

ENUNCIADOS ESCRITOS AUXILIANDO A COMPREENSÃO DE EQUAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO

Written Statements aiding the Understanding of Electromagnetism Equations

Lúcio Ângelo Vidal¹ (lucio.vidal@cba.ifmt.edu.br)

*Rua Professora Zulmira Canavarros, nº 95 – CEP: 78005-200, Centro, Cuiabá – MT
IFMT Campus Cuiabá*

Andreia da Silva Tavares² (andreia.physical@gmail.com)

UNIVAG - Universidade de Várzea Grande

Avenida Dom Orlando Chaves, 2655 - Cristo Rei, Várzea Grande - MT, 78118-000

Recebido em: 13/02/2021

Aceito em: 27/07/2021

Resumo

Este artigo descreve e analisa as atividades de uma aula online para uma turma de alunos de Engenharia pertencentes a uma instituição pública de nível superior na cidade de Cuiabá para promover uma melhor compreensão do significado das equações em forma de integrais do eletromagnetismo fazendo-se o uso de enunciados escritos. Antes da aula, foi solicitado que os alunos respondessem um questionário de múltipla escolha para identificar qual a compreensão dessas integrais e após a aula, novamente foi aplicado o mesmo teste para comparar e identificar se houve evolução na compreensão. Observou-se, comparando o desempenho no questionário antes e depois da realização da aula, que houve maior compreensão já que após a explanação a média de acertos por aluno mais que duplicou.

Palavras-Chave: integrais com enunciados escritos; interpretação física de integrais, compreensão de integrais a partir de enunciados.

Abstract

This article describes and analyzes the activities of an online class for a class of Engineering students belonging to a public university institution in the city of Cuiabá to promote a better understanding of the meaning of the equations in the form of integrals of electromagnetism making use of written utterances. Before class, students were asked to answer a multiple-choice questionnaire to identify the understanding of these integrals and after class, the same test was again applied to compare and identify if there was an evolution in understanding. It was observed, comparing the performance in the questionnaire before and after the completion of the class, that there was greater understanding since after the explanation the average of correct answers per student more than doubled.

Keywords: integrals with written statements; physical interpretation of integrals, comprehension of integrals from statements.

Introdução

O ciclo básico das engenharias normalmente tem quatro disciplinas de Física Geral (enumeradas de 1 a 4). O que se observa em termos de nível de dificuldade é que a Física Geral 3 é, sem dúvida alguma, a que se apresenta como a mais difícil pelo nível matemático apresentado nos livros. Por essa razão, naturalmente existem já alguns artigos que abordam dificuldade nesta disciplina como também nas demais disciplinas de Física.

Moreira e Krey (2006) abordam a dificuldade de 74 alunos na compreensão da Lei de Gauss pertencentes a duas turmas do curso de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no que diz respeito à interpretação da lei; à operacionalização matemática e aos conceitos de superfície gaussiana e fluxo elétrico. A causa apontada como geradora destas dificuldades seria a de que os alunos não foram capazes de construir modelos mentais e esquemas de assimilação que trouxessem significado aos conceitos provavelmente devido às aulas e ao livro-texto.

Fora do Brasil, por exemplo, Guisasola et al (2003) concluem, em uma amostra cerca de cem alunos de Engenharia espanhóis e por uma dúzia de alunos de Física argentinos, que os discentes têm muitas dificuldades no aprendizado das Leis de Ampère e de Gauss. Os resultados obtidos parecem confirmar que os discentes universitários nos dois países apresentam muitas dificuldades de aprendizagem no que diz respeito às duas leis.

Santarosa e Moreira (2011), procurando relacionar conhecimentos de diferentes disciplinas, desenvolvem ideias no sentido de desenvolver uma integração dos conhecimentos das disciplinas de Física Geral e Experimental 1 e Cálculo Diferencial e Integral 1 na Universidade Federal do rio Grande do Sul. Os resultados sugerem necessidade de elaboração de um material didático que mostre os conceitos físicos desenvolvidos na Mecânica nos dois domínios por meio da integração no uso de linguagens e notações.

Ferreira (2013), por sua vez, desenvolve um trabalho, no Instituto Federal de Educação Sudeste de Minas Gerais com licenciandos em Física do terceiro semestre para investigar elementos de visualização conceitual e de definição de conceito sobre Integral de Linha de Campos Vetoriais interpretando-os fisicamente como Trabalho de uma Força. Assim, a aplicação de um conceito de cálculo do terceiro período do curso é feita sobre um conceito físico visto em semestre anterior. Uma das conclusões é de que estudantes de Física tendem a relacionar os conteúdos matemáticos com conceitos físicos.

