

Analisando o entendimento de estudantes do terceiro ano do Ensino Médio sobre circuitos e corrente elétrica: um estudo exploratório

Analyzing third-year high school students' understanding of circuits and electric current: an exploratory study

Ericarla de Jesus Souza
Amanda Amantes

RESUMO

Este artigo busca mapear o entendimento dos estudantes do terceiro ano do Ensino Médio sobre corrente e circuitos elétricos. Elaboramos um instrumento baseado na inclusão de itens previamente validados na literatura, bem como na construção/adaptação de novos itens necessários para acessar conhecimentos que não são contemplados pelos testes existentes. A pesquisa exploratória foi conduzida com 205 estudantes e buscou identificar a configuração do entendimento deles, propondo indicativos para aprofundamento na discussão sobre o papel da escolarização para a aprendizagem desse conteúdo. A análise dos dados, realizada por meio dos escores normalizados, concentra-se em uma abordagem exploratória, visando identificar padrões e tendências correspondentes ao entendimento. Este estudo contribui, do ponto de vista metodológico de pesquisa, para elencar possíveis preditores de aprendizagem para investigar a aprendizagem desse conteúdo. Além disso, traz contribuições para uma compreensão dos desafios enfrentados pelos estudantes nesse domínio e oferece *insights* para aprimorar a abordagem pedagógica desses conceitos no ambiente educacional.

Palavras-chave: Eletricidade; Análise Exploratória; Ensino de Física.

ABSTRACT

This article seeks to map the understanding of third-year high school students about current and electrical circuits. We developed an instrument based on the inclusion of items previously validated in the literature, as well as the construction/adaptation of new items necessary to access knowledge that is not covered by existing tests. The exploratory research was conducted with 205 students and sought to identify the configuration of their understanding, proposing indications for deepening the discussion on the role of schooling in learning this content. Data analysis, carried out using normalized scores, focuses on an exploratory approach, identifying patterns and trends corresponding to understanding. This study contributes, from a research methodological point of view, to listing possible learning predictors to investigate the learning of this content. Furthermore, it contributes to an understanding of the challenges faced by students in this domain and offers insights to improve the pedagogical approach to these concepts in the educational environment.

Keywords: Electricity; Exploratory Analysis; Teaching Physics.

INTRODUÇÃO

A eletricidade é uma das áreas da Física que tem recebido atenção no que tange às dificuldades encontradas no processo de ensino e aprendizagem (Dorneles; Araújo; Veit, 2006). Os esforços para aprofundamento nesse tema são encontrados há um tempo na literatura, como nos trabalhos de Millar e King (1993), Coelho e Borges (2011), Coelho e Amantes (2014), Oliveira e Pereira (2020), Silveira (2011). Além de pesquisas sobre aprendizagem, alguns estudos têm focado na construção de instrumentos para melhorar a compreensão conceitual. Por exemplo, Ivanjek et al. (2021) relatam o desenvolvimento de um teste de circuitos elétricos simples de dois níveis (Teste 2T-SEC) para avaliar e melhorar a compreensão conceitual dos alunos do Ensino Médio sobre circuitos elétricos simples.

A compreensão de tais conceitos tem se mostrado como um obstáculo devido à sua alta demanda por abstração e generalização. Vários fenômenos dessa área requerem uma mudança na lógica de racionalização de conceitos, pois as relações e significações são estabelecidas a partir de operações de pensamento baseadas em objetos teóricos abstratos, pouco tangíveis. Por exemplo, o movimento dos elétrons em um condutor pode ser difícil de ser entendido, já que não é um fenômeno diretamente observável; nesse contexto, a falta de tangibilidade frequentemente dificulta a compreensão inicial desses princípios.

Para superar essas dificuldades no Ensino Médio, é necessário adotar uma abordagem multifacetada. Isso inclui o desenvolvimento de currículos mais práticos e contextualizados, o investimento em recursos didáticos inovadores, como, por exemplo, laboratórios virtuais e aplicativos educacionais validados e testados, além do aprimoramento da formação de professores para que possam enfrentar de forma mais eficaz os desafios específicos relacionados ao ensino da eletricidade. Além disso, é importante promover uma abordagem mais centrada no aluno, incentivando a participação ativa, a exploração independente e a resolução de problemas para melhorar a compreensão e a retenção do conhecimento.

Também faz parte das ações necessárias para melhoria do ensino sobre o tema a utilização de instrumentos de intervenção e de avaliação coerentes, o que implica processos de validação deles. Conforme destacado nos estudos de Coelho (2007), as pesquisas existentes predominantemente adotam abordagens exploratórias e descritivas, abrangendo desde os conceitos iniciais sobre eletricidade até o conhecimento mais formal, ocorrendo tanto no ensino secundário quanto no universitário. Apesar de termos a oferta desses materiais, pouco desses instrumentos encontrados na literatura são validados e testados de acordo com sua eficiência para atingir os objetivos de ensino almejados. Ou seja, os materiais podem não estar atingindo seu objetivo devido à falta de rigor e à validade da qualidade desses materiais.

Para desenvolver atividades e instruções com maior eficácia, assim como determinar ações que otimizem a aprendizagem do conteúdo eletricidade e circuitos elétricos, um passo importante é compreender como se configura o entendimento desse conteúdo em diferentes fases de escolarização. Em particular, entender como o conhecimento dos estudantes que estão finalizando o terceiro ano do Ensino Médio está configurado fornece parâmetros importantes para pensar não só em abordagens metodológicas para a melhoria do ensino, mas também parâmetros para repensar aspectos do currículo em geral. Além disso, fornece *insights* importantes para avaliar a forma como o ensino contribui ou não para que o aluno alcance o tipo de conhecimento desejado ao final do percurso escolar da Educação Básica e traz elementos para delinear estudos preditivos futuros.

