição de informações

pessoais. Para prevenir esse problema, todos os dados serão tratados de forma anônima, garantindo a proteção das informações. Além disso, será

obtido consentimento informado para qualquer coleta de dados.

4. Cansaço mental: As metodologias ativas podem exigir maior concentração e envolvimento, resultando em cansaço mental, especialmente em

atividades intensas. Para reduzir esse risco, o cronograma será planejado com pausas adequadas e atividades em ritmo equilibrado, respeitando os

limites dos participantes.

5. Resistência ou frustração com metodologias ativas: Participantes que preferem métodos tradicionais de ensino podem apresentar resistência ou

frustração devido à maior autonomia exigida. Para mitigar esse risco, será oferecido suporte pedagógico, explicando os benefícios das metodologias ativas e abordando dúvidas e preocupações dos participantes.

ESTUDO 2: NEUROCIÊNCIA (CARGA COGNITIVA)

Embora os riscos associados à pesquisa do Estudo 2 sejam mínimos, é essencial identificá-los e implementar medidas para assegurar a segurança

e o bem-estar dos participantes. Entre os possíveis riscos destacados estão:

1. Coleta de dados por meio de Eletroencefalograma (EEG): Embora o procedimento seja amplamente seguro e não invasivo, pode causar leve

desconforto durante a aplicação dos eletrodos no couro cabeludo devido ao uso do gel condutor. Para minimizar esse risco, o processo será

realizado com cuidado para evitar qualquer desconforto físico ou psicológico. Além disso, os participantes terão o direito de interromper a coleta a

qualquer momento, caso sintam mal-estar.

2. Medição da dilatação pupilar: Este procedimento é seguro e não invasivo, não apresentando riscos significativos aos participantes.

3. Riscos psicossociais: Participantes podem sentir ansiedade ou insegurança durante os procedimentos. Para mitigar esses efeitos, será oferecido

suporte emocional ao longo de todo o processo. Também será garantido o direito de desistência a qualquer momento, sem penalizações ou

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N

Bairro: Canela

CEP: 40.110-100

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3283-7213

Fax: (71)3283-7272

E-mail: cepfaced@ufba.br

FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA - FACED



Continuação do Parecer: 7.368.032

prejuízos para os envolvidos.

Todos os participantes serão previamente informados sobre os procedimentos, os riscos envolvidos e suas responsabilidades. A coleta será realizada em um ambiente controlado e seguro, assegurando as condições necessárias para o bem-estar dos participantes. As medidas adotadas garantem que a participação na pesquisa seja segura e ética. Informações adicionais poderão ser fornecidas, se necessário, reforçando o compromisso com a transparência e o respeito aos

Sobre os benefícios: acredita-se que a aplicação de metodologias ativas trará benefícios significativos para o aprendizado, promovendo o desenvolvimento de habilidades críticas e colaborativas, além da relação com elementos da neurociência no caso a carga cognitiva. Todas as medidas necessárias para minimizar riscos e garantir o bem-estar dos participantes serão implementadas, seguindo rigorosamente os princípios éticos da pesquisa. (PB INFORMAÇÕES BÁSICAS DO PROJETO, p. 3-4).

Os riscos e benefícios foram apresentadas de maneira similar nos documentos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O protocolo de pesquisa refere-se ao protocolo segunda versão submetido ao CEP/FACED, que tem como objetivo "Avaliar a associação da evolução do entendimento sobre conceitos científicos dos estudantes submetidos a uma instrução didática desenhada na perspectiva de metodologias ativas com demandas de carga cognitiva relacionadas à memorização". O estudo é estruturado em duas fases: a primeira consiste na investigação de conceitos científicos por meio de uma proposta baseada em metodologias ativas, utilizando uma sequência didática; a segunda, de natureza experimental, envolve o uso de EEG para investigar a carga cognitiva, com foco na memória. Dado o delineamento em duas etapas, foram detalhados os riscos e benefícios para ambas as fases da pesquisa, bem como as medidas de prevenção associadas no formulário da Plataforma Brasil e os benefícios foram devidamente explicitados.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Ver campo "Conclusões ou pendências e lista de inadequações".

Recomendações:

Ver campo "Conclusões ou pendências e lista de inadequações".

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N
Bairro: Canela CEP: 40.110-100
UF: BA Município: SALVADOR
Telefone: (71)3283-7213 Fax: (71)3283-7272 E-mail: cepfaced@ufba.br

FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA - FACED



Continuação do Parecer: 7.368.032

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O protocolo submetido corresponde ao projeto de pesquisa detalhado nos objetivos, metodologia e cronograma. Todas as pendências apontadas foram corrigidas no formulário da PB. Não havendo mais óbices éticos, o protocolo pode ser considerado aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS nº 510 de 2016, manifesta-se pela aprovação. Favor submeter relatórios parciais (semestralmente) e final (término da pesquisa), por meio de notificação pela Plataforma Brasil, após esta aprovação do protocolo. O modelo de Relatório de Pesquisa CEP-FACED/UFBA está disponível em <https://faced.ufba.br/orientacoes-e-modelos>.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2418788.pdf	06/02/2025 07:16:57		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_modificado_2024.pdf	12/12/2024 18:57:49	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Orçamento	tcle_E2_modificado.pdf	12/12/2024 18:52:17	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_E1_modificado.pdf	12/12/2024 18:51:09	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	carta_resposta_de_pendencia_cepfacedassinado.pdf	12/12/2024 18:46:16	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_confidencialidade.pdf	12/09/2024 17:28:57	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_compromisso_do_pesquisador_1_okassinado.pdf	12/09/2024 17:24:36	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	TERMO_DE_ANUENCIA.pdf	11/09/2024 15:12:38	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_instituicao_coparticipante_IFBA_UAB.pdf	11/09/2024 15:09:02	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_autorizacao_da_intituicao_coparticipante_IFBA_SA.pdf	11/09/2024 15:08:18	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_autorizacao_da_instituicao_coparticipante_UNEB.pdf	11/09/2024 15:07:46	Ericarla de Jesus Souza	Aceito

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N
 Bairro: Canela CEP: 40.110-100
 UF: BA Município: SALVADOR
 Telefone: (71)3283-7213 Fax: (71)3283-7272 E-mail: cepfaced@ufba.br

FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA - FACED



Continuação do Parecer: 7.368.032

Outros	termo_de_autorizacao_da_instituicao_coparticipante_IFBA_SIMOES_FILHO_.pdf	11/09/2024 15:07:20	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_autorizacao_da_instituicao_coparticipante_IFBA_LAURO_.pdf	11/09/2024 15:06:57	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_autorizacao_da_instituicao_coparticipante_IFBA_CAMACARI_.pdf	11/09/2024 15:06:18	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_autorizacao_da_instituicao_coparticipante_IF_UFBA_SALVADOR_.pdf	11/09/2024 15:05:26	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	Termo_Autorizacao_Faced.pdf	11/09/2024 15:04:24	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	SD_material_do_professor_.pdf	11/09/2024 15:01:46	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	SD_material_do_aluno_.pdf	11/09/2024 15:01:16	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	11/09/2024 14:58:53	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_doutorado_atualizado_2024.pdf	11/09/2024 14:57:59	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	termo_de_anuencia_do_orientador.pdf	11/09/2024 14:57:07	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	TALE.pdf	11/09/2024 14:55:44	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Outros	Banco_de_itens_.pdf	11/09/2024 14:54:39	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	11/09/2024 14:54:01	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.pdf	11/09/2024 14:49:11	Ericarla de Jesus Souza	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_assiando_.pdf	11/09/2024 14:48:35	Ericarla de Jesus Souza	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N
Bairro: Canela CEP: 40.110-100
UF: BA Município: SALVADOR
Telefone: (71)3283-7213 Fax: (71)3283-7272 E-mail: cepfaced@ufba.br

FACULDADE DE EDUCAÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA - FAGED



Continuação do Parecer: 7.368.032

SALVADOR, 07 de Fevereiro de 2025

Assinado por:
ANDREIA MARIA PEREIRA DE OLIVEIRA
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Reitor Miguel Calmon, S/N
Bairro: Canela **CEP:** 40.110-100
UF: BA **Município:** SALVADOR
Telefone: (71)3283-7213 **Fax:** (71)3283-7272 **E-mail:** cepfaced@ufba.br

MATERIAL DO PROFESSOR

ENTENDENDO O CELULAR, ENTRE CORRENTES E CIRCUITOS



ERICARLA SOUZA

Caro professor(a):

Este material educacional, intitulado **Explorando o Celular: Entre Correntes e Circuitos**, incorpora conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos no funcionamento do celular, de forma acessível aos alunos, utilizando uma linguagem cotidiana e um design atrativo e interativo. Para tornar o aprendizado mais envolvente, criamos dois personagens fictícios, Eletrikarla e Celuquinho. Essa dupla guia os alunos por meio de conversas nas tirinhas e QRcode. Esses QRcode direcionam os estudantes para vídeos, animações, artigos entre outras fontes, incentivando uma abordagem interativa e estimulante ao conteúdo. Este material desenhando na perspectiva de metodologias ativas, ou seja, antes de iniciar cada encontro, os estudantes terão como tarefa de casa denominada pré-aula. Onde os estudantes devem ler a tirinha inicial de cada capítulo e acessar os QRcode e fazer a leitura dos textos, ou assistir os vídeos, ou aos desenhos animados entre outras sugestões. No contexto das metodologias ativas os alunos são protagonistas do seu conhecimento. Este material foi organizado para ser trabalhado em seis encontros, onde cada encontro equivale a duas aulas consecutivas (120 minutos).

Na aula 1, “Da Transmissão Analógica à Tecnologia 5G: Explorando a Evolução da Comunicação”, será explorada a evolução do celular até o 5G e seus impactos na sociedade. Para a aula 2, “Por dentro do celular, entre símbolos e circuitos”, serão explorados os componentes do celular para seu funcionamento e as implicações ambientais.

Na aula 3, “Como ocorre a ligação do celular?”, será discutido como ocorre a ligação do celular e como os sinais são transmitidos. Na aula 4, “Como funciona a tela Touchscreen do celular?”, serão explanados os circuitos elétricos. Para a aula 5, “Como funcionam os carregadores e baterias?”, além de circuitos elétricos e armazenamento de energia, serão discutidos os perigos causados por possíveis explosões na bateria. Na aula 6, “Entre correntes e circuitos”, haverá uma revisão gamificada sobre corrente elétrica e circuitos elétricos.

Esse material também poderá ser acessado online no formato de site. O site está organizado respeitando a ordem dos conteúdos do material impresso, só que apresenta material complementar como indicações de filme, vídeos, jogos digitais etc. Este site pode ser acessado pelo QR code abaixo ou no link:



<https://sites.google.com/view/circuitando/in%C3%ADcio>

Desejo fortemente que este recurso seja enriquecedor para suas atividades de ensino e que contribua com seu planejamento escolar. Visto que esse material pode ser utilizado como uma disciplina eletiva ou do Ensino Médio Inovador. Além disso, almejo que este material seja um catalisador no processo de aprendizagem dos seus estudantes, estimulando a curiosidade e cultivando o interesse deles pela ciência.

A autora

Sumário

AULA 1- Da Transmissão Analógica à Tecnologia 5G: Explorando a Evolução da Comunicação	4
AULA 2- Por dentro do celular, entre símbolos e circuitos.....	9
AULA 3- Como ocorre a ligação do celular?	15
AULA 4- Como funciona a tela Touchscreen do celular?	19
AULA 5- Como funciona os carregadores e baterias?	24
AULA 6- Entre correntes e circuitos.....	32

Aula 1:**DA TRANSMISSÃO ANALÓGICA À TECNOLOGIA 5G: EXPLORANDO A EVOLUÇÃO DA COMUNICAÇÃO****TEMPO PREVISTO**

1 aula

OBJETIVOS

Objetivo Geral: Explorar a evolução da transmissão de informações, desde a analógica até a tecnologia 5G, com foco na transformação dos dispositivos móveis e suas repercussões na sociedade, atrelado a evolução dos estudos sobre eletricidade.

Objetivos Específicos:

- Evolução dos estudos da eletricidade e suas aplicações
- Construir uma linha do tempo da evolução do telefone fixo até a chegada do primeiro aparelho celular no mundo.
- Promover a integração e aplicação interdisciplinar de conhecimentos em tecnologia, física e comunicação.
- Discutir quais as mudanças ocorreram na sociedade a partir da invenção do celular.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada a metodologia ativa **Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL)**, nessa abordagem, os participantes são desafiados a realizar uma tarefa específica, neste caso, criar uma linha do tempo sobre a evolução dos celulares, utilizando recursos fornecidos. A segunda metodologia ativa utilizada será a **Estudo de Caso**, a partir de uma situação complexa e desafiadora que requer análise crítica, resolução de problemas e aplicação prática de conhecimentos em uma situação.

Nos primeiros 10 min da aula, será dedicado a discutir sobre o vídeo que foi indicado como Pré-aula, serão perguntados aos alunos sobre o vídeo, o que foi abordado e o que eles entenderam. Logo em seguida será abordado a evolução das redes móveis (1G, 2G, 3G, 4G e 5G), incluindo as discussões dos mitos relacionados ao 5G. Além disso, será discutido o comportamento atual da sociedade e a relação com o celular. Esta discussão introdutória é importante pois potencializa o processo de englobar questionamentos pertinentes ao tema da tecnologia relacionado às telecomunicações e conteúdos de Física que serão desenvolvidos ao longo dos encontros.