Um outro trabalho que desperta a atenção não na disciplina de Física Geral 3, mas sim na disciplina de Física Geral 2 é o de Vidal et al (2020) onde há a utilização de enunciados escritos no sentido de melhorar o entendimento de integrais que aparecem ou que deviam aparecer nos livros da disciplina para catorze alunos de uma universidade particular em Cuiabá. O resultado alcançado foi uma melhora na quantidade total de acertos do teste, além de um aumento na quantidade de acertos por questão. Estes fatos sugerem ser necessário cada vez mais abordagens escritas por extenso das integrais no processo de ensino-aprendizagem.

Diante de todas as ideias apresentadas até agora em relação aos estudos apresentados nos parágrafos anteriores, imagina-se ser interessante aplicar os enunciados escritos também na disciplina mais difícil de Física no ciclo básico em uma instituição

pública de ensino. Afinal, até onde foi pesquisado, não foram encontrados livros de Física que esclareçam detalhadamente o significado físico das integrais.

Machado (1990, p.10), por exemplo, expõe que existe um elo de ligação entre a Matemática e o idioma revelado através de um paralelismo das funções que cada um desenvolve e pelo complemento nas metas a serem alcançadas. Por isso é necessário conhecer esta influência para desenvolver ações no sentido de superar dificuldades no ensino de Matemática. Da mesma forma que há uma relação entre a Matemática e a Língua Portuguesa, acredita-se aqui que há também uma relação entre esta última e a Física.

Além do mais, se por um lado os livros de Física Geral 1 e 2 em português, com exceção dos livros de Nussenzveig (2013) e de Alonso e Finn (2014), do ciclo básico não trazem as integrais na definição de alguns conceitos onde seria necessário fazer uso, o que se percebe é que, praticamente, todos os livros de Física Geral 3 as trazem em demasia. Parece até irônico, afinal de contas seria mais fácil abordar as integrais desde a primeira disciplina desta ciência.

Portanto, o objetivo deste trabalho é verificar se o esclarecimento do significado físico de algumas integrais da terceira disciplina de Física Geral através de enunciados escritos favorece que os discentes conseguiram aprender o que foi ensinado a respeito das equações do eletromagnetismo.

Revisão Bibliográfica

Nesta seção, apresentam-se os aspectos teóricos relevantes para a compreensão do que é proposto na aula. Portanto, aqui mostrar-se-ão em duas seções distintas aspectos sobre tipos textuais, importância da linguagem, cálculo, vetores e produto entre vetores.

a) Tipos Textuais e Importância da Linguagem

Marcuschi (2008) afirma que os tipos de texto são uma construção teórica definida pela origem da forma como compõe-se o idioma. Werlich (1973) apud Marcuschi (2002, p. 29-30) considera que existem cinco tipos textuais. São eles: narrativos, descritivos, argumentativos, expositivos e injuntivos.

Segundo Marcuschi (2011) apud Dionísio (2010, p.30) nos textos narrativos há a sequência temporal. Nos textos descritivos, predominam sequências de localização. Nos argumentativos, há hegemonia de explicações. Nos expositivos, há predomínio de sequências analíticas ou explicativas e, por fim, nos injuntivos aparecem as sequências que indicam ordem.

Existe a crença de que os textos expositivos e injuntivos são muito importantes no que concerne ao aprendizado de ciências da natureza porque o primeiro deles explica o que quer dizer uma lei, enquanto que o último ensina uma forma de se proceder para obter um determinado resultado. Neste artigo, far-se-á o uso dos expositivos nos questionários de verificação de aprendizagem.

A linguagem é um recurso bastante imprescindível na facilitação da aprendizagem significativa pois nos primórdios do desenvolvimento da teoria da aprendizagem

significativa, Ausubel utilizava o termo aprendizagem verbal significativa (MOREIRA, 2010). Assim, Moreira (2010) afirma que seria um grande equívoco pensar que uma disciplina tal como Física só dependeria do formalismo matemático.

O uso didático da linguagem pelos professores nas aulas de ciências é pouco explorado muito provavelmente porque há uma grande complexidade nesta ação. Basta se considerar que é necessário dispor de bastantes saberes multidisciplinares (OLIVEIRA et al, 2009).

Entre tantos desafios que a maioria dos alunos têm de enfrentar no uso da linguagem científica nas aulas de ciências, pode-se citar segundo Oliveira (1991): a interpretação de textos; a escolha da informação principal; escrever o que a atividade exige; explicar a utilidade do que estão fazendo; reconhecer as nomenclaturas; compreender o discurso científico e o pensamento implícito; saber expor ideias de forma sistemática e organizada.

Os sistemas simbólicos, em especial a linguagem, funcionam como elementos que: a) permitem a comunicação entre os indivíduos; b) estabelecem os significados compartilhados por um grupo cultural; c) criam a percepção e interpretação dos objetos, eventos e situações do mundo circundante (REGO, 1995, p 55).