Essa análise é fundamental para identificar lacunas no processo educativo e promover melhorias no ensino, visando garantir que os alunos desenvolvam uma compreensão sólida e abrangente dos conceitos científicos apresentados durante o processo de escolarização.

Nesse sentido, o presente artigo traz um estudo exploratório sobre a configuração do entendimento dos estudantes do terceiro ano do Ensino Médio em relação ao conteúdo corrente elétrica e circuitos elétricos por meio de uma análise exploratória que buscou identificar características amostrais e dos itens relacionados ao acerto em um teste de

conhecimento. Esse procedimento fornece *insights* para posteriores estudos preditivos. Empregamos um instrumento construído com base na inclusão de itens previamente validados na literatura, como os de Coelho (2007), Mazur (2015) e Silveira et.al (1989), bem como na construção e adaptação de novos itens necessários para acessar conhecimentos não contemplados pelos testes existentes.

REFERENCIAL TEÓRICO

É importante fazer a distinção entre entendimento e conhecimento. De acordo com Perkins (1993), a compreensão vai além da simples aquisição de conhecimento. Por exemplo, um estudante pode possuir conhecimento sobre os conceitos de corrente elétrica e circuitos elétricos, ser capaz de expressar esse conhecimento verbalmente ou por escrito, conseguir resolver os cálculos de circuitos em série e paralelo, calcular tensão etc. e, no entanto, não ser capaz de construir um circuito real utilizando lâmpadas, fios e uma fonte de energia ou não saber identificar um vazamento de energia na ligação elétrica residencial de sua própria casa. Logo, é importante estabelecer essa distinção para entender o processo de aprendizagem, principalmente quando avaliamos o ensino e aprendizagem em Ciências.

Para este trabalho, a aprendizagem é concebida como a mudança do traço latente. Na perspectiva de Fischer (1980), essa mudança no traço latente corresponde a uma mudança de habilidades, ou seja, é o desenvolvimento progressivo das habilidades cognitivas. Esse processo contínuo de construção do entendimento pode ser influenciado por fatores diversos. O estado emocional, as relações sociais, a familiaridade com o tema e a linguagem são apenas alguns desses fatores; eles variam com o tempo e ampliam, conseqüentemente, os possíveis caminhos através dos quais o aprendizado ocorre (Fischer, 1980).

Portanto, a perspectiva da aprendizagem como evolução do entendimento ressalta a natureza dinâmica e contínua do processo educacional, enfatizando a importância de abordagens pedagógicas que considerem o desenvolvimento gradual e a progressão do

conhecimento ao longo do tempo. O entendimento é um traço latente que pode ser acessado a partir de instrumentos dentro de uma perspectiva teórica preestabelecida.

O entendimento pode ser considerado um atributo comparável à habilidade, como defende Fischer (1980). Também pode ser considerado semelhante ao pensamento delimitado por Biggs e Collis (1982), se tornando mais complexo ao longo do tempo, resultante das interações em diversos contextos em que o conteúdo é explorado. Sua complexidade é influenciada por vários fatores, como maturidade, suporte social e nível de desenvolvimento cognitivo.

Essas perspectivas de traço latente trazem a aceção de níveis de complexidade que, tendo em vista o entendimento, podem descrever o grau de articulação que se encontra quando avaliamos uma resposta a um estímulo externo, como, por exemplo, um teste de conhecimento. Nesse sentido, considerando o entendimento como um traço latente, o instrumento validado acessa a variável latente, que é mensurada a partir de análises que compreendem perspectivas teóricas associadas a procedimentos metodológicos de modelagem.

DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Em consonância com o objetivo deste estudo, que consiste em investigar o entendimento de estudantes do terceiro ano do Ensino Médio sobre corrente e circuitos elétricos, elaboramos um instrumento baseado na inclusão de itens previamente validados na literatura, bem como na construção/adaptação de novos itens necessários para acessar conhecimentos que não são contemplados pelos testes existentes. A seguir, descreveremos detalhadamente o processo de elaboração desse instrumento, assim como as características dos sujeitos e contextos envolvidos na pesquisa.

Instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta de dados desta pesquisa consiste em um banco de itens que compreende questões relacionadas ao conhecimento formal sobre corrente elétrica e circuitos elétricos no nível do Ensino Médio. O banco é composto por 40 itens, construídos ou adaptados considerando a natureza do item, podendo ser do tipo

conceitual, procedimental ou de uso de ferramentas matemáticas, visando identificar o conhecimento sobre corrente elétrica e circuitos elétricos.

Esses itens estão distribuídos da seguinte forma: 14 itens dicotômicos do tipo verdadeiro ou falso, 23 itens do tipo múltipla escolha, com quatro alternativas cada, e três itens discursivos. A estrutura do instrumento é organizada da seguinte maneira: as questões Q1 a Q14 são dicotômicas, as questões Q15 a Q37 são de múltipla escolha, e as questões Q38 a Q40 são discursivas. O Quadro 1 é composto por modelos de questões dicotômicas e discursivas.

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

Item do tipo Dicotômico Verdadeiro ou Falso
<p>Q1- 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). <input type="radio"/> Verdadeiro <input type="radio"/> Falso</p>
Item do tipo Múltipla Escolha
<p>Q16- 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</p>
Item do tipo Discursivo
<p>Q39- 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.</p>

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Sujeitos e contextos

Para conduzir o estudo, o instrumento foi administrado a 205 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio da Rede Estadual do Espírito Santo e da Rede Federal de Minas Gerais. Da Rede Estadual do Espírito Santo, participaram alunos de uma escola regular e de uma escola de Ensino Médio técnico no curso de Comércio. Da Rede Federal de Minas Gerais, participaram estudantes dos cursos técnicos de Agroecologia, Informática, Agrimensura e Meio Ambiente.

