

Uma revisão sistemática sobre o ensino de eletrodinâmica

A systematic review on the teaching of electrodynamics

Una revisión sistemática sobre la enseñanza de la electrodinámica

Recebido: 06/07/2022 | Revisado: 19/07/2022 | Aceito: 22/07/2022 | Publicado: 28/07/2022

Michele Maria Paulino Carneiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5925-9469>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: michelepaulino12@gmail.com

Artur Araújo Cavalcante

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3483-8739>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: artur.physical@gmail.com

Fábio Martins Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-8704>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: fabiosilva@fisica.ufc.br

Marcelo Henrique Freitas Saraiva Guerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9397-5242>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: marceloguerra.net@hotmail.com

Brenno Ramy Teodósio da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2763-9608>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: brenno.ramy04@aluno.ifce.edu.br

Mairton Cavalcante Romeu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5204-9031>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: mairtoncavalcante@ifce.edu.br

Gilvandenys Leite Sales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6060-2535>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: denyssales@gmail.com

Resumo

O ensino de Física tem se caracterizado por baixos índices de aprendizagem e aprovação. Esta percepção é atribuída por diversos pesquisadores ao método de ensino tradicional empregado pelas escolas. Neste sentido, este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática de literatura dos trabalhos relacionados ao ensino de eletrodinâmica na educação básica, publicados nas principais revistas sobre ensino de Física, nos últimos anos, com o intuito de identificar propostas pedagógicas relevantes para esta área de ensino. Os resultados obtidos mostram um aumento crescente na quantidade de pesquisas sobre o ensino de eletrodinâmica nos últimos anos, nos quais, as práticas didáticas mais utilizadas são aquelas que envolvem a experimentação e uso de recursos tecnológicos. Dentre os assuntos mais abordados nestas práticas estão os circuitos elétricos simples, enquanto os menos abordados são geradores e receptores.

Palavras-chave: Ensino; Aprendizagem; Eletrodinâmica.

Abstract

Physics teaching has been characterized by low rates of learning and approval. This perception is attributed by several researchers to the traditional teaching method used by schools. In this sense, this article aims to present a systematic literature review of works related to the teaching of electrodynamics in basic education, published in the main journals on Physics teaching, in recent years, in order to identify pedagogical proposals relevant to this area of study. The results obtained show a growing increase in the amount of research on the teaching of electrodynamics in recent years, in which the most used didactic practices are those that involve experimentation and use of technological resources. Among the topics most discussed in these practices are simple electrical circuits, while the least discussed are generators and receivers.

Keywords: Teaching; Learning; Electrodynamics.

Resumen

La enseñanza de la física se ha caracterizado por bajas tasas de aprendizaje y aprobación. Esta percepción es atribuida por varios investigadores al método de enseñanza tradicional utilizado por las escuelas. En este sentido, este artículo

tiene como objetivo presentar una revisión bibliográfica sistemática de trabajos relacionados con la enseñanza de la electrodinámica en la educación básica, publicados en las principales revistas sobre enseñanza de la Física, en los últimos años, con el fin de identificar propuestas pedagógicas pertinentes a esta área de la enseñanza. Los resultados obtenidos muestran un aumento creciente en la cantidad de investigación sobre la enseñanza de la electrodinámica en los últimos años, en los que las prácticas didácticas más utilizadas son aquellas que involucran la experimentación y el uso de recursos tecnológicos. Entre los temas más discutidos en estas prácticas se encuentran los circuitos eléctricos simples, mientras que los menos discutidos son los generadores y receptores.

Palabras clave: Enseñando; Aprendizaje; Electrodinámica.

1. Introdução

O ensino médio é a etapa final da educação básica, e deve ser voltada para a formação geral, desenvolvimento de capacidades de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las. Além disso, deve também buscar desenvolver no aluno a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização (Brasil, 2000).

Nesse cenário, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – integrada por Biologia, Física e Química – propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvidas até o 9º ano do Ensino Fundamental. Isso significa, em primeiro lugar, focalizar na interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza (Brasil, 2000).