Em resumo, o uso adequado da linguagem é importante em todas as ciências sejam estas sociais ou naturais, pois como expõe Bakhtin (1997) o idioma é construído no cotidiano em um contexto social e através deste último é possível transmitir o conhecimento empírico, a história e a ideologia ao longo das gerações.

b) Cálculo, Vetores e Produto entre Vetores

É muito disseminada a ideia de que a integral representa uma soma. Entretanto, este conceito parece bastante superficial, pois historicamente sabe-se que a noção de integral surgiu a partir do cálculo da área de figuras planas cujos contornos eram curvas (IEZZI et al 2005, p. 208). Logo, seria mais preciso que se concebesse uma integral como uma soma de produtos.

A figura 1, por exemplo, mostra uma região sob o gráfico curvilíneo da função $y = 250 - \frac{x^2}{10}$ sendo dividida em 10 partes para fins de se calcular a sua área. À medida que as larguras horizontais vão ficando cada vez mais estreitas, aproxima-se cada vez mais da área da região cujo valor preciso é 8333,3 (dízima periódica). Mesmo com apenas 10 divisões, o valor calculado é de 8375, ou seja, o erro cometido é inferior a 0,5%.

Ainda na figura 1, pode-se afirmar que a soma dos produtos é aproximadamente igual à área. Se as larguras forem muito estreitas (infinitesimais), esta mesma soma de produtos é igual à integral da função $f(x)dx$ pelo teorema fundamental do cálculo.

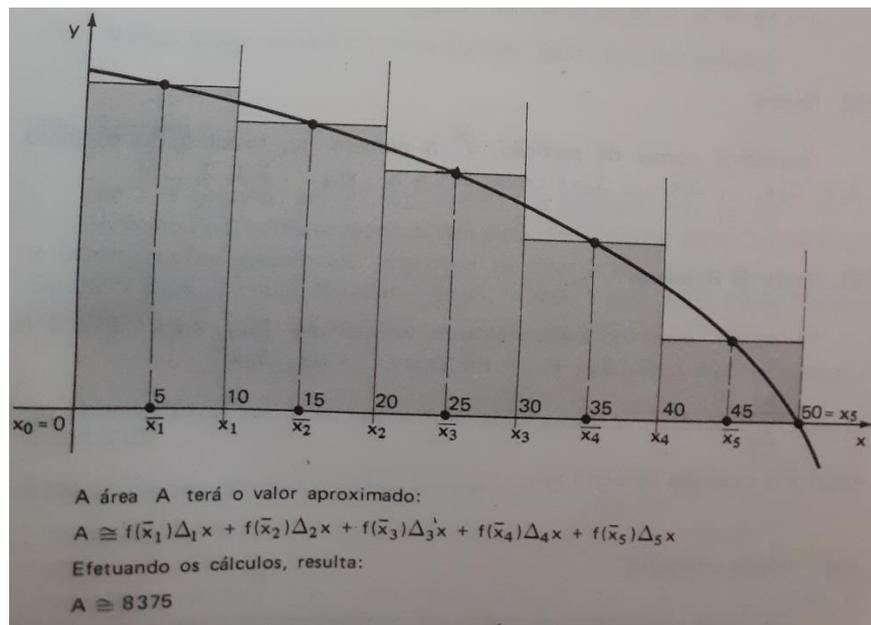


Figura 1. A integral como uma soma de produtos na função $y = 250 - \frac{x^2}{10}$.

Fonte: livro Fundamentos da Matemática Elementar (Iezzi et al 1985, p.195).

As grandezas físicas podem ser classificadas em duas categorias: escalares e vetoriais. Uma grandeza física escalar fica bem definida por um número e uma unidade adequada, enquanto que uma grandeza física vetorial necessita, além do valor numérico e unidade, uma informação geométrica de natureza espacial (CALÇADA e SAMPAIO, 2012).

Quando se lida especificamente com grandezas de natureza vetorial, podem ser definidos dois produtos, um denominado produto escalar e um outro chamado de produto vetorial.

Dados dois vetores A e B, o produto escalar consiste em multiplicar o módulo de cada um dos vetores A e B pelo cosseno do ângulo delimitado pela origem de ambos, tendo como resultado um escalar. Se os vetores A e B se apresentam em forma de coordenadas, o produto escalar será a soma dos produtos das coordenadas que pertencem a um mesmo eixo. Estas duas definições podem ser visualizadas na figura 2.

Produto escalar

Para saber o ângulo formado entre dois vetores

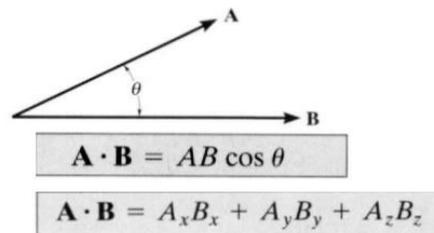


Figura 2. Produto Escalar entre A e B ($\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$)

Fonte: <https://image.slidesharecdn.com/produtoescalar-140114115350-phpapp02/95/produto-escalar-1-638.jpg?cb=1389700473>

Considerando-se dois vetores a e b na figura 3, o produto vetorial consiste em multiplicar os vetores entre si de forma que se obtenha um outro vetor que é perpendicular aos outros dois e que numericamente representa uma área delimitada pelos dois vetores. O módulo do produto vetorial entre os vetores a e b, por sua vez, seria o produto entre o módulo de a, o módulo de b e o seno do ângulo entre a origem dos vetores a e b.