Para as atividades os alunos devem ser organizados em grupos conforme a disponibilidade de aparelhos celulares dos alunos.

Atividade 1.1: Time line

A) Cada equipe será fornecida com um envelope selado, contendo uma estrutura de linha do tempo (ver anexo), instruções detalhadas para a atividade, um marco temporal específico e imagens isoladas de

celulares. A tarefa do grupo consistirá em criar uma linha do tempo abrangente sobre a evolução dos celulares, selecionando cuidadosamente 5 imagens correspondentes ao período temporal indicado no envelope. Para realizar essa seleção, os participantes precisarão acessar o **museu virtual do celular** e realizar pesquisas aprofundadas sobre cada imagem. Destacamos a importância de focar cinco características-chave de cada aparelho em relação ao período designado: Internet, Multimídia, Durabilidade, Bateria e Tela.

Nessa atividade serão determinados 4 marcos temporais, sendo um marco temporal para cada equipe:

- > 1980-1990
- > 1991-2000
- > 2001-2010
- > 2011-2013

B) De acordo com o marco temporal da sua linha de tempo, responda:

Como eram as conversas entre as pessoas?

Qual impacto na vida das pessoas?

Qual aspecto econômico?

Atividade 1.2: Viajante no tempo (anexo 02)

Essa situação problema surgiu a partir de um grande movimento nas redes sociais, a partir de uma fotografia tirada durante a segunda Guerra Mundial (1939-1945) mostra um homem falando em um telefone celular (em anexo). **Situação Problema:** Considere que essa foto seja verdadeira e esse homem conseguiu viajar no tempo saindo do ano 2015 para 1943. Ele consegue estabelecer uma conexão e falar com alguém no presente? Quais são os desafios que ele enfrentará ao tentar utilizar a tecnologia atual em um contexto do passado?

É importante que os estudantes respondam esse problema levando em consideração os seguintes aspectos: Compatibilidade Tecnológica, Infraestrutura de Comunicação da Época e Limitações da Tecnologia. Essa situação problema permite que os alunos explorem conceitos de física relacionados à tecnologia, como comunicação sem fio, frequências de rádio, limitações. Além disso, incentiva o pensamento crítico e a aplicação prática de conhecimentos em um contexto fictício e intrigante.

RECURSOS

Slides e Recursos de multimídia (Datashow);

Envelope com a atividade da Timeline (fotos dos celulares, marcador de tempo e modelo da linha do tempo; (em anexo)

tesoura, cola.

Celular com acesso à internet.

AVALIAÇÃO

A avaliação contínua será feita por meio da participação e envolvimento durante a aula, e realizações das atividades propostas, seja essa participação parcial ou integral, dada às dificuldades individuais de cada aluno por meio de gestos, verbalizações, questionamentos e discussão.

REFERÊNCIAS

COUTINHO, G. L., *A Era dos Smartphones: Um estudo Exploratório sobre o uso dos Smartphones no Brasil*, Monografia (curso de Publicidade e Propaganda) - Faculdade de Comunicação Social, Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

<https://www.bbc.com/portuguese/curiosidades-52976778> (acessado em 12/12/2023)

<https://canaltech.com.br/smartphone/martin-cooper-quem-inventou-o-celular-245354/>

(acessado em 12/12/2023)

<https://www.mobilephonemuseum.com/catalogue> (acessado em 12/12/2023)

(ANEXO: ATIVIDADES DA AULA 1)



Nessa atividade você vai visitar o **MUSEU VIRTUAL DO CELULAR**. Acesse ao QRcode e navegue nesse vasto acervo de acordo com o roteiro a seguir:



Anexo 01-Atividade 1.1- Time line

A)Organizem-se em grupos de 5 membros. Cada grupo receberá um kit com o material da atividade, contendo:

- ✓ uma estrutura de linha do tempo,
- ✓ instruções detalhadas para a atividade,
- ✓ um marco temporal específico
- ✓ imagens de telefones e celulares.

Você e seu grupo consistirá em criar uma linha do tempo sobre a evolução dos celulares, selecionando cuidadosamente as imagens correspondentes ao período temporal indicado no envelope. Para realizar essa seleção, os participantes precisarão acessar o museu virtual do celular e realizar pesquisas sobre cada imagem destacando cinco características de cada aparelho: Internet, Multimídia, Durabilidade, Bateria e Tela.

B) De acordo com o marco temporal da sua linha de tempo, responda na folha de resposta que se encontra no kit da atividade(cada grupo responderá questões de âmbitos de comunicação e sociedade, impactos na vida cotidiana, aspectos tecnológicos, meio ambiente etc.)

Comunicação e Sociedade:

- Como as pessoas se comunicavam antes do surgimento dos celulares?

- De que forma a popularização dos celulares transformou a comunicação entre as pessoas ao longo do tempo?
- Com a chegada dos smartphones, como as interações sociais foram afetadas?

Impacto na Vida Cotidiana:

- Como a evolução do celular influenciou a rotina das pessoas no trabalho, na educação e no lazer?
- O que mudou no acesso à informação e na forma como consumimos conteúdos?
- Em que aspectos do celular pode ser considerado um facilitador ou um fator de distração no dia a dia?

Aspecto Econômico:

- Como a evolução do celular impactou a economia e o mercado de trabalho?
- A popularização dos smartphones contribuiu para o crescimento de quais setores econômicos?
- De que maneira o consumo de celulares e planos de internet afetam o orçamento das famílias?

Tecnologia e Meio Ambiente:

- Como o descarte de celulares antigos pode impactar o meio ambiente?
- Quais alternativas sustentáveis podem ser adotadas para minimizar os impactos ambientais do avanço tecnológico?

Futuro e Tendências:

- Como você imagina que será uma comunicação no futuro com o avanço da tecnologia móvel?
- Quais desafios a sociedade pode enfrentar com a constante evolução dos dispositivos móveis?

Aqui respostas reflexivas para cada uma das questões:

1. Comunicação e Sociedade

- **Como as pessoas se comunicavam antes do surgimento dos celulares?**
Antes dos celulares, as pessoas se comunicavam principalmente por cartas, telefones em telefones fixos, telégrafos e encontros presenciais. O acesso à comunicação era mais restrito e dependia da proximidade geográfica ou de infraestrutura específica, como cabos telefônicos.
- **De que forma a popularização dos celulares transformou a comunicação entre as pessoas ao longo do tempo?**
Com os celulares, a comunicação se tornou mais rápida, acessível e dinâmica. Inicialmente, os celulares eram usados apenas para ligações, mas com o tempo, mensagens de texto, e-mails e redes sociais que passaram a fazer parte do cotidiano, tornando a comunicação instantânea e global.
- **Com a chegada dos smartphones, como as interações sociais foram afetadas?**
Os smartphones intensificaram a comunicação digital, permitindo acesso a redes sociais, chamadas de vídeo e mensagens instantâneas. No entanto, também trouxeram desafios, como a diminuição da interação face a face e o impacto no tempo de atenção das pessoas, que passaram a depender cada vez mais das telas.

2. Impacto na Vida Cotidiana

- **Como a evolução do celular influenciou a rotina das pessoas no trabalho, na educação e no lazer?**
No trabalho, os celulares permitem maior flexibilidade e conectividade, possibilitando reuniões

virtuais e acesso remoto a documentos. Na educação, facilita o aprendizado a distância e o acesso a conteúdos diversos. No lazer, trouxe entretenimento instantâneo por meio de vídeos, músicas e jogos.

- **O que mudou no acesso à informação e na forma como consumimos conteúdos?**
O acesso à informação tornou-se praticamente ilimitado. As pessoas passaram a se informar por meio de redes sociais, aplicativos e sites, passando a dependência de jornais e televisão. Entretanto, a disseminação de notícias falsas também se tornou um problema.
- **Em que aspectos do celular pode ser considerado um facilitador ou um fator de distração no dia a dia?**
O celular facilita a comunicação, organização de tarefas e acesso a informações. Porém, pode se tornar uma distração quando usado em excesso, prejudicando a produtividade e a qualidade das interações pessoais.

3. Aspecto Econômico

- **Como a evolução do celular impactou a economia e o mercado de trabalho?**
O setor de tecnologia cresceu exponencialmente, criando novas profissões e demandas, como o desenvolvimento de aplicativos e a manutenção de redes de comunicação. Além disso, o comércio eletrônico e o marketing digital se fortaleceram.
- **A popularização dos smartphones contribuiu para o crescimento de quais setores econômicos?**
Setores como tecnologia da informação, telecomunicações, entretenimento digital, comércio eletrônico e serviços financeiros foram amplamente beneficiados. Empresas de entrega e transporte por aplicativo, como Uber e iFood, também cresceram com a conectividade móvel.
- **De que maneira o consumo de celulares e planos de internet afetam o orçamento das famílias?**
Atualmente, possuir um smartphone e um plano de internet é quase necessário, o que gera gastos monetários consideráveis para muitas famílias. Em alguns casos, esse consumo pode comprometer o orçamento, levando a um endividamento.

4. Tecnologia e Meio Ambiente

- **Como o descarte de celulares antigos pode impactar o meio ambiente?**
O descarte descartado pode liberar metais pesados e substâncias tóxicas no solo e na água. Além disso, o aumento do lixo eletrônico é um problema global, tornando o reaproveitamento e a reciclagem cada vez mais necessários.
- **Quais alternativas sustentáveis podem ser adotadas para minimizar os impactos ambientais do avanço tecnológico?**
Reciclagem de componentes, reutilização de aparelhos, incentivo a consertos em vez de substituições e desenvolvimento de dispositivos mais resistentes são algumas soluções. As empresas também podem adotar políticas de logística reversa.

5. Futuro e Tendências

- **Como você imagina que será uma comunicação no futuro com o avanço da tecnologia móvel?**
A comunicação deve se tornar ainda mais imersiva, com o uso de realidade aumentada, hologramas e inteligência artificial. A conectividade por meio de redes 6G ou superiores também tornará a comunicação ainda mais rápida e integrada a outros dispositivos.
- **Quais desafios a sociedade pode enfrentar com a constante evolução dos dispositivos móveis?**
Desafios como privacidade de dados, dependência excessiva da tecnologia, exclusão digital e impactos na saúde mental devem ser considerados. A busca por um equilíbrio entre tecnologia e bem-estar será essencial.

Atividade 1.1: Linha do tempo



➤ **1980-1990**



➤ **1991-2001**



➤ 2001-2012



> 2018-2025



Anexo02-Atividade 1.2- Estudo de Caso

Nos últimos dias, uma enigmática fotografia viralizou nas redes sociais, pois supostamente um celular aparecia no retrato em preto e branco tirado em 1943 durante a [Segunda Guerra Mundial](#). A imagem foi compartilhada nas redes sociais e tumultuou as percepções dos usuários. A fotografia foi feita em Reykjavík, capital da Islândia, onde o celular teria sido visto entre os soldados americanos que estavam no local. Ele se encontra encostado na janela e aparentemente está olhando para a câmera. Na imagem, o homem usa um sobretudo leve, enquanto sua mão está perto da orelha, como se ele estivesse segurando um telefone celular e tendo alguma conversa através dele. A fotografia foi postada pela primeira vez no grupo islandês do Facebook chamado "Gamlar ljósmyndir", pelo usuário Kristjan Hoffmann, em 2016.



Estudo de Caso: Considere que essa foto seja verdadeira e esse homem conseguiu viajar no tempo saindo do ano 2024 para 1943. Ele conseguiria estabelecer uma conexão e falar com alguém no presente? Quais são os desafios que ele enfrentará ao tentar utilizar a tecnologia atual em um contexto do passado?

Dica: Resolva esta situação problema levando em consideração os seguintes aspectos: Compatibilidade Tecnológica, Infraestrutura de Comunicação da Época e Limitações da Tecnologia.

Aula 2:**POR DENTRO DO CELULAR, ENTRE SÍMBOLOS E CIRCUITOS****TEMPO PREVISTO**

1 aula

OBJETIVOS

Objetivo Geral: Explorar os elementos fundamentais dos dispositivos eletrônicos, concentrando-se na interconexão entre símbolos e circuitos, proporcionando aos alunos uma compreensão abrangente da estrutura interna dos dispositivos móveis, como celulares.

Objetivo Específicos:

- Compreender os elementos básicos de um circuito elétrico.
- Familiarizar-se com os símbolos de circuitos elétricos.
- Aplicar o conhecimento na análise de um dispositivo eletrônico, como um celular.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada as seguintes metodologias: **Aprendizagem baseado em problemas (PBL)** e **Gamificação**.

A Metodologia baseada em problemas é um método de ensino que recomenda a realização de atividades guiadas, com o objetivo de preparar os alunos para resolverem questões do mundo real, como são os casos de atividades experimentais. Já a gamificação é uma metodologia ativa que incorpora elementos de jogos e dinâmicas lúdicas no processo de ensino-aprendizagem, com o objetivo de motivar os alunos, promover o engajamento e tornar a experiência educacional mais interativa e divertida.

Nos primeiros 10 min da aula, será dedicado a discutir sobre os principais elementos e símbolos que compõem um circuito elétrico de acordo com o que foi indicado como Pré-aula. Logo em seguida será feito a discussão dos conceitos desses elementos e o que os alunos acham que acontece quando se apertar o botão de ligar do Smartphone. Feito isso e sanado as possíveis dúvidas dos alunos, seguiremos para as atividades que usam metodologias ativas.