O instrumento foi aplicado pelos professores da disciplina Física de forma presencial em duas aulas geminadas de 50min. Os estudantes não tiveram material de consulta, eles responderam as questões somente com o entendimento que já tinham sobre

os conteúdos. É importante ressaltar que todos que responderam ao material já haviam estudado os conteúdos em questão. Os resultados obtidos com a aplicação do instrumento foram submetidos a uma análise exploratória baseada nos escores do teste.

ANÁLISE E RESULTADOS

Os dados correspondentes às respostas dos estudantes ao instrumento de coleta foram codificados para facilitar a interpretação, de modo que, para os itens dicotômicos, as respostas marcadas de acordo com o gabarito das questões foram substituídas pelo número 1 (um) e as respostas em desacordo foram representadas pelo número 0 (zero), possibilitando-nos elaborar uma matriz de dados dicotômica.

Com base nas respostas dos estudantes aos itens discursivos, realizamos uma análise qualitativa utilizando um sistema categórico, fundamentado na concepção acadêmica do conteúdo. Segundo Amantes, Coelho e Marinho (2015), a combinação de análises categóricas com escalas que podem ser modeladas numa perspectiva probabilística tem se mostrado promissora para a avaliação da aprendizagem.

Empregamos as Categorias de Explicitação, um sistema desenvolvido por Amantes (2009) para examinar a compreensão dos estudantes do Ensino Médio. Esse sistema se fundamenta nos conteúdos e conceitos que podem estar presentes nas respostas, refletindo a perspectiva avaliativa do corpo docente em relação ao conteúdo, com refinamento em níveis hierárquicos de complexidade da compreensão.

A análise dos itens discursivos, de acordo com as Categorias de Explicitação, ocorreu a partir da avaliação das respostas dos alunos de acordo com a perspectiva docente e formal dos conteúdos. Foram consideradas três categorias, a saber: Explícito, Parcialmente Explícito e Não Explícito. Esse sistema compreende níveis de complexidade empregados em outras taxonomias, como o Sistema de Habilidades Dinâmicas de Fischer (1980); a Taxonomia SOLO de Biggs e Collis (1982); a taxonomia de um sistema categórico que se aproxima dos níveis hierárquicos estabelecidos pela Teoria de Habilidades Dinâmicas, as quais dizem respeito a representações singulares, mapas, sistemas e sistemas de sistemas em uma camada ou patamar (ou estágio) de

Regebe e Amantes (2020), além do Sistema de Categorização dos níveis de entendimento em ordem hierárquica do conceito de densidade nas zonas do empirismo e do racionalismo tradicional de Melo, Amantes e Vieira (2020).

Diferentemente dos sistemas desses autores, o aqui proposto não compreende camadas, estágios ou modelos de pensamento, mas adota a perspectiva hierárquica postulada para identificação de níveis de complexidade. Assim, a categoria “Explícito” se reporta a um entendimento mais articulado, em que as ideias são relacionadas de maneira coerente e adequada aos parâmetros acadêmicos. A categoria “Parcialmente Explícito” denota que o estudante tem um entendimento sobre o que é perguntado, mas esse entendimento ainda carrega algum equívoco ou compreensão limitada em termos de relações e concepções generalizadas; ou seja, está menos articulado. Já a categoria “Não Explícito” considera uma resposta que não há como inferir sobre o entendimento ou que em ele se apresenta totalmente equivocado.

Após essa categorização, transformamos dados categóricos em dados numéricos e atribuímos números às categorias: 0 (zero) para “Não Explícito”, 1 (um) para “Parcialmente Explícito” e 2 (dois) para “Explícito”, gerando, assim, uma extensa matriz de dados numérica. O Quadro 2 apresenta um exemplo de categorização de questão discursiva do banco de itens.

Quadro 2 – Exemplo de categorização de questão discursiva

Q40 (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.

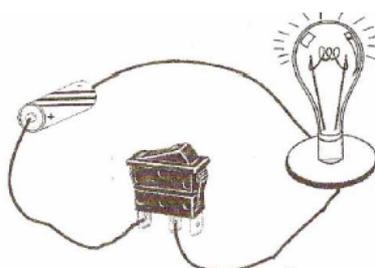


Figura: Representação de um circuito elétrico simples
Fonte: Coelho (2011, p. 60).

Resposta do Estudante	Categoria	Descrição da Categoria
<i>“O circuito elétrico vai abrir”</i>	0	A resposta está equivocada. O estudante afirma que, quando a chave do interruptor é ligada, o circuito ficará aberto. O entendimento aplicado é “Não Explícito”, pois não há como inferir sobre o seu entendimento de corrente elétrica e circuitos elétricos.
<i>“Quando o interruptor está desligado o circuito estará aberto quando ligado o circuito está fechado assim passando a corrente elétrica até a lâmpada”</i>	1	A resposta está “Parcialmente Explícita”. O estudante tem um entendimento sobre circuito aberto, fechado e movimento da corrente elétrica, mas não consegue explicar e relacionar a pilha e o processo de acender a lâmpada; ou seja, o entendimento desse estudante está menos articulado.
<i>Quando você pressiona o interruptor para acender a lâmpada, a seguinte sequência de eventos ocorre:</i> 1. **Interruptor Fechado:** Inicialmente, o interruptor está fechado. Nesse estado, há uma conexão elétrica completa no circuito. Os elétrons podem fluir através dos fios e do interruptor. 2. **Fluxo de Corrente:** Ao pressionar o interruptor, ele se abre, permitindo que a corrente elétrica flua do pólo positivo da pilha, passando pelos fios, pelo interruptor e pela lâmpada de lanterna. 3. **Reação Química na Pilha:** Dentro da pilha, ocorre uma reação química que libera elétrons, criando um fluxo de corrente elétrica. Esse processo fornece a energia necessária para a iluminação da lâmpada. 4. **Aquecimento do Filamento:** Na lâmpada de lanterna, a corrente elétrica passa por um filamento, geralmente feito de tungstênio. Esse filamento aquece devido à resistência elétrica, atingindo uma temperatura suficiente para emitir luz. 5. **Emissão de Luz:** O aquecimento do filamento na lâmpada resulta na emissão de luz visível, proporcionando a iluminação desejada. <i>Em resumo, pressionar o interruptor cria um caminho condutor para a corrente elétrica, permitindo que ela flua do pólo positivo da pilha, passe pela lâmpada, realize trabalho ao aquecer o filamento e, finalmente, retorne ao pólo negativo da pilha, completando o circuito elétrico.</i>	2	Resposta correta e com um alto grau de complexidade do entendimento que esse estudante explicitou. Logo, aplica-se a categoria “Explícito”.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Após a codificação de todas as respostas, realizamos uma avaliação para identificar possíveis *outliers*, ou seja, dados discrepantes que podem incluir sujeitos que erraram todas as questões, deixaram de responder a maioria delas ou acertaram todas. No caso dos itens, *outliers* são aqueles em que todos erram ou acertam. Itens e pessoas dessa natureza devem ser excluídos, pois não fornecem parâmetros mensuráveis.