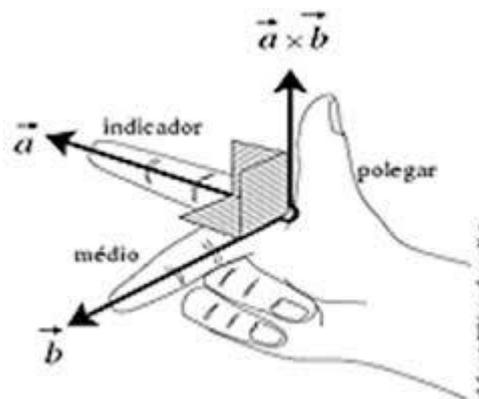


Figura 3. Produto Vetorial entre a e b ($\mathbf{a} \times \mathbf{b}$).

Fonte: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTRPpxs1r0bEgOZqVZf9NayMZG7e4d3P7xHYg&usqp=CAU>.

Segundo Stewart (2011) as integrais de linha são semelhantes às integrais simples, entretanto ao invés de se fazer a integração em um intervalo, faz-se em uma linha curva. Se elas ocorrem em uma linha fechada, o valor numérico representa a área delimitada pela linha. As integrais de superfície, por sua vez, são feitas em uma superfície

curva e se esta última é fechada, delimitam um volume. Tanto as integrais de linha como as de superfície só são definidas para funções vetoriais.

Materiais e Métodos

A aula online foi ministrada no dia 22 de julho de 2020 para 16 alunos de Engenharia que cursavam a disciplina de Física Geral 3 em uma instituição pública de ensino superior federal localizada na cidade de Cuiabá e durou 2 horas e 43 minutos, iniciou-se às 19 horas e ocorreu via Google Meet devido à pandemia global de COVID-19.

No início da aula, foi solicitado aos alunos que respondessem um teste composto de 8 questões qualitativas (concernentes à disciplina de Física cursada), que envolviam integrais, onde cada questão tinha 8 alternativas (da letra a até h). Antes de responderem o primeiro teste, foi explicado o significado físico de cada variável representada por letras nas equações, bem como o significado de cada ponto (\cdot), cada xis (X) e cada seta (\rightarrow).

Durante a aula, foi explanado pelo professor, a ideia de que a integral em essência é um somatório de produtos como sugere o próprio teorema fundamental do cálculo. E finalmente, ao término da aula, foi aplicado o mesmo teste a fim de os discentes conseguirem compreender o conceito.

O professor enviou o pré-teste e o teste para o e-mail dos alunos e recebeu as respostas também por este instrumento de comunicação. Apesar de haver 16 alunos que iniciaram a aula, apenas 12 foram até o final dela.

A primeira questão do teste tem utilidade para a determinação de campos elétricos e fluxos elétricos quando se tem cargas em repouso. A questão de número 2 serve para o cálculo de campo magnético em fios percorridos por corrente constante no tempo. Já a questão 3 menciona que o fluxo magnético em uma superfície fechada é zero, as linhas que saem de um norte externamente a um ímã entram no sul dele e então não é possível separar os dois polos; a questão 4 versa sobre o cálculo da diferença de potencial elétrico a partir do conhecimento da integração do campo elétrico na distância.

A quinta questão permite calcular a carga total na eletrostática quando a densidade de cargas é variável ao longo do volume; a questão de número 6 é para o cálculo do fluxo elétrico em superfícies abertas quando o campo elétrico varia em cada infinitesimal da superfície considerada; a questão 7 é útil para se calcular a força magnética em um condutor curvilíneo percorrido por uma corrente imerso em um campo magnético e a última questão serve para a determinação da corrente média quadrática.

A explanação do professor começa com o exemplo de integrar a força na distância ($\int F dr$) mencionando-se que se nenhuma destas variáveis são vetores, é porque são escalares e portanto, faz-se uma soma de produtos normal entre a força e a distância ($F_1 dr_1 + F_2 dr_2 + \dots + F_n dr_n$). Em um gráfico onde se tem a força no eixo y e a distância no eixo x, a área sob o gráfico representará a grandeza física trabalho.

Terminada a exibição do primeiro exemplo, foi elaborado um segundo exemplo em que a duas grandezas representadas na integral do exemplo anterior eram vetores e

havia um produto vetorial entre elas ($\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$). De forma análoga, mostrou-se que novamente se trata de uma soma de produtos entre a força e o infinitesimal da distância, entretanto agora o produto é escalar ($\vec{F}_1 \cdot d\vec{r}_1 + \vec{F}_2 \cdot d\vec{r}_2 + \dots + \vec{F}_n \cdot d\vec{r}_n$).