Significa, ainda, criar condições para que eles possam explorar os diferentes modos de pensar e de falar da cultura científica, situando-a como uma das formas de organização do conhecimento produzido em diferentes contextos históricos e sociais, possibilitando-lhes apropriar-se dessas linguagens específicas (Brasil, 2000).

No entanto, o ensino de Física tem se caracterizado por baixos índices de aprendizagem e aprovação. A Física tem sido percebida por muitos educandos como difícil, abstrata, e distante do seu cotidiano. Esta percepção é atribuída por diversos pesquisadores ao método de ensino tradicional empregado pelas escolas, com ênfase na resolução de exercícios teóricos, e memorização de soluções padronizadas de exercícios modelos, sem propiciar ao aluno a contextualização dos conteúdos (Bonadiman & Nonenmacher, 2007; Ferreira, et al., 2019).

Segundo Bastos (2020), a necessidade de compreensão de conceitos abstratos, bem como os conteúdos matemáticos inerentes à Física requer que a apresentemos buscando a contextualização do conteúdo a ser ensinado. Para Barros Filho e Silva (2002), a contextualização pode ser obtida ao apresentar situações físicas diversas. Os autores ressaltam ainda a importância de uma avaliação mais ampla, que abranja aspectos formativos além de apenas critérios pontuais.

Ao contrário da maneira que tem sido normalmente abordada na sala de aula, a Física está bastante relacionada às necessidades básicas dos seres humanos, como saúde, moradia, alimentação, transporte entre outros (Ferreira, et al., 2019).

Dentre os assuntos abordados na Física, a eletricidade está presente no cotidiano das pessoas, obter conhecimentos básicos sobre essa temática contribui para que o indivíduo seja capaz de acompanhar os avanços das tecnologias. Os alunos apresentam certa familiaridade com os aparelhos elétricos de uso domésticos, que envolvem diversos fenômenos e leis físicas (Barros Filho & Silva, 2002).

Há fenômenos percebidos pelos alunos que necessitam de energia elétrica: o funcionamento do despertador, o café preparado na cafeteira elétrica, o funcionamento da telefonia móvel, o sistema de partida automático para funcionamento de veículos, etc. (Bastos, 2020).

Essa familiaridade facilita a abordagem sobre as transformações de energia e das relações entre potência, corrente elétrica, tensão e resistência elétrica (Barros Filho & Silva, 2002). No entanto, alguns desses conceitos, que são mais abstratos, são de difícil assimilação por parte dos alunos (Bastos, 2020).

Diante deste problema, tem-se buscado propostas que conduzam a um ensino de física, que contribua para a formação

de um cidadão consciente, atualizado e participativo na realidade do meio em que está inserido (Ferreira, et al., 2019).

Nesse sentido, realizou-se uma revisão sistemática com o intuito de investigar quais as propostas metodológicas mais utilizadas no ensino de Física, no âmbito educacional brasileiro, mais especificamente na área da Eletrodinâmica. A pesquisa foi realizada com base em artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e Revista *Acta Scientiae* (RAS) datados entre 2009 e 2019.

2. Referencial Teórico

O professor não deve ser um simples transmissor de conhecimentos. Tem-se ensinado uma Física altamente abstrata, onde as aplicações não são percebidas pelos alunos. A regra geral entre professores é enfatizar a memorização de fatos e fórmulas e aplicá-los na resolução de exercício, deixando de lado o desenvolvimento do pensar científico (Borges, 2006; Pietrocola, 2005). Vive-se a implantação de uma era da facilidade que retira do pensamento científico o sentido de problema, logo, a mola do progresso (Bachelard, 1996).

É importante que os alunos tomem consciência da construção dinâmica do conhecimento, das limitações, da constante luta em busca, não de certezas, mas de um melhor entendimento. Dessa forma, é necessário o exercício da imaginação e intuição intelectual, que deve estar presente na tentativa de resolução de problema e em todo o trabalho de produção científica. Diante de um mundo repleto de estímulos e desafios, os conhecimentos tornam-se obsoletos rapidamente (Pietrocola, 2005; Praia, et al., 2002).