Em seguida, foram calculados os escores e os escores normalizados, bem como a média dos escores normalizados da matriz de dados, referentes à frequência das marcações dos itens de acordo com o gabarito e as categorias. A média normalizada e o desvio padrão foi de $M= 58,6$ ($SD= 14,1$). Com base no valor da média dos escores normalizados, a amostra foi dividida em três grupos: grupo 1 (escores abaixo da média), grupo 2 (escores medianos) e grupo 3 (escores acima da média).

O grupo 1, correspondente aos valores dos escores normalizados menores que 40, apresentou uma média de $M=31,4$ ($SD= 5,0$). Já o grupo com médio escore normalizado, entre 41 e 69, obteve uma média de $M=56,3$ ($SD=9,0$), enquanto o grupo com alto escore normalizado, acima de 70, registrou uma média de $M=75,8$ ($SD=3,9$).

O conjunto de alunos pertencentes ao grupo 1, cujos valores dos escores se encontram abaixo da média, é constituído por 18 estudantes, igualmente divididos entre os gêneros masculino e feminino. Do total dos 18 alunos, 16 são vinculados à Rede Estadual, com 11 deles frequentando o Ensino Médio Regular e 5 frequentando o Ensino Médio Técnico do curso de Comércio. Os dois restantes são alunos da Rede Federal do curso de Agroecologia.

O grupo 2 corresponde à categoria dos escores médios e é formado por um total de 139 estudantes, sendo 61 do gênero feminino, 77 do gênero masculino e um que não se identifica com nenhum dos gêneros binários. Desse total, 59 são da Rede Estadual do Ensino Médio regular e técnico e 80 são da Rede Federal do Estado de Minas Gerais, com a maioria dos alunos dos cursos de Meio Ambiente e Agrimensura.

O grupo 3 é constituído por 48 alunos, dos quais 34 pertencem à Rede Federal, com predomínio do curso de Informática, e 14 são da Rede Estadual, todos matriculados no Ensino Médio regular.

Tabela 1 – Características sintetizadas dos grupos

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Gênero M	9	77	17
Gênero F	9	61	31
Rede Estadual de Ensino	17	59	14
Rede Federal de Ensino	2	80	34
Total de Estudantes	18	139	48
Escore Normalizados	31,4	56,3	75,8
Desvio Padrão	5,0	9,0	3,9

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A Tabela 1 apresenta os dados sintetizados dos grupos. É interessante observar que as caracterizações de cada grupo já nos fornecem indícios de preditores de desempenho. No grupo 1, que corresponde ao escore mais baixo, observa-se a predominância de alunos do curso regular, com apenas dois estudantes provenientes da Rede Federal. A maioria dos alunos da Rede Federal está concentrada nos grupos de escores mais altos ou médios. Essa inversão de representatividade sugere que ser estudante de uma instituição federal pode ser um fator relevante na avaliação de desempenho.

Cabe observar também que no grupo 3, que corresponde aos valores mais altos de escores, ou seja, maior desempenho, a maioria dos alunos é do gênero feminino, com 31 meninas e 17 meninos. No grupo 1, que corresponde ao escore mais baixo, nota-se uma igualdade de gênero, com a mesma quantidade de meninas e meninos. Já nos grupos 2 e 3, temos 92 meninas e 94 meninos. A predominância feminina nos desempenhos mais altos, especialmente no grupo 3, sugere que ser do gênero feminino e aluna de uma instituição federal pode ser um fator relevante na avaliação de desempenho.

Desempenho em questões dicotômicas

Além de verificarmos o desempenho em termos de acertos e erros dos sujeitos, o que nos fornece parâmetros para a avaliação sobre as características amostrais em termos de aprendizagem, identificamos também o desempenho em termos de marcações dos itens. Avaliamos as características das questões que foram mais acertadas e mais erradas, o que fornece indícios sobre o tipo de aprendizagem mais contemplada no processo de

escolarização. O desempenho nas questões dicotômicas refere-se à quantidade de acertos de cada questão.

Inicialmente classificamos os itens de acordo com sua natureza: conceitual, procedimental ou de aplicação da ferramenta matemática. O primeiro diz respeito a questões conceituais (C) concentram-se no entendimento dos estudantes sobre conceitos teóricos, princípios fundamentais ou ideias abstratas em um determinado campo de estudo. O segundo diz respeito a questões procedimentais (P), as quais se referem ao saber fazer, incluindo técnicas, estratégias, procedimentos e aplicabilidade do conteúdo, avaliando a habilidade do aluno em aplicar um procedimento específico ou executar uma série de passos para resolver um problema. E os itens classificados como uso de ferramenta matemática (FM) requerem o emprego de fórmulas, técnicas ou métodos específicos da matemática para resolver um problema ou realizar uma análise. O Quadro 3, a seguir, é composto por três itens do instrumento de coleta, os quais representam exemplos de itens em relação à sua natureza: Conceitual, Procedimental e Utilização de Ferramentas Matemáticas.