O terceiro exemplo foi no sentido de generalizar a situação descrita no segundo exemplo. Imaginando um vetor A arbitrário e um vetor E que pode ser cortado em pequeníssimos pedaços, a integral do vetor A no infinitesimal do vetor E ($\int \vec{A} \cdot d\vec{E}$) é igual ao somatório entre os produtos escalares entre o vetor A e o infinitesimal do vetor dE ($\vec{A}_1 \cdot d\vec{E}_1 + \vec{A}_2 \cdot d\vec{E}_2 + \dots + \vec{A}_n \cdot d\vec{E}_n$).

Após três exemplos, o docente perguntou se os alunos estavam entendendo e alguns deste dizem que sim. No quarto exemplo, novamente aborda-se o produto vetorial entre um vetor hipotético D e um infinitesimal de um vetor J, no interior de uma integral ($\int \vec{D} \times d\vec{J}$). De forma análoga, foi esclarecido que é uma soma dos produtos entre o vetor D e o infinitesimal do vetor J e o resultado disso deve ser um vetor.

No quinto exemplo, novamente foi abordado o produto escalar entre dois vetores dentro de uma integral, desta vez, fechada na área ($\oint \vec{N} \cdot d\vec{A}$). Um dos vetores era o vetor genérico N e o outro era o infinitesimal do vetor área A. Mais uma vez o resultado é uma soma de produtos em uma área fechada que nada mais é que um volume. Aqui surge uma primeira pergunta do discente F: a área fechada representa um infinitesimal da área? Foi respondido que a área fechada era um volume.

Pensando na perspectiva de significado geométrico, o sexto exemplo fazia menção a integral produto escalar entre um vetor A e o infinitesimal do vetor volume ($\int \vec{A} \cdot d\vec{V}$). Nem foi esclarecido mais, diante de tantos exemplos, que se tratava de uma soma dos produtos escalares entre todos os vetores A e o infinitesimal de V. Ao invés disso, foi ressaltado o significado que o resultado levaria a uma integral no hipervolume.

Após o sexto exemplo, o aluno K perguntou como distinguir entre produto escalar e vetorial. Esclareceu-se que o escalar é representado por um ponto e que o vetorial por um xis. E o aluno C perguntou o que seria a integral de área. Explicou-se que representava um volume. O aluno K mais uma vez perguntou querendo saber como se leria as integrais se fossem definidas de um ponto a outro. Respondeu-se que repetiria expressão soma dos produtos entre o vetor 1 e o vetor 2 e acrescentar-se-ia de tanto a tanto. Finalmente o aluno I perguntou como diferenciar se a integral era aberta ou fechada. Foi dito que bastava ver se havia o círculo envolvendo a integral.

O teste aplicado poderia ser composto de outras questões, mas levando-se em consideração similaridade do ponto de vista físico e/ou matemático optou-se apenas pelas descritas no parágrafo anterior. A seguir é mostrado o teste que foi aplicado aos alunos de Engenharia. O gabarito do teste é 1-E; 2-C; 3-E; 4-G; 5-F; 6-C; 7-G; 8-H.

Teste de múltipla escolha para verificar a compreensão das integrais do eletromagnetismo

1. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon}$

- a) *A soma dos produtos entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual à carga dividida pela permissividade do meio;*
- b) *A soma dos produtos entre o campo elétrico e cada pedacinho de área é igual à carga dividida pela permissividade do meio;*
- c) *A soma dos produtos escalares entre o campo elétrico e cada pedacinho de área é igual à carga dividida pela permissividade do meio;*
- d) *A soma dos campos elétricos na área fechada é igual à carga dividida pela permissividade do meio;*
- e) *A soma dos produtos escalares entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual à carga dividida pela permissividade;*
- f) *A soma dos produtos vetoriais entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual à carga dividida pela permissividade.*
- g) *A soma dos produtos vetoriais entre o campo elétrico e cada pedacinho do volume é igual à carga dividida pela permissividade.*
- h) *Nenhuma alternativa está correta.*

2. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu i$

- a) *A soma dos produtos entre o campo magnético e cada pedacinho de comprimento é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente;*
- b) *A soma dos produtos escalares entre o campo magnético e cada pedacinho de comprimento é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente;*
- c) *A soma dos produtos escalares entre o campo magnético e cada pedacinho de comprimento em uma linha fechada é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente;*
- d) *A soma dos campos magnéticos na linha fechada é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente;*
- e) *A soma dos produtos entre o campo magnético e cada pedacinho de comprimento em uma linha fechada é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente;*
- f) *A soma dos produtos vetoriais entre o campo magnético e cada pedacinho de área em uma linha fechada é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente.*
- g) *A soma dos produtos vetoriais entre o campo magnético e cada pedacinho de área é igual à permeabilidade multiplicada pela corrente.*
- h) *Nenhuma alternativa está correta.*

3. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

- a) A soma dos produtos entre o campo magnético e cada pedacinho de área em uma área fechada é igual a zero;
- b) A soma dos produtos entre o campo magnético e cada pedacinho de área é igual a zero;
- c) A soma dos produtos escalares entre o campo magnético e cada pedacinho de área é igual a zero;
- d) A soma dos campos magnéticos na área fechada é igual a zero;
- e) A soma dos produtos escalares entre o campo magnético e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual a zero;
- f) A soma dos produtos vetoriais entre o campo magnético e cada pedacinho de volume em uma superfície fechada é igual a zero.
- g) A soma dos produtos vetoriais entre o campo magnético e cada pedacinho de volume é igual a zero.
- h) Nenhuma alternativa está correta.

4. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = d.d.p$

- a) A soma dos produtos entre o campo elétrico e cada pedacinho de comprimento em uma linha fechada é igual à diferença de potencial;
- b) A soma dos produtos vetoriais entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma linha fechada é igual à diferença de potencial;
- c) A soma dos produtos entre o campo elétrico e cada pedacinho de comprimento é igual à diferença de potencial;
- d) A soma dos produtos escalares entre o campo elétrico e cada pedacinho de comprimento é igual à diferença de potencial;
- e) A soma dos campos elétricos na linha fechada é igual à diferença de potencial;
- f) A soma dos produtos vetoriais entre o campo elétrico e cada pedacinho de área é igual à diferença de potencial;
- g) A soma dos produtos escalares entre o campo elétrico e cada pedacinho de comprimento em uma linha fechada é igual à diferença de potencial;
- h) Nenhuma alternativa está correta.

5. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\int \rho dV = Q$

- a) A soma dos produtos entre a densidade volumétrica de cargas e cada pedacinho de área em uma linha fechada é igual à carga;
- b) A soma dos produtos vetoriais entre a densidade volumétrica de cargas e cada pedacinho de volume é igual à carga;
- c) A soma dos produtos escalares entre a densidade volumétrica de cargas e cada pedacinho de volume é igual à carga;

- d) A soma dos produtos entre o vetor densidade volumétrica de cargas e cada pedacinho do vetor volume é igual à carga;
- e) A soma dos produtos entre a densidade volumétrica de cargas e o volume no volume fechado é igual à carga;
- f) A soma dos produtos entre a densidade volumétrica de cargas e cada pedacinho de volume é igual à carga;
- g) A soma das densidades integradas no volume é igual à carga;
- h) Nenhuma alternativa está correta.

6. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \Phi_E$

- a) A soma dos produtos entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual ao fluxo elétrico;
- b) A soma dos produtos entre o campo elétrico e cada pedacinho de área é igual ao fluxo elétrico;
- c) A soma dos produtos escalares entre o campo elétrico e cada pedacinho de área é igual ao fluxo elétrico;
- d) A soma dos campos elétricos na área fechada é igual ao fluxo elétrico;
- e) A soma dos produtos escalares entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual ao fluxo elétrico;
- f) A soma dos produtos vetoriais entre o campo elétrico e cada pedacinho de área em uma superfície fechada é igual ao fluxo elétrico;
- g) A soma dos produtos vetoriais entre o campo elétrico e cada pedacinho do volume é igual ao fluxo elétrico;
- h) Nenhuma alternativa está correta.

7. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\int i(d\vec{L} \times \vec{B}) = \vec{F}_M$

- a) A soma das multiplicações entre a corrente e o produto vetorial entre cada pedacinho de comprimento do fio em um percurso fechado e o campo magnético é igual à força magnética no fio;
- b) A soma das multiplicações entre a corrente, cada pedacinho de comprimento do fio e o campo magnético é igual à força magnética no fio;
- c) A soma das multiplicações entre a corrente e o produto escalar entre cada pedacinho de comprimento do fio e o campo magnético é igual à força magnética no fio;
- d) A soma dos produtos escalares entre a corrente e o produto vetorial entre cada pedacinho de comprimento do fio e o campo magnético é igual à força magnética no fio;
- e) A soma dos produtos vetoriais entre a corrente e o produto vetorial entre cada pedacinho de comprimento do fio e o campo magnético é igual à força magnética no fio;
- f) A soma das multiplicações entre a corrente e o produto vetorial entre cada pedacinho de área do fio e o campo magnético é igual à força magnética no fio;

- g) A soma das multiplicações entre a corrente e o produto vetorial entre cada pedacinho de comprimento do fio e o campo magnético é igual à força magnética no fio.
- h) Nenhuma alternativa está correta.