Atividade 2.1: Representações dos Circuitos (anexo 01)

Nessa atividade o professor deverá entrega uma folha contendo alguns circuitos e solicitar que os alunos façam a representação simbólica de cada elemento. É importante que contenham os elementos que foram discutidos em aula ou no vídeo que foi passado como pré-aula.

Atividade 2.2: Atividade Experimental - Por Dentro do Celular: Entre símbolos e circuitos

Atividade com metodologia ativa de experimentos.

O professor deve preparar uma quantidade kit que comportem os alunos da sala, o ideal é que seja um kit para cada grupo de 5 alunos. Em cada Kit deverá conter:

- Instruções da atividade (com detalhes e passo a passo da atividade);
- Um telefone celular inutilizado (sem bateria para evitar acidentes e contaminação);
- Chave de fenda de precisão;
- Luva cirúrgica;
- Ficha de resposta.

O grupo deve pensar em uma maneira de prosseguir desmontando o aparelho, sem estragar suas peças e componentes. A integridade das mesmas nos ajudará a descobrir respostas relevantes sobre seu funcionamento e composição. À medida que o aparelho revelar cada uma de suas distintas peças, outros questionamentos poderão ser elaborados pelos estudantes. Os alunos devem anotar a peça encontrada preenchendo a ficha técnica que se encontra no kit (em anexo). Nesta atividade a proposta é que os alunos analisem um aparelho de telefone celular, que possa ser desmontado integralmente ou parcialmente, com a finalidade de conhecer sua estrutura, localizar as peças e símbolos que trazem informações importantes para melhor compreender seu funcionamento e responder as questões abaixo, essas estão na folha das anotações junto com o kit:

Responda às questões

1. Quais os tipos de materiais que o grupo conseguiu identificar na composição do aparelho?
2. Descreva os componentes do circuito do aparelho (dimensões, funções, composição). Existe algum componente do circuito que você não conhece? Em caso afirmativo, descreva-os.
3. Como localizar o microfone no celular? O aparelho possui antena? Qual sua função? Como identificá-la?
4. Quais são as substâncias químicas e tóxicas estão presentes no celular?
5. Descreva baseado no que você observou, como é o funcionamento do celular.

RECURSOS

Slides e Recursos de multimídia (Datashow);

Kit-mão na caixa: telefone celular inutilizado (sem bateria para evitar acidentes e contaminação), Chave de fenda de precisão, Luva cirúrgica.

AVALIAÇÃO

A avaliação contínua será feita por meio da participação e envolvimento durante a aula, e realizações das atividades propostas, seja essa participação parcial ou integral, dada às dificuldades individuais de cada aluno por meio de gestos, verbalizações, questionamentos e discussão.

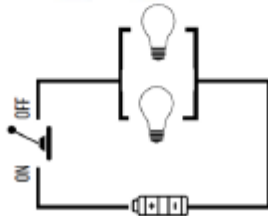
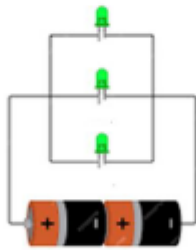
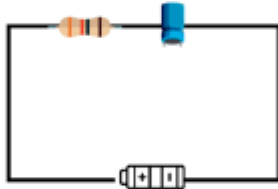
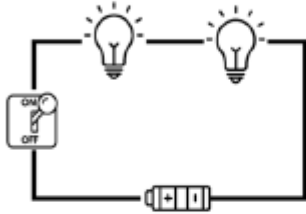
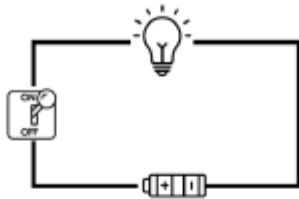
REFERÊNCIAS

- FUKE, Luiz Felipe; KAZUHIITO Yamamoto. Física para o Ensino Médio. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 1. v.
- GASPAR, Alberto. Física. São Paulo: Ática, 2009. 1 v.

Nome:

Código:

Atividade 2.1: FAÇA A REPRESENTAÇÃO DOS CIRCUITOS COM CADA UM DOS COMPONENTES MOSTRADOS NOS CIRCUITOS ABAIXO:



Aula 3:**Como ocorre a ligação do celular?****TEMPO PREVISTO**

1 aula

OBJETIVOS

Objetivo Geral: Ampliar a compreensão dos estudantes sobre os princípios das ondas eletromagnéticas ao investigar como ocorrem as ligações em dispositivos móveis, como celulares.

Objetivos Específicos:

Explorar como os sinais de celular são transmitidos.

Identificar os diferentes tipos de ondas envolvidas na comunicação móvel.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada as seguintes metodologias ativas: (PBL) Metodologia baseada em problemas. É um método de ensino que recomenda a realização de atividades guiadas, com o objetivo de preparar os alunos para resolverem questões do mundo real. Como são os casos de atividades experimentais.

Introdução à Aula: No início da aula, será realizada uma explicação sobre ondas eletromagnéticas, abordando suas características e propriedades fundamentais. Será destacada a relação entre frequência, comprimento de onda e energia das ondas. Em seguida, será discutido o vídeo pré-aula, que oferece uma explicação sobre o funcionamento dos celulares. Durante essa etapa, as dúvidas dos alunos serão esclarecidas. No site complementar desse material, é possível encontrar material complementar para o professor aprofundar sobre o tema.

Desenvolvimento: Após a discussão inicial e a compreensão dos conceitos básicos, a aula prosseguirá com atividades práticas que utilizam metodologias ativas de aprendizado

Atividade 3.1: Simulação Experimental Digital

Esta atividade consistirá em uma simulação no PhET, acessada por meio de um QR Code. O roteiro da atividade foi estruturado em forma de perguntas, as quais os grupos deverão responder. O objetivo é que os alunos explorem todas as ferramentas da simulação, compreendendo o tipo de onda transmitida e suas características. (anexo 01)

Atividade 3.2: Experimento Prático

Cada grupo receberá um kit contendo:

-Dois aparelhos celulares funcionais;

- Folha de papel de celulose;
- Folha de papel alumínio;
- Copos descartáveis com furos na base;
- 3 metros de fio de linha número 10 ou barbante fino.

Nesta atividade, os alunos realizarão duas experiências, com os objetivos de:

- Verificar o fenômeno de blindagem eletrostática nos aparelhos celulares;
- Observar o fenômeno de propagação de ondas mecânicas em um fio de linha;
- Comparar as características do movimento das ondas eletromagnéticas e mecânicas.

A primeira atividade consiste em simular o fenômeno da blindagem eletrostática utilizando a ideia de uma gaiola de Faraday. A segunda atividade envolve a construção de um "telefone de copos". Ambos os roteiros são compostos por questões que os alunos deverão responder em folhas específicas fornecidas. (ANEXO 02)

RECURSOS

Slides e Recursos de multimídia (Datashow);
Folha de papel de celulose; Folha de papel alumínio; Copos descartáveis com furos na base;
3 metros de fio de linha número 10 ou barbante fino, tesoura, cola.
Celular com acesso à internet.

AValiação

A avaliação contínua será feita por meio da participação e envolvimento durante a aula, e realizações das atividades propostas, seja essa participação parcial ou integral, dada às dificuldades individuais de cada aluno por meio de gestos, verbalizações, questionamentos e discussão.

REFERÊNCIAS

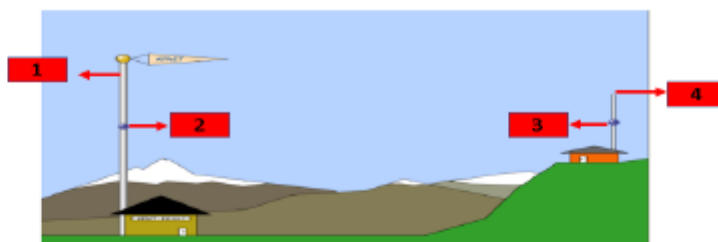
- FUKE, Luiz Felipe; KAZUHITO Yamamoto. Física para o Ensino Médio. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 1. v.
GASPAR, Alberto. Física. São Paulo: Ática, 2009. 1 v.
MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física contexto e aplicações, 1. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2013. 1 v.
GREF, Física. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1998. v. 2.
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/radio-waves (acessado em 12/12/2023).
<https://ifbaexperimentosdefisica.blogspot.com/2011/02/blindagem-eletrostatica.html> (acessado em 12/12/2023).

anexo 01-

Aponte a câmara do celular para o QRcode abaixo e acesse a simulação para realizar a atividade.



ATIVIDADE 3.1: Atividade experimental digital.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/radio-waves

ROTEIRO DE ATIVIDADE

- 1-Descreva a representação das imagens indicadas nas setas da figura acima.
- 2-Explore os elementos.
- 3-O que acontece quando você está mexendo na haste maior de forma periódica? (descreva o que acontece).
- 4-Você considera que há perda de energia no transporte de informação? Justifique.
- 5-Qual situação que te mostra que há perda de energia?
- 6-Como você associa essa simulação com a transmissão de sinais do celular?
- 7-Que tipo de onda está sendo transmitido?

ATIVIDADE 3.2: Atividade experimental

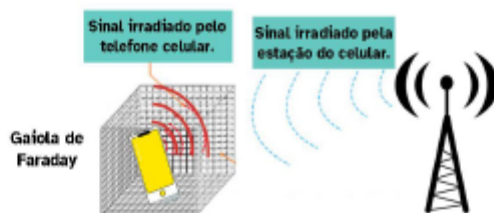
Objetivo

- Verificar o fenômeno de blindagem eletrostática nos aparelhos celulares;
- Verificar o fenômeno de propagação de ondas mecânicas em um fio de linha;
- Comparar as características do movimento de ondas eletromagnéticas e ondas mecânicas.

Material Utilizado

- Dois aparelhos celulares sem defeito;
- Folha de papel de celulose;
- Folha de papel alumínio;
- Copos descartáveis com furos na base;
- 3m de fio de linha número 10 ou barbante fino;

1-Blindando um celular eletrostaticamente



a) Enrolar um dos celulares com a folha de papel. Usar o outro aparelho para efetuar uma ligação para este. Descreva o que foi observado, com relação ao sinal da operadora e a resposta do celular.

b) Enrolar um dos celulares com folha de papel alumínio. Usar o outro aparelho para efetuar uma ligação para este. Descreva o que foi observado, com relação ao sinal da operadora e a resposta do celular.

c) Perceba, pelo celular desembulhado, que a mensagem encaminhada pela operadora é de que o celular chamado está fora de serviço, isto é, fora de área de cobertura. Como isto pode ser explicado, considerando-se as diferenças de propriedades dos materiais “celulose” e “alumínio”. O que acontece com as ondas eletromagnéticas que são emitidas pelo celular que efetua a ligação, em cada um dos casos (a) e (b)?

Respostas atividade 3.1

1. Descreva a representação das imagens indicadas nas setas da figura acima.

Na simulação, as setas geralmente indicam a direção e o sentido do campo elétrico gerado pela oscilação dos elétrons na antena transmissora. Essas setas representam visualmente como o campo elétrico se propaga no espaço ao redor da antena, formando as ondas eletromagnéticas.

2. Explore os elementos.

A simulação permite interagir com diversos elementos:

- **Antena Transmissora:** Onde ocorre a oscilação dos elétrons, gerando ondas de rádio.
- **Antena Receptora:** Detecta as ondas de rádio propagadas pela antena transmissora.
- **Controle Manual/Automático:** Possibilita oscilar o elétron manualmente ou de forma automática.
- **Representação do Campo:** Opções para visualizar o campo elétrico como curvas ou vetores.
- **Gráficos:** Mostram as posições dos elétrons tanto no transmissor quanto no receptor ao longo do tempo.

3. O que acontece quando você está mexendo na haste maior de forma periódica? (Descreva o que acontece).

Ao mover a haste maior periodicamente, você está oscilando o elétron na antena transmissora. Essa oscilação gera uma corrente elétrica variável, que produz um campo elétrico oscilante. Esse campo se

propaga pelo espaço na forma de ondas eletromagnéticas (ondas de rádio). Quando essas ondas atingem a antena receptora, induzem uma oscilação nos elétrons desta, reproduzindo o sinal original.

4. Você considera que há perda de energia no transporte de informação? Justifique.

Sim, há perda de energia durante o transporte da informação. À medida que as ondas eletromagnéticas se propagam pelo espaço, sua intensidade diminui devido à dispersão e à absorção pelo meio. Além disso, obstáculos e interferências podem causar atenuação do sinal, resultando em perdas de energia.

5. Qual situação que te mostra que há perda de energia?

Na simulação, é possível observar que a amplitude das oscilações na antena receptora é menor do que na transmissora. Isso indica que parte da energia foi perdida durante a propagação das ondas de rádio, evidenciando a atenuação do sinal.

6. Como você associa essa simulação com a transmissão de sinais do celular?

A simulação ilustra os princípios básicos da transmissão de sinais eletromagnéticos, semelhante ao funcionamento dos celulares. Nos celulares, sinais de voz ou dados são convertidos em ondas eletromagnéticas por uma antena transmissora. Essas ondas se propagam pelo espaço e são captadas por antenas receptoras em torres de celular ou outros dispositivos. O processo envolve modulação, propagação e recepção de ondas de rádio, conceitos fundamentais demonstrados na simulação.