Quadro 3 – Exemplos de itens em relação à sua natureza

<p>Natureza do item: Conceitual (C)</p> <p>Q1- 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).</p> <p><input type="radio"/> Verdadeiro <input type="radio"/> Falso</p>
<p>Natureza do item: Procedimental (P)</p> <p>Q33- A rede elétrica de uma residência tem tensão de 110V, e o morador compra, por engano, uma lâmpada incandescente com potência nominal de 100W de tensão nominal de 220V. Se essa lâmpada for ligada na rede de 110V, o que acontecerá?</p> <p>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.</p> <p>b) A lâmpada não acenderá, pois ela é feita para trabalhar apenas com tensão de 220V, e não funciona com tensão abaixo desta.</p> <p>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.</p> <p>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 da nominal.</p>
<p>Natureza do item: Utilização de Ferramentas Matemáticas (FM)</p> <p>Q15- 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:</p> <p>a) $R_{eq} = 10\Omega$.</p> <p>b) $R_{eq} = 20\Omega$.</p> <p>c) $R_{eq} = 30\Omega$.</p> <p>d) $R_{eq} = 40\Omega$.</p>

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Após a codificação, as Questões 01 a 37 tornaram-se dicotômicas. A média geral dos escores normalizados de todas as questões foi de $M=0,58(SD= 0,16)$.

Os itens Q1 e Q31 se destacaram, obtendo respectivamente $M=0,92(SD=0,26)$ e $M=0,17(SD=0,46)$ de acertos, ou seja, foram os dois itens com maior e menor número de acertos e erros, o que sugere ser um item difícil e fácil, respectivamente. O item Q1 abordava uma questão convencional sobre corrente elétrica, do tipo conceitual. Por outro lado, a Q31 era uma questão do tipo procedimental que aplicava o conteúdo de corrente em um circuito misto aberto, que, ao ser fechado, o estudante deveria relacionar o valor da corrente com o brilho da lâmpada, o que corresponde a um item de natureza procedimental.

A discrepância entre o desempenho desses dois itens sugere uma diferença na compreensão dos conceitos abordados. Os alunos demonstraram um domínio mais substancial do conceito tratado na Q1 em comparação com o aspecto procedimental da Q31. Isso indica que os estudantes possivelmente têm uma compreensão articulada da definição conceitual, mas sua aplicação em contextos específicos, que demanda uma lógica de transposição do conceito, é menos desenvolvida, o que sugere uma falta de articulação nessa seara.

Na Tabela 2, são apresentados os dados sintetizados das características e do desempenho nos itens dicotômicos do instrumento de coleta, os quais foram classificados de acordo com sua natureza: Conceitual (C), Procedimental (P) e Uso de Ferramentas Matemáticas (FM). É interessante observar que a natureza intrínseca dos itens oferece indícios de potenciais indicadores de desempenho. Especificamente nos itens de natureza Conceitual, percebe-se uma predominância de valores superiores de desempenho, definidos como aqueles que ultrapassam o limiar de 0,7.

Destaca-se que o item com a mais alta taxa de acertos é de natureza conceitual, identificado como Q1, alcançando um índice de $M=0,92(SD=0,26)$. Por outro lado, observou-se que os itens com valores abaixo de 0,5 são predominantemente de natureza procedimental, sendo o de menor valor de acerto nesse domínio, identificado como Q31, um índice de $M= 0,17(0,46)$ de índice de acertos.

Apenas três itens foram classificados como Uso de Ferramentas Matemáticas. Esses itens apresentaram desempenho médio e alto, o que pode indicar uma possível compreensão nessa faceta.

Tabela 2 – Características e desempenhos em itens dicotômicos

Itens	Conteúdo	Natureza do item	Nível de acertos	Itens	Conteúdo	Natureza do item	Nível de acertos
Q1	Corrente elétrica	C	0,92	Q20	Circuito elétrico	C	0,4
Q2	Corrente elétrica	C	0,53	Q21	Corrente contínua	C	0,62
Q3	Unidade de medida	C	0,79	Q22	Circuito em série	C	0,80
Q4	Circuito em série	C	0,46	Q23	Dispositivos eléct.	C	0,80
Q5	Resistência equi.	C	0,69	Q24	Condutores	P	0,80
Q6	Corrente elétrica	C	0,73	Q25	Corrente elétrica	P	0,24
Q7	Corrente elétrica	P	0,75	Q26	Circuito misto	P	0,26
Q8	Resistência equi.	FM	0,75	Q27	Resistência equi.	C	0,36
Q9	ddp	C	0,62	Q28	Curto-circuito	C	0,21
Q10	ddp	C	0,65	Q29	Resistência equi.	FM	0,68
Q11	Corrente elétrica	C	0,66	Q30	Corrente elétrica	P	0,43
Q12	Corrente elétrica	P	0,40	Q31	Circuito misto	P	0,17
Q13	Resistência equi.	P	0,64	Q32	Circuito misto	P	0,56
Q14	Ins. de medidas	C	0,73	Q33	ddp	C	0,43
Q15	Resistência equi.	FM	0,55	Q34	Resistencia equi.	P	0,25
Q16	Corrente elétrica	C	0,79	Q35	Corrente elétrica	P	0,61
Q17	Corrente elétrica	P	0,62	Q36	Corrente elétrica	P	0,65
Q18	Inst. de medidas	C	0,62	Q37	Corrente elétrica	P	0,69
Q19	Lei de Ohm	C	0,51			Média de acertos	0,65

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na Tabela 2, é possível identificar o conteúdo abordado em cada item, com seu respectivo escore normalizado. A demarcação do conteúdo dos itens, assim como sua natureza com o escore correspondente aos acertos, pode fornecer indícios de potenciais preditores de desempenho. Especificamente nos itens que se referem ao conceito de corrente elétrica, nota-se uma predominância de valores superiores de desempenho, definidos como aqueles com níveis de acerto acima de 0,7. Conteúdos como corrente elétrica, circuitos em série e resistência equivalente apresentam índices médios e altos de acertos.