8. Assinale, entre as alternativas abaixo, o significado da expressão: $\int_0^T i^2 dt / T = i_{\text{med}}^2$ quadrática

- a) A soma dos produtos entre a corrente elétrica e cada pequeno intervalo de tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média quadrática;
- b) A soma dos produtos escalares entre a corrente elétrica ao quadrado e o pequeno intervalo de tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média quadrática;
- c) A soma dos produtos vetoriais entre a corrente elétrica ao quadrado e o pequeno intervalo de tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média quadrática;
- d) A soma das correntes ao quadrado integradas no tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média quadrática;
- e) O produto da corrente ao quadrado pelo tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média;
- f) O produto da corrente ao quadrado pelo tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média quadrática;
- g) O produto da corrente pelo tempo dividido pelo período da função é igual à corrente média quadrática;
- h) Nenhuma alternativa está correta.

Resultados

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados referentes ao número total de acertos de cada um dos 16 alunos no teste de verificação antes e após a aula. Ao todo, nove alunos alcançaram mais acertos do que no primeiro teste (A, D, F, G, H, J, M, O e P). Três alunos mantiveram o mesmo número de acertos (C, I e L) e quatro alunos não entregaram o pós-teste (B, E, K e N). Esses dados permitem concluir que houve possivelmente uma melhora na compreensão dos nove alunos e uma indiferença em relação a outros três. Para os quatro estudantes que não entregaram o pós-teste não foi possível avaliar diretamente a melhora, indiferença ou piora da compreensão, mas percebe-se que cada um desses últimos acertou apenas uma única questão no pré-teste.

Tabela 1- Número de acertos dos alunos no questionário aplicado antes e depois da realização da aula (n = 16).

Aluno	Acertos antes do Teste	Acertos após o Teste
A	1	6
B	0	Não entregou
C	6	6
D	5	7

E	1	Não entregou
F	0	6
G	0	5
H	1	7
I	7	7
J	5	6
K	1	Não entregou
L	5	5
M	0	4
N	1	Não entregou
O	0	5
P	0	1
16 alunos	33	65

Ainda se observa na Tabela 1 que a média total de acertos por aluno antes da aula foi de aproximadamente 2,1 (33 dividido por 16) e depois da aula foi de 5,4 (65 dividido por 12). Assim, identifica-se uma melhora geral média de cerca de 2,6 vezes na quantidade de acertos.

A Tabela 2, por sua vez, apresenta a quantidade de acertos dos discentes antes e depois do teste para cada uma das oito questões de múltipla escolha. Ao se considerar a quantidade de acertos por questão, destaca-se que a número 8 foi a que teve menor quantidade de acerto antes (um acerto) e depois do teste (dois acertos). Por outro lado, a questão que teve mais acertos antes e após o teste foi a número 3, ao todo foram três acertos antes e onze depois.

Também houve a ampliação da quantidade de acertos em todas as questões. Sendo que a questão de número dois mais que triplicou o número de acertos após a aula (foi a que melhor ampliou o percentual de acertos) enquanto que na questão de número 7 (menor índice de melhora na quantidade de acertos) houve uma melhora na quantidade de acertos de apenas 25%.

Tabela 2 – Quantidade de acertos por questão no teste de integrais com enunciados antes e após a aula.

Número da Questão	Acertos antes do Teste	Acertos após o Teste
1	5 (31,3%)	9 (75%)
2	3 (18,8%)	10 (83,3%)
3	7 (43,8%)	11 (91,7%)
4	4 (25%)	10 (83,3%)
5	6 (37,5%)	10 (83,3%)
6	3 (18,8%)	8 (66,7%)
7	4 (25%)	5 (41,7%)
8	1 (6,25%)	2 (16,7%)

Considerações Finais

Através deste trabalho foi possível identificar o desempenho de cada um dos aprendizes que fizeram os dois testes em termos de quantidade de acertos e analisar também a evolução do número total de acertos por questão no que diz respeito à comparação entre o momento posterior e anterior à aula.

O que se observa, no que diz respeito à compreensão de uma integral, é que os livros de Física do ciclo básico da área de exatas não trazem o significado físico da integral. Alguns professores dirão até que não é necessário, pois os alunos já devem ter adquirido esta compreensão nos semestres iniciais do curso nas disciplinas de cálculo, mas infelizmente não é o que ocorre na prática. Nessas disciplinas eles só aprendem a calcular a integral.

Sugere-se aqui também uma nova proposta de avaliação de aprendizagem que faça conexão com diferentes áreas de conhecimento para a disciplina envolvendo Eletromagnetismo e que se baseie nas interpretações textuais, gráficas e físicas das integrais que fazem parte do conteúdo da disciplina com o objetivo de transcender as avaliações tradicionais baseadas apenas na operacionalização do conceito.

Maman e Borragini (2016), por exemplo, mencionam elaboração de relatórios, por parte de estudantes, das atividades realizadas em disciplinas de Física Geral e Fundamentos de Matemática na UNIVATES para os alunos de Engenharia como uma atividade para promover o desenvolvimento da leitura e da escrita.