7. Que tipo de onda está sendo transmitido?

A simulação demonstra a transmissão de ondas eletromagnéticas, especificamente ondas de rádio. Essas ondas são geradas pela oscilação de cargas elétricas e se propagam pelo espaço transportando energia e informação.

Atividade 3.2

a) Enrolar um dos celulares com a folha de papel. Usar o outro aparelho para efetuar uma ligação para este.

Observação:

Ao ligar para o celular envolvido com papel, o sinal da operadora permanece inalterado e a chamada é completada normalmente. O celular toca ou recebe a notificação de chamada.

Explicação:

O papel é um material dielétrico (isolante elétrico) e não interfere significativamente na propagação das ondas eletromagnéticas. Como as ondas de rádio podem atravessar o papel facilmente, o celular continua recebendo sinal da operadora normalmente.

b) Enrolar um dos celulares com folha de papel alumínio. Usar o outro aparelho para efetuar uma ligação para este.

Observação:

Quando o celular está completamente envolvido com papel alumínio, a chamada não é completada. O celular aparece como "fora de serviço" ou "fora de área de cobertura" para quem está ligando.

Explicação:

O papel alumínio é um condutor elétrico e forma uma gaiola de Faraday ao redor do celular. Esse efeito bloqueia as ondas eletromagnéticas, impedindo que o aparelho receba ou transmita sinais da operadora. Como resultado, a rede do celular é interrompida.

c) Comparação entre os materiais "celulose" (papel) e "alumínio" e o efeito sobre as ondas eletromagnéticas.

Explicação:

- O papel (celulose) é um material isolante, que não interfere nas ondas eletromagnéticas. Assim, o sinal da operadora chega normalmente ao celular.
- O alumínio é um material condutor, que reflete e absorve as ondas eletromagnéticas. Isso impede a propagação do sinal, criando uma barreira eletrostática ao redor do celular.

O que acontece com as ondas em cada caso?

- No caso (a) – O papel não bloqueia as ondas eletromagnéticas; o sinal chega ao celular normalmente.
 - No caso (b) – O alumínio bloqueia as ondas, funcionando como uma gaiola de Faraday, isolando o celular da rede da operadora.
-

Conclusão:

A experiência demonstra como materiais condutores, como o alumínio, podem bloquear sinais eletromagnéticos ao formar uma blindagem eletrostática. Esse princípio é aplicado em equipamentos eletrônicos para evitar interferências eletromagnéticas indesejadas.

Aula 4:**Como funciona a tela Touch Screen do seu celular?****TEMPO PREVISTO**

1 aula

OBJETIVOS

- **Objetivo Geral:** Apresentar os conceitos essenciais de circuitos elétricos utilizando como ponto de partida a compreensão do funcionamento da tela sensível ao toque (Touch Screen) de dispositivos móveis.

-**Objetivos Específicos:**

-Desenvolver a capacidade dos alunos para analisar circuitos elétricos simples que incluem lâmpadas idênticas, permitindo-lhes diferenciar entre as configurações em série e paralelo.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada as seguintes metodologias ativas: (PBL)Metodologia baseada em problemas. É um método de ensino que recomenda a realização de atividades guiadas, com o objetivo de preparar os alunos para resolverem questões do mundo real. Como são os casos de atividades experimentais. Cruzadinhas, desafios entre outras.

Nos primeiros 10 min da aula, será dedicado a discutir sobre os principais elementos e símbolos que compõem um circuito elétrico de acordo com o que foi indicado como Pré-aula. Logo em seguida será feito a discussão dos conceitos desses elementos e o que os alunos compreendem que acontece quando se apertar o botão de ligar do Smartphone. No material do aluno contém atividade Hora de Praticar, Cruzadinha elétrica e Desafio, que o aluno deve resolver após o momento de dúvidas. Feito isso e sanado as possíveis dúvidas dos alunos, seguiremos para as atividades que usam metodologias ativas.

Atividade 4.1: Qual brilha mais?

Nessa atividade os alunos receberão 4 circuitos formados por duas lâmpadas idênticas A e B; R é a resistência de outro dispositivo elétrico; E é uma bateria de resistência elétrica desprezível; e I é um interruptor aberto. O aluno deverá analisar o circuito e responder detalhadamente qual lâmpada vai brilhar mais? E se elas brilham com a mesma intensidade? Justifique. (em anexo 01)

VOCÊS RECEBERÃO UM ENVELOPE COM UMA ATIVIDADE ELETRIZANTE QUE DEVERÃO RESPONDER EM 20MIN. LEMBREM-SE, A COLABORAÇÃO, A COMUNICAÇÃO EFETIVA E A APLICAÇÃO DE CONHECIMENTOS ELÉTRICOS SERÃO ESSENCIAIS PARA O SUCESSO DESTA MISSÃO.

O RELÓGIO ESTÁ CORRENDO.

BOA SORTE, EQUIPE!



Aula 4:**Como funciona a tela Touch Screen do seu celular?****TEMPO PREVISTO**

1 aula

OBJETIVOS

- **Objetivo Geral:** Apresentar os conceitos essenciais de circuitos elétricos utilizando como ponto de partida a compreensão do funcionamento da tela sensível ao toque (Touch Screen) de dispositivos móveis.

-**Objetivos Específicos:**

-Desenvolver a capacidade dos alunos para analisar circuitos elétricos simples que incluem lâmpadas idênticas, permitindo-lhes diferenciar entre as configurações em série e paralelo.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada as seguintes metodologias ativas: (PBL)Metodologia baseada em problemas. É um método de ensino que recomenda a realização de atividades guiadas, com o objetivo de preparar os alunos para resolverem questões do mundo real. Como são os casos de atividades experimentais. Cruzadinhas, desafios entre outras.

Nos primeiros 10 min da aula, será dedicado a discutir sobre os principais elementos e símbolos que compõem um circuito elétrico de acordo com o que foi indicado como Pré-aula. Logo em seguida será feito a discussão dos conceitos desses elementos e o que os alunos compreendem que acontece quando se apertar o botão de ligar do Smartphone. No material do aluno contém atividade Hora de Praticar, Cruzadinha elétrica e Desafio, que o aluno deve resolver após o momento de dúvidas. Feito isso e sanado as possíveis dúvidas dos alunos, seguiremos para as atividades que usam metodologias ativas.

Atividade 4.1: Qual brilha mais?

Nessa atividade os alunos receberão 4 circuitos formados por duas lâmpadas idênticas A e B; R é a resistência de outro dispositivo elétrico; E é uma bateria de resistência elétrica desprezível; e I é um interruptor aberto. O aluno deverá analisar o circuito e responder detalhadamente qual lâmpada vai brilhar mais? E se elas brilham com a mesma intensidade? Justifique. (em anexo 01)

Atividade 4.2: Atividade Experimental-Montando um circuito elétrico

Nessa atividade o aluno construirá um circuito elétrico fazendo um led acender. O professor deve preparar uma quantidade kit que comportem os alunos da sala, o ideal é que seja um kit para cada grupo de 5 alunos. Em cada Kit deverá conter:

- Instruções da atividade e modelo (em anexo 02),
- Pilha moeda 3V,
- Led Difuso,
- Papel alumínio,
- Fita adesiva.

RECURSOS

Slides e Recursos de multimídia (Datashow);
 Kit da atividade experimental: Instruções da atividade e modelo, Pilha moeda 3V, Led Difuso, Papel alumínio, Fita adesiva, tesoura, cola.
 Celular com acesso à internet.

AVALIAÇÃO

A avaliação contínua será feita por meio da participação e envolvimento durante a aula, e realizações das atividades propostas, seja essa participação parcial ou integral, dada às dificuldades individuais de cada aluno por meio de gestos, verbalizações, questionamentos e discussão.

REFERÊNCIAS

- FUKE, Luiz Felipe; KAZUHITO Yamamoto. Física para o Ensino Médio. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 1. v.
 GASPAR, Alberto. Física. São Paulo: Ática, 2009. 1 v.
 MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física contexto e aplicações, 1. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2013. 1 v.
 GREF, Física. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1998. v. 2.
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_all.html?locale=pt_BR
 (acessado em 12/12/2023).



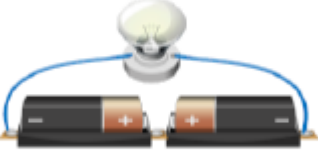


Respostas da Cruzadinha Elétrica

- 1 - Corrente (8 letras) → Fundamental para o funcionamento da lâmpada.
- 2 - Resistor (8 letras) → Controla a quantidade de energia no circuito.
- 3 - Interruptor (11 letras) → Usado para ligar a lâmpada.
- 4 - Indutor (7 letras) → Armazena energia em um campo magnético.
- 5 - Dinamo (5 letras) → Exemplo de gerador elétrico.
- 6 - Capacitor (9 letras) → Armazena energia elétrica.
- 7 - Série (7 letras) → Circuito com apenas um caminho para a corrente fluir.

Aula-4

Nome (código do sujeito): _____

1-Nas situações abaixo indique se a lâmpada vai acender ou não, explique detalhadamente a sua resposta.

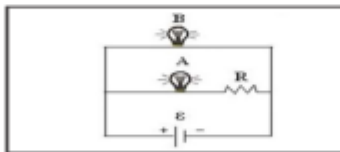
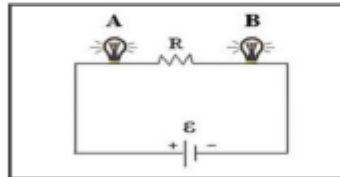
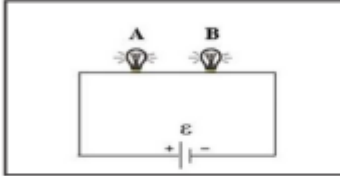
Anexo 01-4.1-Qual Brilha mais?



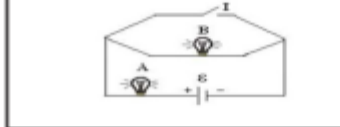
QUAL BRILHA MAIS?



Instrução: Explique com a maior riqueza de detalhes que você conseguir, qual lâmpada brilha mais A ou B? ou brilham igual?



Considere a chave I fechada



Aula-4

Nome (código do sujeito): _____

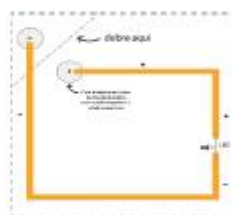
Experimentos- Circuitos Elétricos no papel

MATERIAIS NECESSÁRIOS



1- CIRCUITO ELÉTRICO EM SÉRIE

- Recorte tiras de papel alumínio com aproximadamente 7mm de largura e cm de comprimento
- Cole as tiras sobre a marcação AMARELA no desenho (anexo 1). Caso material rasgue, substitua por outra fita de alumínio. (Evite o excesso de cola e dobras no alumínio).
- Ao mudar a direção, não faça emendas. Dobre a tira.
- Dobre as hastes do LED.
- Fixe as hastes sobre as tiras com o durex, observando as polaridades.
- Coloque a bateria com a polaridade pedida na figura.



15
o

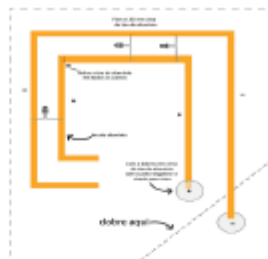


RESPONDA:

- 1.1-O que acontece com o LED? Justifique
- 1.2-Represente esse circuito com o sentido da corrente e explique detalhadamente como ele funciona.

2-CIRCUITO EM PARALELO

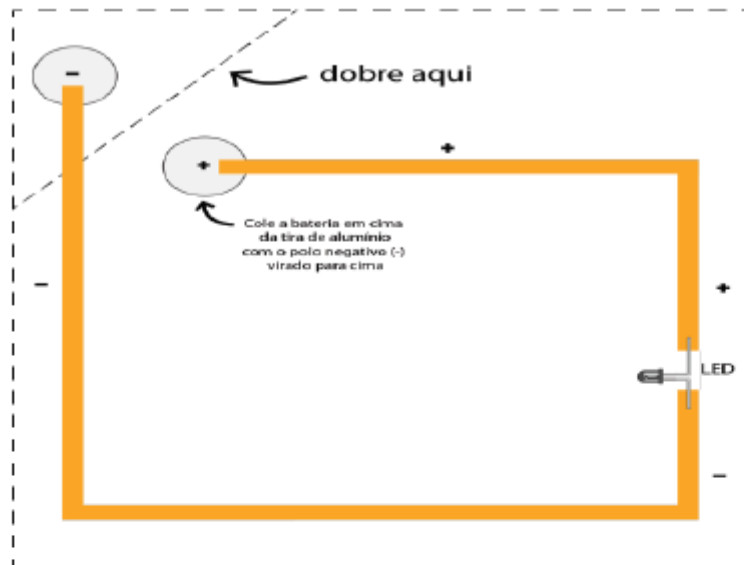
- Considere que as tiras de alumínio deverão estar dispostas paralelamente, ou seja, lado a lado. (Anexo 2)
- No momento da montagem, fique atento para não trocar as polaridades dos LEDs.
- Cole e fixe os componentes do circuito.
- No momento da montagem, fique atento para não trocar as polaridades dos LEDs.
- Una a tira negativa à face negativa da bateria dobrando o papel.
- Teste seu circuito.