Segundo Praia, et al., (2002), as concepções de ciência que os professores possuem interferem no modo como a ensinam e, assim, torna-se necessário criar espaços e momentos em que o professor possa conhecer as principais concepções em ciência, refletir sobre elas, discuti-las, confrontá-las, aprofundando as suas próprias concepções, e ajudando na escolha de estratégias, métodos e procedimentos a adotar no seu trabalho docente.

Dentre as dificuldades apontadas por professores no trabalho docente, estão: pouco tempo para planejar e preparar experimentos, número excessivo de alunos por sala e carência de recursos tecnológicos ou despreparo na utilização (Rezende, et al., 2004). Nesse sentido, Gomes e Berllini (2009) defendem práticas docentes de Física onde o professor investiga o que o aluno já sabe, estimula a participação ativa dos alunos, realiza atividades experimentais desafiadoras e utiliza diversos tipos de metodologias, considerando que os alunos não aprendem todos da mesma maneira.

Acredita-se que trabalhos experimentais ligados a aplicações tecnológicas, podem contribuir para explorar conceitos físicos, e possibilitar uma formação mais ampla, com vistas a um maior domínio da linguagem científica. Além disso, com estas mudanças as aulas de Física tendem a se tornar mais atraentes e motivadoras.

No entanto, Nardi e Castiblanco (2014) propõem a utilização de atividades experimentais que vão além do uso para motivar os alunos ou descontraír as aulas. Esse momento deve permitir a construção de explicações pelos alunos, comparando argumentos e dialogando com a literatura científica.

Dessa forma, o professor não deve ser um mero utilizador das tecnologias disponíveis, pois o simples uso de recursos tecnológicos não garante vantagens no aprendizado. É necessário que o professor trabalhe esses recursos a partir de novas perspectivas de seu uso, de forma complementar com outros recursos, como o livro didático, resultados de pesquisa e laboratórios (Nardi & Castiblanco, 2014).

Segundo Bachelard (1996), é imprescindível que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. O autor relata que a experiência colocada antes e acima da crítica é um tipo de obstáculo epistemológico, denominado experiência primeira, visto que a crítica é, necessariamente, elemento integrante do espírito científico.

2.1 A teoria da aprendizagem significativa

David Ausubel é o autor principal da Teoria da Assimilação, também conhecida como Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), a qual faz parte da psicologia cognitiva e evidencia uma aprendizagem com significado. Este processo se evidencia quando novos conhecimentos passam a significar algo para o aprendiz, tornando-o capaz de explicar com suas palavras e aplicar os conhecimentos a novos problemas (Ausubel, 2000).

Em termos gerais, essa teoria é descrita pela interação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios, já existentes na estrutura cognitiva do estudante. Com isso, o conhecimento prévio sofre uma transformação, sendo ratificado ou alterado. O autor compreende a estrutura cognitiva como o conjunto total de ideias de um indivíduo, em que a organização e a integração acontecem. Esta interação é fundamental no processo de aprender com significado, e deve ocorrer de forma não-arbitrária e não-litera (Moreira, 2003).

De modo diferente, na aprendizagem mecânica, o aluno internaliza as novas informações de forma arbitrária, ou seja, com pouca ou nenhuma relação a conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, dificultando a retenção. A simples memorização de fórmulas matemáticas, leis e conceitos podem ser tomados como exemplo deste método (Gonzales & Rosa, 2014; Moreira, 2003).

No contexto da aprendizagem significativa, o professor tem o papel de mediador, ajudando o aluno a aprender a aprender. Para isso, é necessário identificar os conhecimentos prévios relevantes que o aluno possui e ensinar a partir deles. Além disso, cabe ao professor utilizar materiais potencialmente significativos que possam contribuir para uma atitude positiva por parte do estudante. Isto é possível por meio de estratégias e ferramentas didáticas motivadoras (Moreira, 2003).

Manifestar o interesse em aprender é, portanto, uma condição importante para a aprendizagem significativa. Moreira (2003; p.1) entende a predisposição para aprender como “[...] um esforço deliberado, cognitivo e afetivo, para relacionar de maneira não-arbitrária e não-litera os novos conhecimentos na estrutura cognitiva”. O ensino abrange responsabilidades mútuas, porém aprender de maneira significativa é uma atribuição do aluno que não pode ser compartilhada pelo professor (Moreira, 2003; Ausubel, 2000).