Por fim, ressalta-se a importância do professor mediador da aprendizagem segundo uma perspectiva histórico-cultural da educação. Afinal, segundo Rego (1995, p.115) demonstrações, explicações, justificativas, abstrações e questionamentos do docente são de suma importância na educação do aprendiz.

Referências Bibliográficas

Alonso, M.; Finn, E. J. (2014). *Física Um Curso universitário volume I*. Editora Blucher, 2ª edição brasileira, São Paulo.

Bakhtin, M. (1997) *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. São Paulo: Hucitec editora.

Dionísio, A. P.; Machado, A. R.; Bezerra, M. A. (orgs) (2010). *Gêneros Textuais e Ensino*. Párbola Editorial, São Paulo.

Ferreira, J. C. (2013) Integral de Linha de Campos Vetoriais/Trabalho Realizado: Imagem de Conceito e Definição de Conceito. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Educação Matemática, Juiz de Fora, Minas Gerais. Acessado em 29 de janeiro de 2021. <http://funes.uniandes.edu.co/18558/>.

Guisasola, J.; Salinas, J; Almudí, J. M; Velazco, S. (2003). Analisis de los Procesos de Aplicación de las Leyes de Gauss y Ampere por Estudiantes Universitarios de España y Argentina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acessado em 03 de fevereiro de 2021. <https://www.scielo.br/j/rbef/a/8sW4LGwTzsnjKjRZdJW4nKL/abstract/?lang=es>.

Iezzi, G.; Murakami, C.; Machado, N. J. (2005) *Fundamentos da Matemática Elementar vol 8*, Atual Editora, São Paulo.

Machado, N. J. (1990). *Matemática e Língua Materna (Análise de uma Impregnação Mútua)*. São Paulo, ed. Cortez.

Maman, A.S. D.; Borragini, E. F. (2016). A leitura e a escrita em Disciplinas exatas. CCNEXT – Revista de Extensão, Santa Maria v.3 ed.especial. XII EIE – encontro sobre a Investigação na Escola. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas _UFSM*. Acessado em 01 de fevereiro de 2021. <http://coral.ufsm.br/revistaccne/index.php/ccnext/article/download/948/675>.

Marcuschi, L. A. (2002); Gêneros Textuais: Definição e Funcionalidade. In: Bezerra, M. A.; Dionísio, Â. P.; Machado, A.R. *Gêneros Textuais e Ensino*. 2ª edição. Rio de Janeiro: LUCERNA p. 19-36.

Marcuschi, L. A. (2008). *Produção Textual, Análise de Gêneros e Compreensão*. Parábola Editorial, São Paulo.

Moreira, M. A. (2012). *Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010*. Aceito para publicação, Qurriculum, La Laguna, Espanha. Acessado em 01 de fevereiro de 2012. <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>.

Moreira, M. A.; Krey, I. (2006). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acessado em 01 de fevereiro de 2021. <https://www.scielo.br/j/rbef/a/wcDdhRgHWszQzZV8FmQstTN/abstract/?lang=pt>.

Nussenzveig, H. M. (2013) *Curso de Física Básica volume 1*. Editora Blucher, 5ª edição, São Paulo.

Nussenzveig, H. M. (2013) *Curso de Física Básica volume 2*. Editora Blucher, 5ª edição, São Paulo, 2013.

Oliveira, T. A. (1991) *Linguagem Metafórica na Formação Inicial dos Professores de Ciências*. Editora Aprender, 12, p. 34-38.

Oliveira, T.; Freire, A.; Carvalho, C.; Azevedo, M.; Freire, S.; Baptista, M. (2009). *Compreendendo a aprendizagem da linguagem científica na formação de professores de ciências*. Educar, Curitiba, n. 34, p. 19-33, 2009. Editora UFPR.

Rego, T. C. (1995). *Vigotsky: Uma Perspectiva Sócio-Cultural da Educação*. Petrópolis, Rio de Janeiro, Ed. Vozes.

Sampaio, C. S.; Calçada, J.L. (2012) *Física Clássica volume 1: Mecânica*. 1ª edição, São Paulo, editora Atual.

Santarosa, M. C. P; Moreira, M. A. (2011) O cálculo nas aulas de Física da UFRGS: Um Estudo exploratório. *Investigações em Ensino de Ciências*. Acessado em 01 de janeiro de 2021. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141075>.

Stewart, J. (2011). *Cálculo volume 2*. Tradução da 6ª edição Norte-Americana. Ed. Cengage Learning.

Vidal, L. A.; Cunha, C. R.; Tavares, A. S. (2020). Ajudando a elucidar o significado físico-matemático de integrais para estudantes de engenharia em um minicurso com o

auxílio de enunciados. *Experiências em Ensino de Ciências*, acesso em 20 de janeiro de 2021. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/786>.