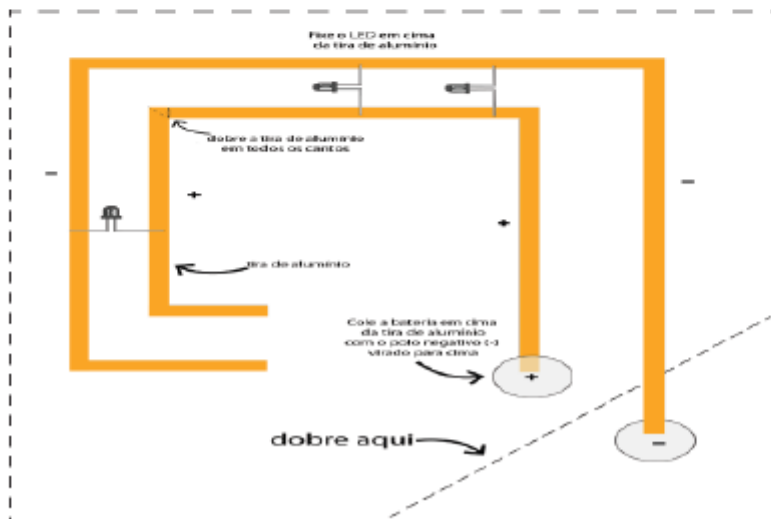
RESPONDA:

- 2.1- O que acontece com o Brilho dos LED? Explique detalhadamente.
- 2.2- Represente esse circuito com o sentido da corrente e explique detalhadamente como ele funciona.
- 2.3-Quais as características de um circuito em paralelo?
- 2.4-Acrescente mais um LED nesse circuito e explique detalhadamente o que aconteceu.

Anexo 1 (circuito em série)



Anexo 2 (circuito em paralelo)



elementos dos circuitos para formar sequências lógicas. Cada peça triangular do triminó contém elementos do circuito; os jogadores devem encontrar as peças corretas que se encaixam, de forma que os elementos estejam de acordo com as leis da Eletricidade.

RECURSOS

Slides e Recursos de multimídia (Datashow);
Envelope com a atividade de quebre o código; (em anexo)
Celular com acesso à internet.

AVALIAÇÃO

A avaliação contínua será feita por meio da participação e envolvimento durante a aula, e realizações das atividades propostas, seja essa participação parcial ou integral, dada às dificuldades individuais de cada aluno por meio de gestos, verbalizações, questionamentos e discussão.

REFERÊNCIAS

FUKE, Luiz Felipe; KAZUHITO Yamamoto. Física para o Ensino Médio. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 1. v.
GASPAR, Alberto. Física. São Paulo: Ática, 2009. 1 v.
MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física contexto e aplicações, 1. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2013. 1 v.
GREF, Física. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1998. v. 2.
<https://itechonlinedf.com/voce-sabe-como-funciona-a-bateria-do-seu-celular/>
(acessado em 12/12/2023).
<https://www.infoescola.com/tecnologia/baterias-de-celular/>(acessado em 12/12/2023)

Atividade 5.1: Física em ação

Organizem-se em grupos de 5 membros e resolva a situação problema. Ao final vocês deverão apresentar qual solução encontrada.

AVENTURAS NO CAMPING

Problema a Ser Resolvido:

Como você e seus amigos podem otimizar o uso do Power Bank para garantir que seus celulares tenham energia suficiente durante toda a viagem de acampamento?



Aula 5:**Como funciona os Carregadores e Bateria do celular?****TEMPO PREVISTO**

1 aula

OBJETIVOS

Objetivo Geral: Compreender os princípios de funcionamento dos carregadores e baterias de celular e a relação com corrente elétrica.

Objetivos Específicos:

Compreender o funcionamento das baterias e identificar os riscos associados ao uso inadequado das mesmas e os curto-circuito;

Compreender os princípios aplicados no uso de Power Bank a partir de conceitos físicos;

Explorar os princípios da eletricidade no contexto dos carregadores e as baterias dos celulares.

METODOLOGIA

Nessa aula será utilizada as seguintes metodologias: (Estação 1: Aprendizagem Baseado em Problemas e Estação 2: Escape Room).

A **Aprendizagem Baseado em Problemas** que tem como propósito tornar o aluno capaz de construir o aprendizado conceitual, procedimental e atitudinal por meio de problemas propostos. Já na Estação 2, será utilizado a metodologia ativa **Escape Room** no qual consiste numa atividade que pretende fechar um grupo de jogadores num espaço, no qual terão de resolver um conjunto diversificado de enigmas, tendo um tempo limite para escapar e quase sempre em torno de uma narrativa condutora.

Nos primeiros 10 min da aula, será dedicado a discutir sobre os principais elementos e funcionamento dos carregadores e baterias de celular, de acordo com o que foi indicado como Pré-aula e elementos do circuitos que compõem o celular. Logo em seguida será feito a discussão dos conceitos desses elementos e o que os alunos acham que acontece quando colocamos o celular para carregar. Feito isso e sanado as possíveis dúvidas dos alunos, seguiremos para as atividades que usam metodologias ativas.

Atividade 5.1: Física em ação

Organizem-se em grupos de 5 membros e resolva a situação problema. Ao final vocês deverão apresentar qual solução encontrada.

Atividade 5.2: Triminó da Eletricidade

Essa atividade utiliza a metodologia ativa de gamificação, a partir do Triminó. O ideal é que o professor corte as peças do triminó e os coloque em um envelope e entregue um para cada grupo. O triminó, é um conjunto de três peças triangulares, combinando corretamente entre símbolos e



TRIMINÓ DA ELETRICIDADE



JOGADORES: 2 a 4 participantes

MATERIAL: 24 Triângulos com os elementos da eletricidade.

OBJETIVO: Auxiliar no reconhecimento dos símbolos, funções e elementos dos circuitos.

COMO JOGAR:

- Distribuir 6 peças para cada um dos jogadores.
- As peças que sobrarem ficam na mesa viradas para baixo, disponível para pesca.
- Os jogadores combinam quem irá começar primeiro.
- O jogo começa colocando um triângulo, que tenha informações nos três lados, no centro da mesa.
- Na sua vez, procure nas suas peças uma que combine com um dos lados das peças que estão na mesa e a encaixe, formando a relação correta da imagem ou símbolo ou conceito.
- Toda vez que o jogador usar um triângulo, precisa “pescar” uma peça do monte.
- Se, na sua vez, você não tiver uma peça que encaixe, passe a vez.
- GANHA QUEM CONSEGUIR TERMINAR TODAS SUAS PEÇAS PRIMEIRO OU QUE TIVER MENOS PEÇAS!**

MOSAICO DA ELETRICIDADE

Outra forma de utilizar o Triminó é como um mosaico científico. O professor entrega as peças embaralhadas a um grupo de alunos e apresenta o modelo do hexágono já montado. A tarefa do grupo é reconstruir o mosaico, unindo as peças que possuam associações corretas entre si. A cada 30 segundos, o professor pode mostrar novamente o modelo montado como pista para os participantes. Vence o grupo que concluir o mosaico corretamente no menor tempo!

Essa atividade foi inspirada da atividade @Vivendociencia.prof profvivendo.ciencia@gmail.com

MULTIMETRO
Unidade de energia elétrica.
 $1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$

ADAPTADOR
Utilização para proteger e multiplicar tomadas.

CIRCUITO FECHADO
Unidade de potência elétrica.

FUSÍVEL
Protege um circuito elétrico de corrente elétrica excessiva.

LEI DE OHM
 $V=R \cdot I$
Símbolo de uma lâmpada em um circuito elétrico.

TRANSISTOR
Libera e absorve de simultaneamente energia elétrica em ambas as extremidades de um fio.

FIO TERÇA
Unidade de medida de resistência elétrica.

OHM
Mede a d.d.p. entre dois pontos de um circuito.

TENSÃO ELÉTRICA
Forma de energia elétrica.

BATERIA
Limita a passagem da corrente elétrica.

LÂMPADA
Símbolo de uma lâmpada em um circuito elétrico.

ISOLANTE
Não há passagem de cargas elétricas.

CIRCUITO ABERTO

CURTO-CIRCUITO
Usado para amplificar ou atenuar sinais elétricos.
Aumento do fluxo intenso provocado aquecimento do fio.

CAPACITOR
Armazenar carga elétrica.
Acumula de cargas elétricas, permitindo que sejam usadas.

VOLT (V)
Unidade de medida da tensão elétrica.

RESISTOR
Associação de resistores em série.

P=U²/R
Potência elétrica.

INTERDIUTOR
Não há passagem de corrente elétrica no circuito.
Atua impedindo ou desligando o funcionamento circuito elétrico.

AMPERIMETRO

DISJUNTOR
Possibilita a passagem da corrente elétrica.

CONDUUTOR
Dispositivo capaz de produzir energia elétrica a partir de reações químicas.

DIODO EMISSOR DE LUZ
Fluxo ordenado de elétrons em um fio.

PILHAS
Aparelho que mede a intensidade da corrente elétrica.

CORRENTE ELÉTRICA
Choque elétrico.
Reação do organismo a passagem de corrente elétrica.

Encontro 6:**Entre Correntes e Circuitos****TEMPO PREVISTO**

2 aulas

OBJETIVOS

Objetivo Geral: Revisar os conteúdos de corrente elétrica e circuitos elétricos que foram estudados

nesta sequência didática a partir de jogos didáticos.

Objetivos Específicos:

No jogo “Desafio Digital” -O objetivo deste jogo de circuitos elétricos online é superar todos os níveis, completando cada etapa com sucesso. Desafie-se a realizar essa tarefa no menor tempo possível, testando suas habilidades e conhecimentos em circuitos elétricos ao longo do percurso do jogo.

METODOLOGIA

A metodologia ativa utilizada será a gamificação, a partir de jogos. Os alunos vão se organizar em grupo e receberão as instruções com o QRcode do um jogo digital “Desafio Digital” e do scape room. Os alunos deverão jogar os dois jogos através do sistema de rotação.

RECURSOS

Informações do jogo (Desafio Digital)

Celular com acesso à internet.

Kit do scape room

AValiação

A avaliação continua será feita por meio da participação e envolvimento durante os jogos, e realizações das atividades propostas, seja essa participação parcial ou integral, dada às dificuldades individuais de cada aluno por meio de gestos, verbalizações, questionamentos e discussão.

Atividade6.1-Quebre o Código

VOCÊS RECEBERÃO UM ENVELOPE COM UMA ATIVIDADE ELETRIZANTE QUE DEVERÃO RESPONDER EM 20MIN. LEMBREM-SE, A COLABORAÇÃO, A COMUNICAÇÃO EFETIVA E A APLICAÇÃO DE CONHECIMENTOS ELÉTRICOS SERÃO ESSENCIAIS PARA O SUCESSO DESTA MISSÃO.

O RELÓGIO ESTÁ CORRENDO.

Atividade 5.3: Quebre o Código

O professor deve recortar as imagens da atividade Quebre o Código e colocar em um envelope, que deverão ser entregues aos alunos. Nesse envelope deve conter as instruções e as salas dos códigos em ordens.



EM UM FUTURO NÃO MUITO DISTANTE, A COMUNICAÇÃO MÓVEL HAVIA EVOLUÍDO DE MANEIRA IMPRESSIONANTE. AS PESSOAS PODIAM SE CONECTAR EM QUALQUER LUGAR E A QUALQUER MOMENTO, GRAÇAS À TECNOLOGIA DE PONTA. NO ENTANTO, ESSA REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA TAMBÉM TROUXE CONSIGO DESAFIOS INESPERADOS PARA A SAÚDE.

EM UMA CIDADE MODERNA E ALTAMENTE CONECTADA, UM ENGENHEIRO ELÉTRICO DE MÁ FÉ, CHAMADO VICTOR MALONE, ESTAVA PLANEJANDO CAUSAR UMA CATÁSTROFE AO MANIPULAR O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MÓVEL DA CIDADE PARA DESLIGAR UMA USINA PRÓXIMA. ELE SABIA QUE ISSO PODERIA CAUSAR DANOS GRAVES À POPULAÇÃO E MERGULHAR A CIDADE NA ESCURIDÃO.

AS AUTORIDADES FORAM ALERTADAS SOBRE O PLANO DE MALONE, E VOCÊ E SUA EQUIPE FORAM CONVOCADOS PARA DESVENDAR SEUS PLANOS E ENCONTRAR OS RASTROS QUE ELE HAVIA DEIXADO PARA TRÁS.

PARA ISSO, VOCÊ E SUA EQUIPE FORAM TRANCADOS EM UMA ESTAÇÃO DE COMUNICAÇÃO ONDE O CÓDIGO MALICIOSO DE MALONE ESTAVA ESCONDIDO. HAVIA PISTAS ESPALHADAS POR TODO O LOCAL E DESAFIOS MICROBIOLÓGICOS COMPLEXOS QUE PRECISAVAM SER DECIFRADOS PARA REVELAR PARTES DO CÓDIGO. O TEMPO ERA CRUCIAL; ELES TINHAM APENAS 20 MINUTOS PARA ENCONTRAR E DIGITAR O CÓDIGO CORRETO NO PAINEL DE CONTROLE E EVITAR A DESTRUIÇÃO DA USINA.

LEMBREM-SE, A COLABORAÇÃO, A COMUNICAÇÃO EFETIVA E A APLICAÇÃO DE CONHECIMENTOS ELÉTRICOS SERÃO ESSENCIAIS PARA O SUCESSO DESTA MISSÃO. VOCÊS ESTÃO PREPARADOS PARA ENFRENTAR ESSE DESAFIO E SALVAR UMA CIDADE DE UMA CATÁSTROFE?