Segundo Moreira (2006), é necessário satisfazer pelo menos três condições para aprender significativamente: primeiro, o aluno deve estar disposto a aprender; segundo, deve ser utilizado um material potencialmente significativo; e terceiro, ele deve dispor de conhecimentos prévios que possibilitem ancorar as novas informações.

O conhecimento prévio é designado por David Ausubel (2000) de subsunçor, porém, tais conhecimentos não podem ser qualquer ideia. São subsunçores os conhecimentos específicos relevantes, que permitem dar significado ao novo conhecimento que lhe é apresentado ou descoberto por meio da interação com este.

Na visão de Ausubel, o conhecimento prévio é, portanto, o fator isolado mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. No entanto, esta condição pode também ser um obstáculo à aprendizagem, quando o significado adquirido por meio desta interação resulta em concepções alternativas, ou seja, em conhecimentos aceitos apenas pessoalmente, e não no contexto de alguma matéria de ensino. Portanto, aprendizagem significativa não é sinônima de aprendizagem correta (Moreira, 2012).

Na ausência de conhecimentos prévios relevantes podem ser utilizados organizadores prévios ou organizadores avançados, os quais são materiais introdutórios apresentados ao aluno antes de confrontá-lo com o próprio material de aprendizagem, indicados para facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos, ou sequência de ideias. São úteis para ajudar o aprendiz a perceber a relação entre os novos conhecimentos e aqueles que já possui, mas não estão evidentes. Para isto, devem ser retratados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade (Moreira, 2012; Ausubel, 2000).

Este recurso pode também ser útil quando não existem estruturas cognitivas relevantes e inclusivas que sirvam de ancoradouro para a nova aprendizagem, funcionando assim, como ancoradouro provisório. Dessa forma, propositalmente estimula-se o desenvolvimento de conceitos, ideias e proposições relevantes que facilitam a aprendizagem posterior (Moreira, 2012; Ausubel, 2000).

No entanto, determinar se um material é ou não um organizador prévio não é uma tarefa simples, pois essa identificação depende de alguns fatores, como da natureza do material, da familiaridade do aprendiz com a tarefa a ser aplicada, e do seu nível de desenvolvimento cognitivo (Moreira, 2012).

Entretanto, vale destacar que os elementos que caracterizam a aprendizagem significativa são condições necessárias, mas não suficientes. Isso significa que a aprendizagem não pode ser pensada isoladamente, devem-se considerar outros aspectos do fenômeno educacional, como o currículo, o ensino e o meio social em que se está inserido. Além disso, o processo de aprendizagem significativa é altamente complexo, e por isso exige um extenso período de tempo para ser concluído (Moreira, 2012; Ausubel, 2000).

3. Metodologia

Uma revisão sistemática da literatura (RS) é uma metodologia de estudo secundária, que, assim como outros tipos de revisão, utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Entretanto, esse tipo de investigação fornece um resumo dos indícios relacionados a uma estratégia de intervenção específica, através da aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada (Sampaio & Mancini, 2007).

Para tanto, o processo de pesquisa é conduzido segundo uma sequência metodologicamente bem definida de etapas, de acordo com um protocolo de estudo previamente planejado. Ao disponibilizar, de forma clara e objetiva, um resumo de todos os estudos sobre determinada intervenção, as revisões sistemáticas permitem obter uma visão mais ampla dos resultados relevantes, ao invés de balizar as conclusões à leitura de somente alguns artigos (Sampaio & Mancini, 2007).

Como ferramenta instrumental para o processo de realização da RS, foi utilizado o software *StArt* (*State of the Art through Systematic Review*), desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LAPES), do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O software *StArt* é dividido em três fases, a saber: planejamento, que inclui o protocolo de estudo; execução, que abrange as etapas de inclusão e seleção dos estudos, bem como a etapa de extração de dados; e sumarização, onde são registrados os resultados finais da RS. Ou seja, essa ferramenta oferece suporte a todos os passos da RS, bem como à produção de vários relatórios que podem contribuir na caracterização do estado da arte, independente do assunto ou área de pesquisa, tornando-a mais ágil, precisa e replicável.