É fundamental destacar que os itens com pontuações inferiores a 0,3 exploram o tema da corrente elétrica em circuitos mistos, particularmente relacionados ao brilho da lâmpada. O item Q31, que obteve a menor taxa de acerto, está vinculado ao conteúdo circuito misto. De maneira semelhante, os itens Q25, Q26, Q28 e Q34 seguem essa

mesma linha, apresentando pontuações abaixo de 0,3 e abordando também os conceitos de circuitos mistos associados à corrente elétrica e à luminosidade da lâmpada. A resolução desses itens demandava dos estudantes habilidades como interpretação de imagens, compreensão da função da chave no circuito e compreensão da relação entre o brilho das lâmpadas e o tipo de circuito.

Os alunos em geral demonstraram um domínio mais substancial dos itens sobre corrente elétrica e circuitos elétricos em série em comparação com os itens com aplicação de corrente elétrica em circuitos mistos. Esses resultados sugerem que o conteúdo corrente elétrica é mais bem entendido pelos alunos para circuito em série, sendo que, para os circuitos em paralelo e mistos, parece haver ainda uma lacuna de aprendizagem.

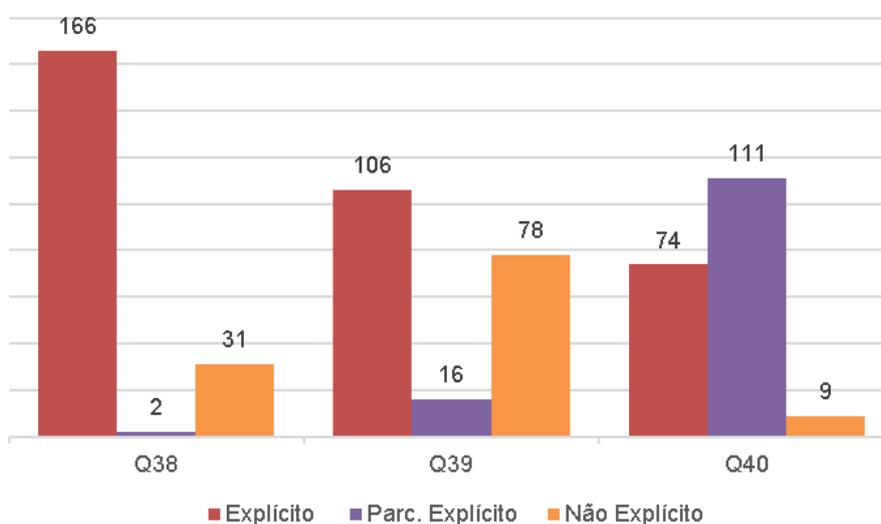
Análise de itens discursivos

Os itens Q38 a Q40, como anteriormente citado no texto, foram analisados a partir das respostas dos alunos e do uso de três categorias baseadas na perspectiva docente de avaliação: Explícito, Parcialmente Explícito e Não Explícito.

O item Q38 é do tipo Uso de Ferramentas Matemáticas e aborda o conteúdo primeira Lei de Ohm. Obtivemos 166 respostas na categoria “Explícito”, 2 na “Parcialmente Explícito” e 31 respostas na categoria “Não Explícito”. A Q39, cujo enunciado corresponde a “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?”, é de natureza procedimental porque requer dos alunos o conhecimento sobre como lidar com dispositivos elétricos e tomadas de diferentes voltagens. Os estudantes precisam entender os procedimentos adequados para conectar um aparelho elétrico a uma tomada com voltagem diferente da especificada no aparelho; portanto o conteúdo desse item é segurança e funcionamento adequado do equipamento. Obtivemos 106 respostas na categoria “Explícito”, 16 na “Parcialmente Explícito” e 78 respostas na categoria “Não Explícito”, como podemos observar no gráfico 1 que indica as categorias versus a quantidade dos alunos.

Por fim, para o item Q40, considerando as categorias supracitadas, esse item obteve 69 respostas na categoria “Explícito”, 107 respostas na categoria “Parcialmente Explícito” e 9 respostas na categoria “Não Explícito”, destacando-se como o item mais complexo. Essa questão solicitava a explicação do que ocorre na pilha, nos fios, no interruptor e na lâmpada quando o interruptor é acionado e a lâmpada se acende.

Gráfico 1 – Análise dos itens discursivos categorizados



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2024.

A partir de uma análise mais detalhada das respostas dos estudantes no item Q40, identificamos respostas nas três categorias. Para a categoria “Parcialmente Explícito”, foi possível perceber quais os temas mais abordados e discutidos pelos alunos a respeito do conceito de corrente elétrica e fenômenos associados. Os principais temas identificados foram: (i) fluxo e movimento de corrente, indicando uma compreensão sobre como a corrente elétrica se desloca através de um circuito; (ii) polaridade positiva e negativa, sugerindo uma percepção dos diferentes polos de uma fonte de energia elétrica; (iii) energia química da pilha, denotando um entendimento sobre a conversão de energia química em energia elétrica; (iv) emissão de luz, indicando uma consciência sobre os processos que envolvem a produção de luz em dispositivos elétricos; e (v) campo elétrico, sugerindo um reconhecimento da influência e da interação entre cargas elétricas em um

campo elétrico. A categoria “Parcialmente Explícito” denota que o estudante tem um entendimento sobre o que é perguntado, mas esse entendimento ainda carrega algum equívoco ou uma compreensão limitada em termos de relações e concepções generalizadas, isto é, esse aluno está menos articulado em termos de conhecimento.