O RELÓGIO ESTÁ CORRENDO.

BOA SORTE, EQUIPE!

Obs: Essa atividade foi desenvolvida por @vivendociencia.prof

ENIGMA
SALA DE CONTROLE

ENQUANTO O ENGENHEIRO ELÉTRICO SE APRESSAVA PARA FUGIR ANTES DO TEMPO SE ESGOTAR, ELE ESQUECEU PARA TRÁS PISTAS VALIOSAS NA SALA DE CONTROLE DA USINA ELÉTRICA.



AGORA, CABE A VOCÊS, ENCONTRAR ESSES ITENS PERDIDOS E DECIFRAR A SENHA QUE REVELARÁ A PRÓXIMA PISTA NESTA ANGUSTIANTE MISSÃO DE SALVAR O MUNDO.

DICA: COMBINE OS NÚMEROS ENCONTRADOS DE FORMA QUE DÊ O MAIOR VALOR POSSÍVEL.




ENIGMA
PAINEL ELÉTRICO

No desafio em que estão envolvidos, vocês devem encontrar palavras escondidas. O número total de palavras descobertas será a senha para o próximo enigma.



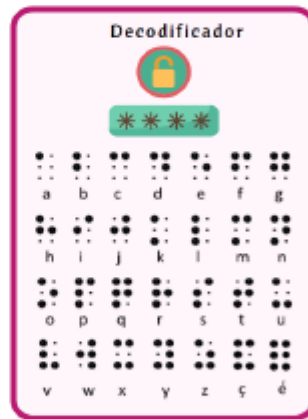
R	E	B	O	Ã	Ç	U	D	N	I
O	T	A	C	H	O	Q	U	E	Z
T	N	T	L	O	M	D	Q	W	K
U	A	E	T	T	F	G	B	N	B
D	L	R	L	A	M	P	A	D	A
N	O	I	U	T	E	S	T	T	W
O	S	A	Y	N	V	S	R	R	M
C	I	G	B	O	A	G	I	J	S
M	A	W	W	C	H	Y	T	I	T
S	L	A	Z	N	C	I	O	W	D



ENIGMA
CONEXÕES ELÉTRICAS




FFVLE
 0L0>FFLE
 0L0F0J0E



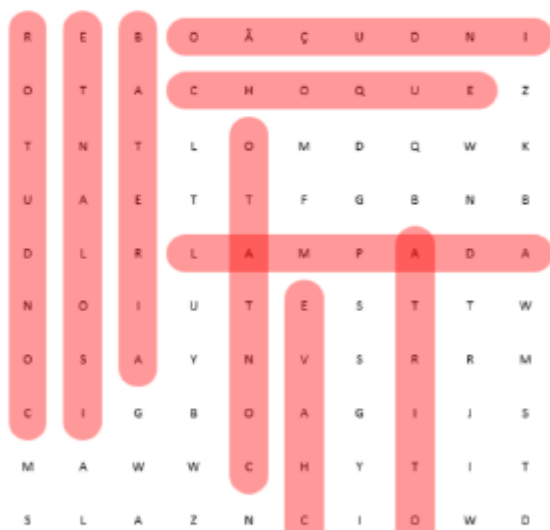
Gabarito

Código do enigma risco biológico: **DISJUNTOR**

Código do enigma sala de controle: **731**

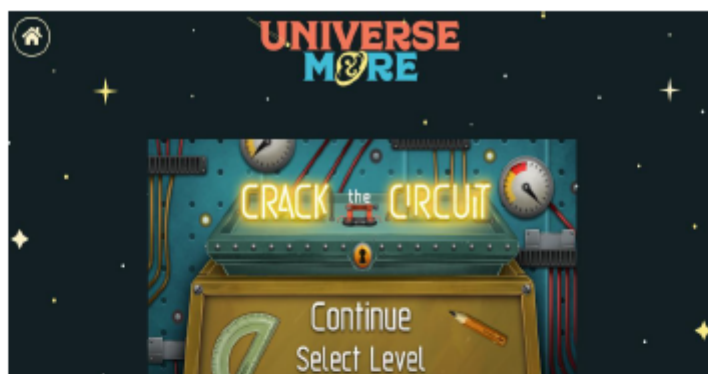
Código do enigma cofre biológico: **9**

Código final do cofre: **RISCO ELÉTRICO ELIMINADO**



Jogo digital

Conceitos e Tecnologias - *Crack the Circuit*



O objetivo de *Crack the Circuit* é solucionar uma série de quebra-cabeças elétricos, conectando componentes de circuitos de forma correta para que a eletricidade flua. Durante o jogo, você aprenderá a montar circuitos simples e complexos, explorando como os diferentes elementos (como resistores, lâmpadas, e fontes de energia) interagem para formar um circuito funcional.

Guia para Acessar e Jogar *Crack the Circuit*:

1. Acessando o Jogo:

O objetivo desse jogo é desbloquear a caixa do circuito, e para isso você precisará mostrar como a lâmpada e demais componentes do circuito estão conectados dentro da caixa.

-Acesse o jogo a partir do link abaixo ou escaneie ou o QR Code ao lado.

<https://www.universeandmore.com/crack-the-circuit/>

-Inicie o jogo e desbloqueie as caixas.

-O jogo finaliza quando você desbloquear 18 caixas.



2. Como Jogar:

- **Início do Jogo:** Ao iniciar, você verá uma área com peças e componentes eletrônicos. O objetivo é conectar essas peças para formar circuitos que permitam a passagem de corrente elétrica.
- **Arraste e Solte:** Para conectar os componentes, clique e arraste-os até as posições corretas.
- **Testando o Circuito:** Após conectar os componentes, clique no botão de "Testar" para verificar se o circuito está funcionando corretamente. Se a corrente passar, você avançará para o próximo nível.
- **Desafios:** A cada nível, o jogo se torna mais desafiador, introduzindo novos componentes e exigindo mais raciocínio lógico para garantir que os circuitos funcionem como esperado.

3. Dicas para Sucesso no Jogo:

- Preste atenção ao comportamento dos componentes enquanto monta os circuitos. Observe como a tensão e a corrente interagem.
- Teste diferentes combinações de componentes para ver como eles afetam o funcionamento do circuito.
- Se encontrar dificuldades, revise os conceitos básicos de circuitos elétricos, como a Lei de Ohm e o comportamento de resistores, lâmpadas e baterias.

4. Analisando o Comportamento dos Circuitos em Série e Paralelo:

- No final do jogo, você encontrou um circuito onde dois resistores estão conectados em paralelo, e esse conjunto paralelo está conectado em série com uma lâmpada.
- 1- Explique como a corrente se comporta nesse circuito. Como a corrente é dividida entre os resistores em paralelo e como ela afeta a lâmpada conectada em série? O que aconteceria se você trocasse a conexão para que os resistores estivessem todos em série? Esquematize o circuito.



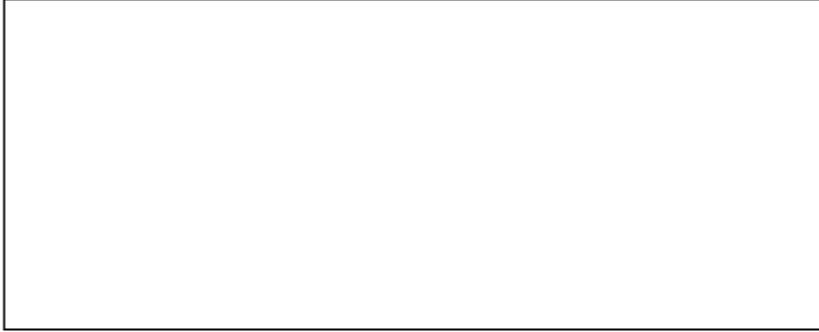
- Durante o jogo, você completou um circuito onde uma lâmpada não acendia até que um dos fios fosse reconectado corretamente.

2- O que é um circuito aberto e como você identificou que o circuito estava aberto? Explique o que acontece com a corrente elétrica em um circuito aberto e como o fechamento do circuito restaura o fluxo da corrente. Esquematize o circuito.

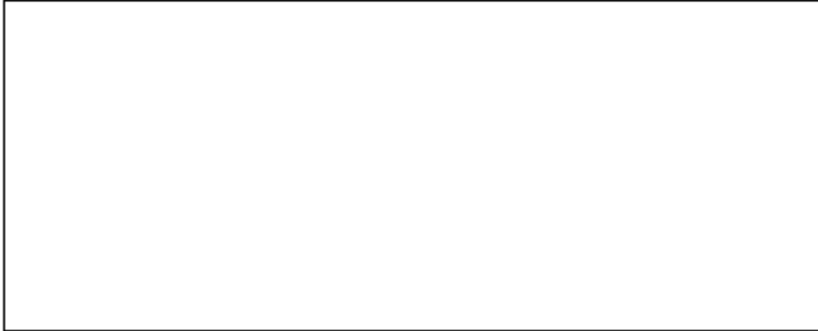


- Após finalizar o jogo, você se deparou com um circuito complexo que possui uma fonte de energia, dois resistores em paralelo e uma lâmpada.

3- Como a adição de resistores em paralelo pode alterar o comportamento do circuito? Quais são as consequências dessa configuração para a intensidade da lâmpada e a corrente elétrica? Explique o efeito de adicionar mais resistores em paralelo sobre a resistência total do circuito. Esquematize o circuito.



4- Quais foram os principais desafios que você enfrentou durante o jogo?



SITE



Início
Sobre nós
Evolução do analógico ao 5G
Por dentro do celular
Como ocorre a ligação do celular?
Como funciona a tela Touchscreen do celular?
Como funciona os carregadores e baterias?
Contato
Lojinha

JUNTE-SE A NÓS NESTA DESCOBERTA ELETRIZANTE!



[Sobre nós](#)



[Evolução do analógico ao 5G](#)



[Por dentro do celular](#)



[Como ocorre a ligação do celular?](#)



APÊNDICE B-BANCO DE ITENS

1. E-mail *

2. CONVITE PARA PARTICIPAR DE PESQUISA

*

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa que tem por objetivo validar um banco de itens. Este é o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido de participação da pesquisa.

A participação na pesquisa será por meio de resposta a um questionário sobre corrente elétrica e circuitos elétricos.

Você concorda em participar da pesquisa?

Ao responder Sim você será direcionado para o questionário. O tempo médio de resposta é de 40 minutos. Agradecemos o seu tempo e atenção.

Equipe de pesquisa.

Marcar apenas uma oval.

- SIM eu aceito participar
 NÃO eu aceito participar

3. Nome *

4. Nome da Instituição que você estuda. *

5. Qual série e turma você estuda? *

6. Qual sua idade? *

Questões de V ou F

1-A corrente elétrica é um fenômeno que ocorre nos condutores elétricos quando

*suas cargas se movem de forma ordenada devido a uma tensão gerada por uma diferença de potencial (ddp).

Verdadero

Falso

2-É correto afirmar que corrente convencional, é uma corrente imaginária produzida *
por cargas positivas que se deslocam em direção ao terminal negativo da pilha.

Verdadero

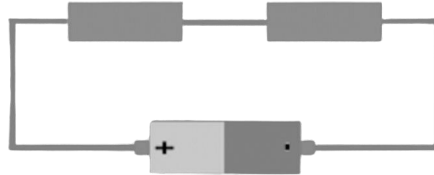
Falso

3-Em linguagem coloquial, usa-se a palavra “voltagem” esse termo leigo é utilizado *
quando se refere a tensão elétrica.

Verdadero

Falso

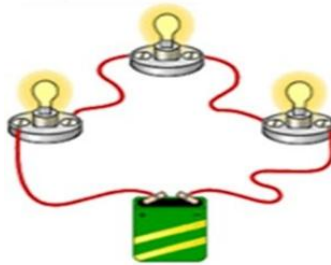
4-Nesse tipo de associação mostrada na figura, a resistência equivalente é igual à *
soma dos inversos dos resistores associados.



Verdadero

Falso

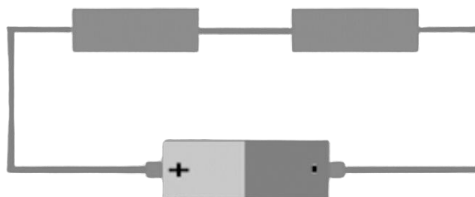
5-Nesse tipo de associação de lâmpadas mostrada na figura, a resistência equivalente *
é dada pela soma das resistências de cada lâmpada.



Verdadero

Falso

6-A intensidade da corrente elétrica na figura permanece a mesma em todo o circuito. *

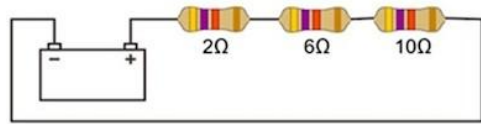


- Verdeiro
- Falso

7-Em um circuito com duas lâmpadas em série A e B, sabendo que a corrente da lâmpada A equivale a 1 A, a corrente na lâmpada B terá o valor maior que 1A. *

- Verdeiro
- Falso

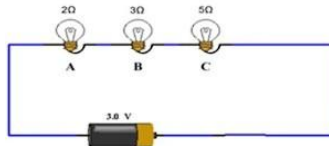
8-Dada a associação de resistores representada abaixo e, sabendo-se que a diferença * de potencial da bateria é de 9V. É correto afirmar que o resistor equivalente da associação é de 18Ω.