Analisando as respostas dos estudantes no item Q40, identificadas na categoria “Explícito”, infere-se que o estudante tem entendimento sobre o que é perguntado, podendo articular uma resposta completa com detalhes do conteúdo, fazendo relação com todos os itens dos circuitos de forma coerente com os conteúdos abordados no item, como podemos observar nas seguintes respostas:

“Quando pressionamos o interruptor, um circuito elétrico é formado. A corrente elétrica flui da pilha, passa pelos fios condutores, chega até o interruptor, que ao ser acionado permite que a corrente siga seu caminho até a lâmpada. Quando a corrente elétrica passa pela lâmpada, ela aquece o filamento interno, gerando calor e luz. Na pilha, ocorre uma reação química que libera elétrons, gerando uma diferença de potencial entre seus polos, o que faz com que os elétrons fluam pela corrente, atravessando os fios e a lâmpada. No interruptor, ao ser acionado, ele fecha o circuito, permitindo que a corrente elétrica flua pela lâmpada. Quando a lâmpada está acesa, os elétrons atravessam o filamento, que se aquece e emite luz. Portanto, apertar o interruptor fecha o circuito elétrico, permitindo que a corrente passe pela lâmpada e a acenda.” (E59).

“Quando o interruptor é acionado para fechar o circuito, a corrente elétrica percorre o caminho desde o polo positivo da pilha, passa pelos fios condutores, atravessa o interruptor fechado e continua pelos fios até atingir a lâmpada. Dentro desta última, a corrente elétrica atravessa o filamento, geralmente feito de tungstênio, onde encontra resistência elétrica. A resistência no filamento provoca o seu aquecimento e a emissão de luz, resultando na iluminação da lâmpada. Esse processo ocorre graças à conversão de energia elétrica em energia térmica e luminosa no interior da lâmpada.” (E69).

As respostas dos estudantes E59 e E69 são exemplos que demonstram que o estudante possui um entendimento correto dos conceitos abordados no item Q40 e que os

estudantes responderam de forma bem elaborada, completa e com um nível de complexidade e sofisticação, demonstrando um nível alto de proficiência nos conteúdos corrente elétrica e circuitos elétricos na forma de aplicabilidade desses conceitos.

Já as respostas dos estudantes para o item Q40 que foram identificadas na categoria “Não Explícito” indicam que os estudantes não possuem entendimento sobre o que é perguntado, ou estão confusos quanto aos conceitos e por isso responderam errado ou não quiseram responder, apresentando respostas desconexas ou sem relação com o que foi perguntado, como podemos observar, por exemplo, nesta resposta desconexa e incompleta: “*Quando as duas partes de metais estão ligados no positivo.*” (E131), ou nestas respostas com conceitos errados: “*Interruptor fecha e abre a corrente*” (E149) e “*O interruptor está com circuito aberto, logo a corrente segue para a lâmpada sem interrupções*” (E153).

Esses temas levantados apontam para áreas específicas em que os alunos podem demonstrar maior familiaridade e encontrar dificuldades. Essas informações são preciosas para orientar o processo de ensino e aprendizagem, permitindo que os educadores adaptem suas abordagens pedagógicas para melhor atender às necessidades dos alunos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise exploratória dos dados proporcionou *insights* sobre como os estudantes do terceiro ano entendem corrente e circuitos elétricos. A partir da codificação das respostas dos alunos em uma matriz numérica, calculou-se a média dos escores normalizados, que foi de $M=58,6$ ($SD=14,1$). Com base nesse valor, a amostra foi dividida em três grupos: o grupo 1 (escores abaixo da média) teve uma média de $M=31,4$ ($SD=5,0$), o grupo 2 (escores medianos) teve uma média de $M=56,3$ ($SD=9,0$), e o grupo 3 (escores acima da média) teve uma média de $M=75,8$ ($SD=3,9$). Notavelmente, a maioria dos alunos da Rede Federal está concentrada nos grupos de escores mais altos ou médios, sugerindo que ser estudante de uma instituição federal pode influenciar positivamente no desempenho escolar.

A análise dos itens dicotômicos, que apresentaram uma discrepância entre o desempenho de dois itens, sugere uma diferença na compreensão dos conceitos abordados. Os alunos demonstraram um domínio mais substancial do conceito tratado na Q1 em comparação com o aspecto procedimental da Q31. Isso indica que os estudantes possivelmente têm uma compreensão articulada da definição conceitual, mas sua aplicação em contextos específicos, que demanda uma lógica de transposição do conceito, é menos desenvolvida, demonstrando uma falta de articulação nessa seara.

Outra análise foi em relação à natureza do item, que levou à conclusão de que os alunos demonstraram um domínio mais substancial dos itens de natureza conceitual em comparação com os itens de natureza procedimental. Esses resultados sugerem que a natureza conceitual dos itens pode desempenhar um papel relevante na avaliação do desempenho dos estudantes. Observa-se que o conteúdo dos itens pode fornecer indícios de potenciais preditores de desempenho. Os itens que tratavam de conceitos de corrente e circuitos elétricos foram os mais acertados, sendo que os relacionados a procedimentos com análises e interpretação de imagens apresentaram mais respostas equivocadas. Isso indica que possivelmente o processo de escolarização está contemplando, do ponto de vista conceitual, uma maior aprendizagem de conceitos teóricos de corrente e circuitos, sendo necessário um aprofundamento maior para indicações procedimentais sobre possíveis abordagens que proporcionem maior compreensão em aplicações em outras searas.