- Verdeiro
- Falso

9-Dada a associação de lâmpadas representada abaixo e, sabendo-se que a

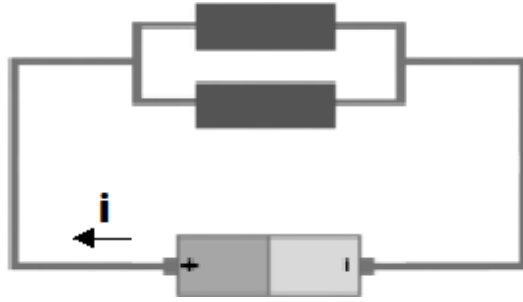
*diferença de potencial da pilha é de 3 V. É correto afirmar que a ddp em todas as lâmpadas tem o mesmo valor que é 3V.



- Verdeiro
- Falso

10-Nesse tipo de associação mostrada na figura, todos os resistores devem estar *

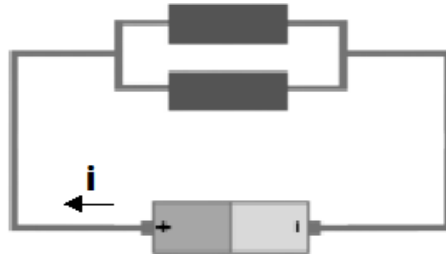
sob a mesma tensão (ddp).



Verdeiro

Falso

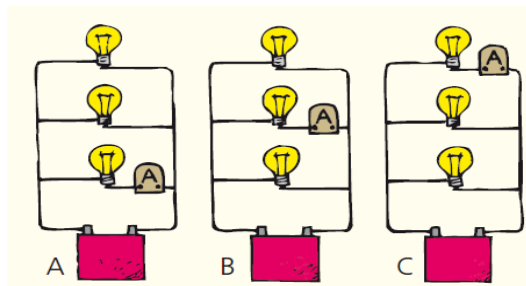
11-Considerando que a corrente i no circuito da figura abaixo, entra no circuito e no nó ela é subdividida em i_1 e i_2 , logo podemos calcular a corrente total i sendo a soma de i_1 e i_2 . *



Verdeiro

Falso

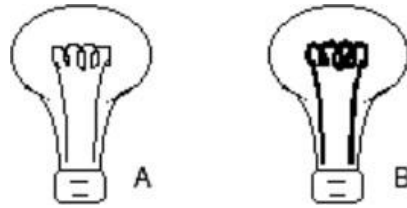
12-As lâmpadas mostradas são idênticas. Um amperímetro é ligado em *diferentes lugares do circuito, como indicado. É correto afirmar que a leituras dos amperímetros nos três circuitos registram valores diferentes.



Verdeiro

Falso

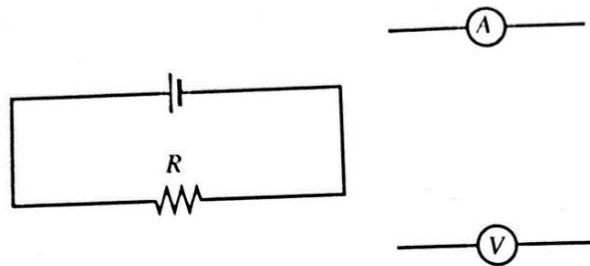
13- Considere duas lâmpadas, A e B, idênticas a não ser pelo fato de que o *filamento de B é mais grosso que o filamento de A, como é mostrado na figura abaixo. Se cada uma estiver sujeita a uma ddp de 110 volts. É correto afirmar que a lâmpada A será a mais brilhante pois tem a maior resistência.



- Verdeiro
- Falso

14-No seguinte circuito, para medir a diferença de potencial e a corrente no resistor R. O correto será ligar o amperímetro em série com o resistor e o voltímetro em paralelo.

*



- Verdeiro
- Falso

Questões objetivas (apenas uma alternativa está correta)

15- Três resistores idênticos de $R = 30\Omega$ estão ligados em paralelo com uma bateria de 12V. Pode-se afirmar que a resistência equivalente do circuito é de:

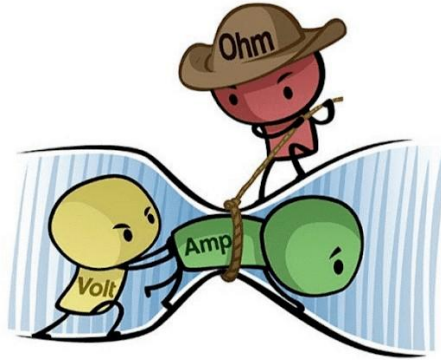
*

- a) $R_{eq} = 10\Omega$.
- b) $R_{eq} = 20\Omega$.
- c) $R_{eq} = 30\Omega$.
- d) $R_{eq} = 40\Omega$.

16-O que é corrente elétrica? *

- a) O movimento de íons em um circuito.
- b) O fluxo de prótons em um circuito.
- c) O fluxo de elétrons em um circuito.
- d) A intensidade da luz em um circuito.

17- A partir da imagem abaixo, marque a alternativa correta. *



- a) é correto afirmar que o fluxo de corrente elétrica não sofre interferência com a resistência do circuito.
- b) a diferença de potencial não interfere no fluxo elétrico.
- c) quanto maior for a resistência menor vai ser o fluxo de corrente elétrica.
- d) quanto maior a resistência maior será o fluxo de corrente elétrica.

18- Como medir a corrente elétrica em um circuito? *

- A) usando um amperímetro em série com o circuito.
- B) Usando um amperímetro em paralelo com o circuito.
- C) Usando um voltímetro em série com o circuito.
- D) Usando um voltímetro em paralelo com o circuito.

19- Qual é a fórmula que relaciona tensão (V), corrente (I) e resistência (R) em um circuito elétrico, de acordo com a Lei de Ohm? *

- a) $V = I \cdot R$
- b) $I = V + R$
- c) $R = V / I$
- d) $P = V / I$

20. Quais são os principais componentes de um circuito elétrico: *

- a) Os principais componentes são resistores e capacitores;
- b) Os principais componentes são baterias e disjuntores;
- c) Os principais componentes são condutores, dispositivos de carga e dispositivos de controle;
- d) Os principais componentes são lâmpadas e interruptores;

21. O que significa a polaridade em um circuito de corrente contínua? *

- a) A polaridade indica a temperatura.
- b) A polaridade indica a direção do fluxo de elétrons;
- c) A polaridade controla a corrente elétrica,
- d) A polaridade é usada para medir a voltagem no circuito.

22. O que é um circuito elétrico em série? *

- a) Um circuito com apenas uma lâmpada.
- b) Um circuito em que os componentes estão conectados em um único caminho.
- c) Um circuito com uma fonte de alta voltagem.
- d) Um circuito que usa apenas resistores.

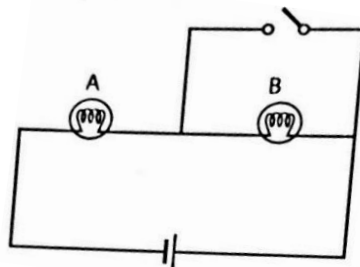
23. O que é um disjuntor em um circuito elétrico? *

- a) Um dispositivo que amplifica a corrente elétrica.
- b) Um dispositivo que mede a voltagem.
- c) Um dispositivo que protege o circuito contra correntes excessivas, desligando-o.
- d) Um dispositivo que armazena energia elétrica.

24-Como identificar se um componente é um condutor ou um isolante? *

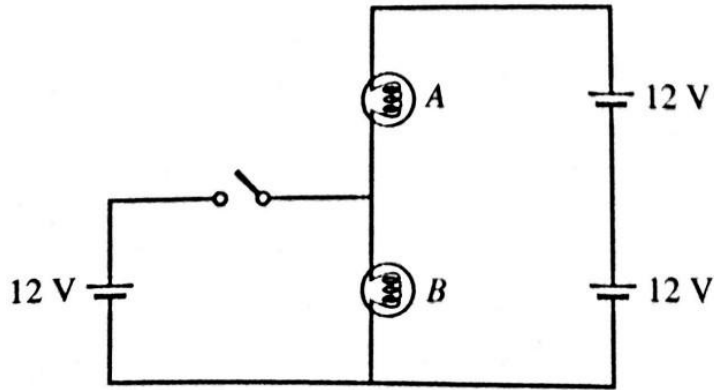
- A) Verificando se ele permite ou impede a passagem de corrente elétrica.
- B) Verificando se ele armazena energia elétrica.
- C) Verificando se ele gera energia elétrica.
- D) Verificando se ele converte energia elétrica em energia mecânica.

25- O circuito abaixo consiste em uma única bateria de 12V e duas lâmpadas de filamento idêntico brilhando com a mesma intensidade. Quando a chave é fechada, o brilho da lâmpada A:



- A) aumenta
- B) permanece inalterado
- C) diminui
- D) a lâmpada A queima.

26- As lâmpadas de filamento do circuito são idênticas. Quando a chave é fechada: *

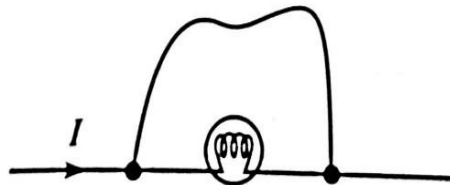


- a. ambas se apagam.
- b. a intensidade da lâmpada A aumenta.
- c. a intensidade da lâmpada A diminui.
- d. nada muda.

27- Com relação à associação de resistores em série, indique a alternativa incorreta: *

- a) A resistência equivalente à associação é sempre maior que a de qualquer um dos resistores componentes.
- b) A intensidade de corrente elétrica é igual em todos os resistores.
- c) A soma das tensões nos terminais dos resistores componentes é igual à tensão nos terminais da associação.
- d) A tensão é necessariamente a mesma em todos os resistores.
- e) A potência elétrica dissipada é maior no resistor de maior resistência.

28- Carga circula através de uma lâmpada de filamento. Suponha que um fio seja conectado à lâmpada como está mostrado abaixo. Quando o fio é ligado: *

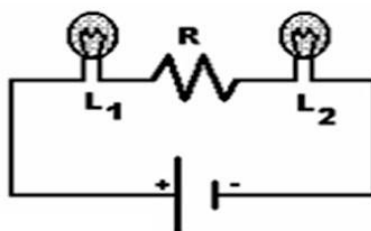


- A) toda carga continuará circulando através da lâmpada.
- B) metade da carga circulará através do fio e a outra metade continuará circulando através da lâmpada.
- C) toda a carga circulará através do fio.
- D) a lâmpada queima.

29- Em um circuito elétrico em série, se houver três resistores de 4 ohms cada, qual é a resistência total do circuito? *

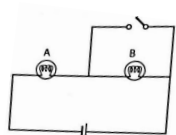
- a) 4 ohms
- b) 8 ohms
- c) 12 ohms
- d) 16 ohms

30- As lâmpadas são iguais no circuito da figura abaixo e R é um resistor. Neste circuito: *



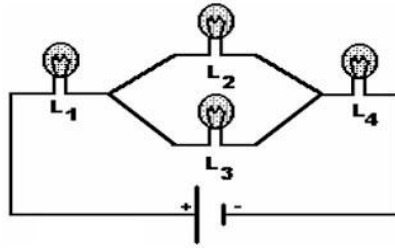
- a) L1 e L2 têm o mesmo brilho.
- b) L1 brilha mais do que L2.
- c) L2 brilha mais do que L1.
- d) L1 e L2 não acendem.

31- O circuito abaixo consiste em uma única bateria de 12V e duas lâmpadas de filamento idêntico brilhando com a mesma intensidade. Quando a chave é fechada: *



- a) B continua brilhando como antes.
- b) B deixa de brilhar.
- c) B diminui seu brilho, mas não apaga.
- d) A continua brilhando como antes.

32- No circuito abaixo o brilho de L1 é :



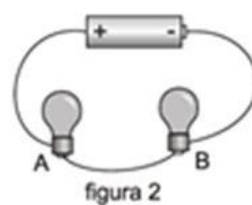
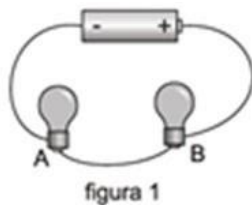
- a) igual ao de L4.
- b) maior do que o de L4.
- c) menor do que o de L4.
- d) menor do que o de L2.

33- A rede elétrica de uma residência tem tensão de 110V e o morador compra,

por engano, uma lâmpada incandescente com potência nominal de 100W e tensão nominal de 220V. Se essa lâmpada for ligada na rede de 110V, o que acontecerá?

- A -A lâmpada brilhará normalmente, mas como a tensão é a metade da prevista, a corrente elétrica será o dobro da normal, pois a potência elétrica é o produto de tensão pela corrente.
- B- A lâmpada não acenderá, pois ela é feita para trabalhar apenas com tensão de 220V, e não funciona com tensão abaixo desta.
- C- A lâmpada irá acender dissipando uma potência de 50W, pois como a tensão é metade da esperada, a potência também será reduzida à metade.
- D- A lâmpada irá brilhar fracamente, pois com a metade da tensão nominal, a corrente elétrica também será menor e a potência dissipada será menos da metade nominal.