A análise das respostas discursivas em geral indicou desempenho médio e alto. A partir de uma análise mais detalhada das respostas dos estudantes no item Q40, identificados na categoria “Parcialmente Explícito”, foi possível identificar quais os temas mais abordados e discutidos pelos alunos a respeito do conceito de corrente elétrica e fenômenos associados. Esses temas levantados apontam para áreas específicas em que os alunos podem demonstrar maior familiaridade e encontrar dificuldades. Ao reconhecer os temas mais relevantes e os pontos de dificuldade, os professores podem desenvolver estratégias de ensino mais eficazes e fornecer suporte adicional onde for necessário,

promovendo assim uma compreensão mais sólida dos conceitos elétricos para a aprendizagem dos estudantes.

Tais resultados, do ponto de vista educacional, nos indicam que possivelmente as abordagens usualmente empregadas estejam promovendo uma aprendizagem maior em termos conceituais. Esse resultado contradiz a literatura que discute o ensino de física, tendo em vista que muitos trabalhos apontam para a ênfase no emprego da matemática e na concentração na resolução de problemas que demandam a formalização dos fenômenos. Há de se ponderar, dessa maneira, se as instruções, ainda que com foco na aplicação de ferramentas matemáticas, estão proporcionando uma compreensão mais conceitual, o que também não deixa de ser relevante. Afinal, os objetivos das abordagens que fazemos estão sendo atingidos?

Ressaltamos, contudo, que este é um estudo exploratório e que suas indicações devem ser investigadas com maior profundidade. Há de se avaliar de forma mais detalhada o contexto em que a coleta foi conduzida e também a especificidade do conteúdo, além da influência do tipo de instrução realizada em cada escola. A separação por instituição não foi feita, sendo esses resultados apontamentos gerais. A partir deles, modelos de aprendizagem, assim como o design de análises posteriores, serão elaborados e testados com o intuito principal de verificar esses indícios.

Em resumo, a análise exploratória delineou indícios sobre como o conteúdo circuito elétrico está contemplado na compreensão dos alunos, possibilitando levantar hipóteses para direcionar futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

AMANTES, A. **Contextualização no ensino de Física:** efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes. 2009. 275f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG/FaE, 2009.

BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning:** the SOLO Taxonomy. New York: Academic Press, 1982. v. 296.

COELHO, G. R. **A evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade:** um estudo longitudinal. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG/FaE, 2011.

COELHO, G. R.; AMANTES, A. 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. Disponível em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen13/REEC_13_1_4_ex719.pdf. Acesso em: 17 maio 2024.

DORNELES, P. F. T.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte I - circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, p. 487-496, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000400011>.

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: <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.6.477>.

IVANJEK, L.; MORRIS, L.; SCHUBATZKY, T.; HOPF, M.; BURDE, J. P.; HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, C.; DOPATKA, L.; SPATZ, V.; WILHELM, T. Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. **Physical Review Physics Education Research**, v. 17, n. 2, p. 020123, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020123>.

MACÊDO, J. A. de; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. de. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de Eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 562-613, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp1p562>.

MARINHO, E. C. P.; RODRIGUEZ, E. A. Aprendizagem no Ensino de Eletricidade desenvolvida por uma proposta de Educação por Projetos. **Ens. Tecnol. R.**, n. 1, p. 21-35, 2020. DOI: 10.3895/etr.v4n1.8073.

MELO, V. F.; AMANTES, A.; VIEIRA, R. D. Construção de uma taxonomia sobre o entendimento do conceito científico de densidade baseada na noção de perfil epistemológico. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 13, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22409/resa2020.v13i1.a21647>.

MILLAR, R.; KING, T. Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. **International Journal of Science Education**, n. 4, p. 339-349, 1993. ISBN 9781410603784.

OLIVEIRA, S. de; PEREIRA, F. P. Z. Ensino de eletricidade básica utilizando a abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade: um relato de experimento. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, v. 6, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343399190> Ensino de eletricidade basica utilizando a abordagem Ciencia Tecnologia e Sociedade um relato de experimento. Acesso em: 17 maio 2024.

PERKINS, D. Teaching for Understanding. **The Professional Journal of the American Federation of Teachers**, v. 17, n. 3, p. 8-28, 1993.

REGEBE, F.; AMANTES, A. Habilidades X Entendimento de Conceitos Abstratos relacionados ao raciocínio lógico: uma análise exploratória. *In*: BARBOSA, F. C. **Ensino, pesquisa e extensão no Brasil: uma abordagem pluralista**. v. III. 1. ed. Piracanjuba-GO: Editora Conhecimento Livre, 2020. p. 122-133.

SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. 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, nov. 1989. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327238409> Validacao de um teste para verificar se o aluno possui concepcoes cientificas sobre corrente eletrica em circuito simples. Acesso em: 17 maio 2024.

SILVEIRA, F. L. Um teste para verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Física no ensino médio: falhas e soluções**. Porto Alegre: Edipucrs, p. 61-67, 2011. Disponível em: https://if.ufrgs.br/~lang/Textos/Corrente_eletrica.pdf. Acesso em: 17 maio 2024.

Recebido: 29/4/2024.

Aceito: 25/6/2024.

Sobre autores:

Ericarla de Jesus Souza

Doutoranda na Universidade Federal da Bahia (UFBA) pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC). Mestre em Ensino de Ciências pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) e licenciada em Física pela mesma instituição. Desenvolve pesquisa em Neurociências, Ensino de Física, Metodologias Ativas e Jogos Didáticos.

Instituição: Universidade Federal da Bahia

E-mail: ericarla.souza@gmail.com

Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-2270-3052>.

País: Brasil

Amanda Amantes

Professora do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (UFBA), do Departamento de Física do Estado Sólido e do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC). Licenciada em Física, Especialista em Ensino de Ciências, Mestre e Doutora em Educação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Realizou Pós-Doutorado em Neurociência na Universidade de Granada, Espanha, onde desenvolveu pesquisa sobre memória de trabalho e Carga Cognitiva.

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: amandaamantes@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1678-9870>.

País: Brasil