34-Duas lâmpadas incandescentes A e B são ligadas em série a uma pilha, conforme *mostra a figura 1. Nesse arranjo, A brilha mais que B. Um novo arranjo é feito, onde a polaridade da pilha é invertida no circuito, conforme mostrado na figura 2. Assinale a opção que descreve a relação entre as resistências elétricas das duas lâmpadas e as suas respectivas luminosidades na nova situação.



- a) As resistências elétricas são iguais e, na nova situação, A brilha menos que B.
- b) A tem maior resistência elétrica e, na nova situação, brilha menos que B.
- c) A tem menor resistência elétrica e, na nova situação, brilha menos que B.
- d) A tem maior resistência elétrica e, na nova situação, brilha mais que B.

35. Qual é a função dos circuitos integrados (chips) em um celular em

*
relação à corrente elétrica?

- a) Os chips regulam a quantidade de corrente elétrica necessária para o funcionamento do celular.
- b) Os chips são usados para gerar calor no celular.
- c) Os chips não têm relação com a corrente elétrica.
- d) Os chips controlam os aplicativos no celular.

36- O que acontece quando você faz uma ligação em um celular? *

- a) A corrente elétrica é convertida em energia cinética.
- b) A corrente elétrica é convertida em luz.
- c) A corrente elétrica modula os sinais de áudio diretamente.
- d) A corrente elétrica é usada para gerar calor no celular.

37. Como a corrente elétrica é usada para carregar a bateria de um celular? *

- a) A corrente flui da bateria para o carregador.
- b) A corrente flui do carregador para a bateria, convertendo energia elétrica em energia química.
- c) A corrente elétrica não é usada no processo de carregamento.
- d) A corrente elétrica é convertida em sinais de rádio.

38- Qual é a resistência de uma frigideira elétrica que puxa 12 A de corrente quando conectada a uma tomada de 120 V?

39- O que será menos perigoso: ligar um aparelho de 110V a uma tomada de 220V ou ligar um aparelho de 220V a uma tomada de 110V? Justifique.

40- Uma ação cotidiana e corriqueira é apertar um interruptor e acender uma lâmpada, no teto ou no abajur. A figura mostra um modelo mais simples dessa situação: uma pilha comum está ligada a um interruptor e a uma lâmpada de lanterna. Ao pressionar o interruptor a lâmpada acende. Explique o que ocorre na pilha, fios, interruptor e na lâmpada quando ela está acesa.

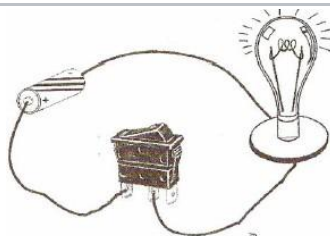


FIGURA 4: Representação de um circuito elétrico simples

APENDICE C-

Centros do cluster iniciais

	Cluster		
	1	2	3
infit	,81	1,25	1,02

Associação de cluster

Número do caso	Item	Cluster	Distância
1	1	3	,010
2	2	3	,010
3	3	3	,070
4	4	3	,110
5	5	2	,070
6	6	3	,080
7	7	1	,040
8	8	3	,100
9	9	3	,030
10	10	3	,090
11	11	3	,010
12	12	2	,090
13	13	3	,070
14	14	3	,030
15	15	3	,010
16	16	3	,040
17	17	3	,010
18	18	1	,090
19	19	3	,090
20	20	3	,000
21	21	1	,040
22	22	1	,040
23	23	1	,010
24	24	1	,000
25	25	2	,070
26	26	3	,000
27	27	3	,020
28	28	2	,000
29	29	3	,090
30	30	3	,000
31	31	3	,080

32	32	1	,060
33	33	1	,090
34	34	3	,060
35	35	3	,040
36	36	3	,000
37	37	1	,080

Centros do cluster finais

Cluster			
	1	2	3
infit	,86	1,19	1,02

Distâncias entre centros do cluster finais

Cluster	1	2	3
1		,332	,161
2	,332		,171
3	,161	,171	

ANOVA

	Cluster		Erro		Z	Sig.
	Quadrado Médio	df	Quadrado Médio	df		
infit	,168	2	,003	34	62,163	,000

Os Testes-F devem ser usados apenas para finalidades descritivas porque os cluster foram escolhidos para maximizar as diferenças entre os casos em clusters diferentes. Os níveis de significância observados não estão corrigidos para isso e, dessa forma, não podem ser interpretados como testes da hipótese de que as médias de cluster são iguais.

Número de casos em cada cluster

Cluster	1	9,000
	2	4,000
	3	24,000
Válido		37,000
Omisso		,000

Centros do cluster finais

Cluster			
	1	2	3
infit	,86	1,19	1,02

Distâncias entre centros do cluster finais

Cluster	1	2	3
1		,332	,161
2	,332		,171
3	,161	,171	

ANOVA

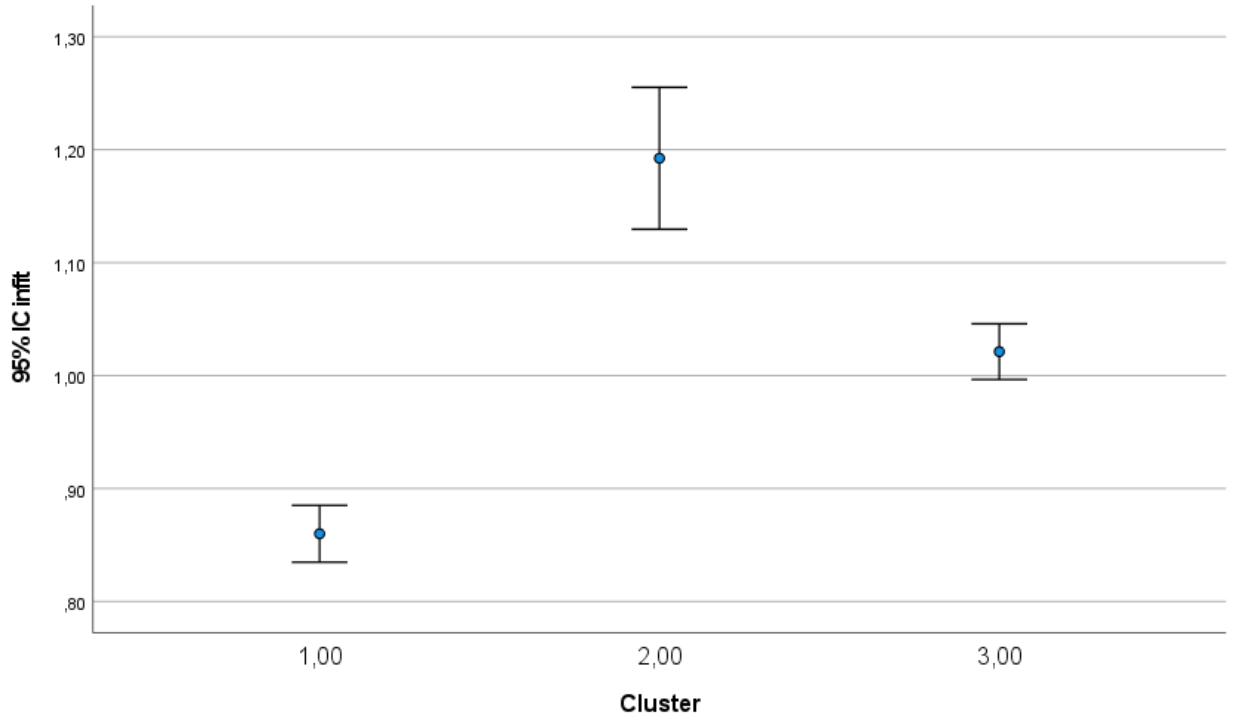
	Cluster Quadrado Médio	df	Erro Quadrado Médio	df	Z	Sig.
infit	,168	2	,003	34	62,163	,000

Os Testes-F devem ser usados apenas para finalidades descritivas porque os cluster foram escolhidos para maximizar as diferenças entre os casos em clusters diferentes. Os níveis de significância observados não estão corrigidos para isso e, dessa forma, não podem ser interpretados como testes da hipótese de que as médias de cluster são iguais.

Número de casos em cada cluster

Cluster	1	9,000
	2	4,000
	3	24,000
Válido		37,000
Omisso		,000

Gráfico



```
EXAMINE VARIABLES=infit BY Cluster  
/PLOT=BOXPLOT  
/STATISTICS=NONE  
/NOTOTAL.
```

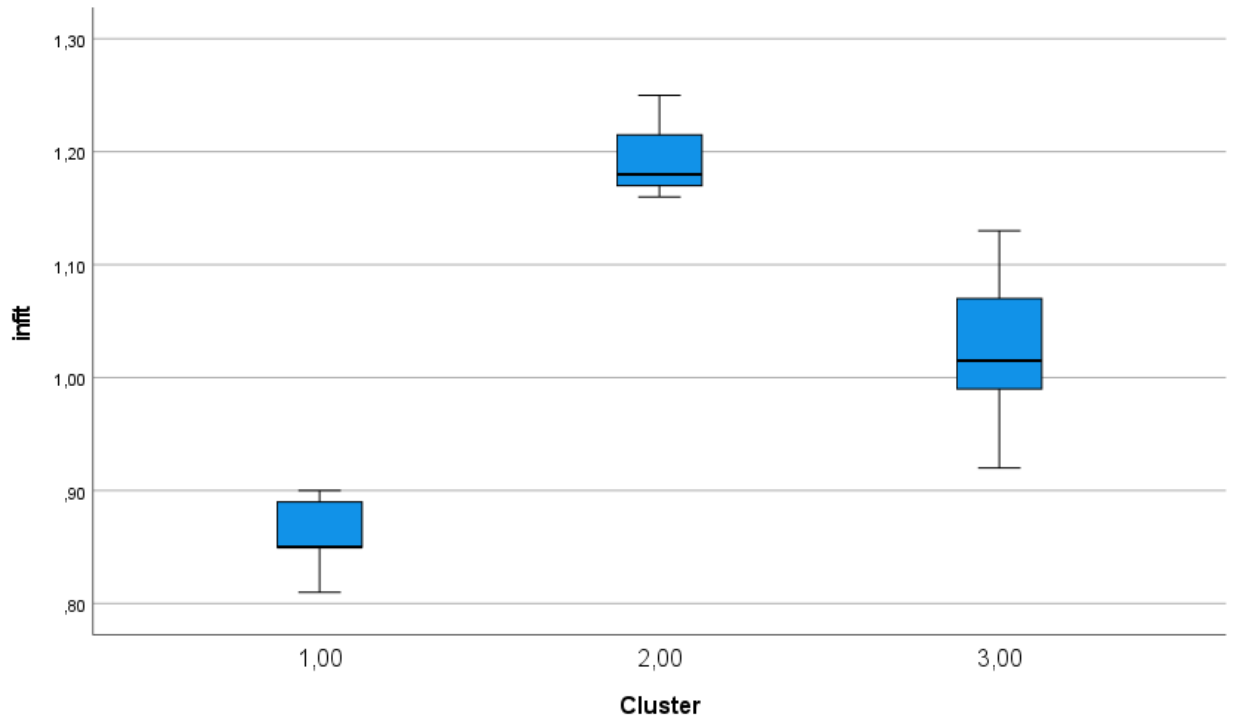
Explorar

Cluster

Resumo de processamento de casos

	Cluster	Casos Válido		Omisso		Total	
		N	Porcentagem	N	Porcentagem	N	Porcentagem
infit	1,00	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
	2,00	4	100,0%	0	0,0%	4	100,0%
	3,00	24	100,0%	0	0,0%	24	100,0%

infit



Cluster rápido**Centros do cluster iniciais**

	Cluster		
	1	2	3
infit	,81	1,25	1,02

Associação de cluster

Número do caso	Item	Cluster	Distância
1	1	3	,010
2	2	3	,010
3	3	3	,070
4	4	3	,110
5	5	2	,070
6	6	3	,080
7	7	1	,040
8	8	3	,100
9	9	3	,030
10	10	3	,090
11	11	3	,010
12	12	2	,090
13	13	3	,070
14	14	3	,030
15	15	3	,010
16	16	3	,040
17	17	3	,010
18	18	1	,090
19	19	3	,090
20	20	3	,000
21	21	1	,040
22	22	1	,040
23	23	1	,010
24	24	1	,000
25	25	2	,070
26	26	3	,000
27	27	3	,020
28	28	2	,000
29	29	3	,090
30	30	3	,000
31	31	3	,080
32	32	1	,060
33	33	1	,090
34	34	3	,060
35	35	3	,040
36	36	3	,000
37	37	1	,080

Centros do cluster finais

	Cluster		
	1	2	3
infit	,86	1,19	1,02

Distâncias entre centros do cluster finais

Cluster	1	2	3
1		,332	,161
2	,332		,171
3	,161	,171	

ANOVA

	Cluster		Erro		Z	Sig.
	Quadrado Médio	df	Quadrado Médio	df		
infit	,168	2	,003	34	62,163	<,001

Os Testes-F devem ser usados apenas para finalidades descritivas porque os cluster foram escolhidos para maximizar as diferenças entre os casos em clusters diferentes. Os níveis de significância observados não estão corrigidos para isso e, dessa forma, não podem ser interpretados como testes da hipótese de que as médias de cluster são iguais.

Número de casos em cada cluster

Cluster	1	9,000
	2	4,000
	3	24,000
Válido		37,000
Omisso		,000

Gráfico