3.1 Protocolo de estudo

O protocolo de estudo (PE) faz parte da etapa de planejamento da RS, e parte da identificação da necessidade do estudo. A criação do PE é necessária à formalização da pesquisa, uma vez que este norteia a condução do levantamento bibliográfico de forma sistemática, e torna possível a reprodução desta RS. Logo, o PE tem como objetivo auxiliar na construção conceitual e na elaboração das estratégias de ensino de uma sequência didática sobre eletrodinâmica e na posterior análise e implementação da mesma. Vale destacar que ao longo das fases da revisão, o PE pode ser atualizado quando necessário.

Inicialmente foram definidas as seguintes questões de pesquisa:

- a) QP1: Quais estratégias e abordagens de ensino têm sido utilizadas no ensino de eletrodinâmica?
- b) QP2: Qual tem sido o foco das pesquisas na área de ensino de eletrodinâmica?

c) QP3: Como têm sido os métodos de coleta e extração de dados nas pesquisas em ensino de eletrodinâmica?

Em seguida, foram definidas as *strings* de busca com vistas a permitir uma pesquisa mais ampla nas bases de dados. A *string* de busca consiste da combinação de termos diferentes relacionados ao ensino de eletrodinâmica, a fim de estabelecer uma busca ampla em estudos relacionados ao tema de pesquisa. O Quadro 1 apresenta os termos usados na *string* de busca.

A *string* de busca completa usada nas bases de dados escolhidas é apresentada na sequência:

((“eletrodinâmica” or “corrente elétrica” or “eletricidade” or “circuito elétrico” or “potência elétrica” or “energia elétrica”) and (“ensino de física” or “ensino de eletrodinâmica” or “ensino de ciências” or “ensino de eletricidade” or “ensino” or “física” or “ciências”))

Quadro 1: Informações da *String* de busca.

Quadro de termos	
Termo principal	Termos sinônimos
Eletricidade	Corrente elétrica Circuito elétrico Energia elétrica Eletrodinâmica
Eletrodinâmica	Ensino de eletrodinâmica Ensino de física Eletricidade
Ensino de física	Física Ciências Ensino de Ciências Ensino
Ensino de eletrodinâmica	Eletrodinâmica Ensino de eletricidade

Fonte: Elaboração dos autores.

Foram selecionadas algumas bases de dados que disponibilizam pesquisas ligadas a educação em ciências, como: *Scielo*; *Science Direct*; Periódicos da Capes. Além destes, foram utilizados alguns dos principais periódicos nacionais voltados para o ensino de Física e Ciências, dentre os quais: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF); Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e Revista *Acta Scientiae* (RAS).

Para escolha das bases, foram adotados alguns critérios: possuir artigos na área de ensino de Física; permitir baixar o arquivo em PDF, serem periódicos nacionais; e preferencialmente as que permitem exportar artigos no formato *BibTex* para a ferramenta *StArt*. No entanto, para as bases de dados que não forneciam esse formato, foi feito o registro manual dos dados dos artigos na ferramenta *StArt*. De modo geral, o método de pesquisa das fontes seguiu as seguintes etapas:

- definir as *strings* de busca em cada máquina de busca cadastrada no protocolo;
- executar as buscas e salvar o arquivo *BibTex*;
- importar os arquivos *BibTex* na ferramenta e gravar a *string* usada pela máquina de busca;
- aplicar os critérios de inclusão/exclusão: ler os títulos e resumos e classificar os estudos (aceito, rejeitado, duplicado – prioridade de leitura: muito alta, alta, baixa e muito baixa);
- ler os estudos aceitos por completo;
- coletar as informações relevantes de cada estudo;
- escrever um relato resumindo todos os estudos selecionados.

Com o objetivo de identificar os artigos que realmente respondam às questões de pesquisa, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão. O Quadro 2 apresenta os critérios definidos neste estudo. Para o artigo ser incluído, foi

necessário satisfazer a pelo menos três dos critérios de inclusão. Já a exclusão ocorreu ao atender no mínimo um critério de exclusão.

Quadro 2: Critérios de Seleção dos Estudos.

Inclusão	Exclusão
O artigo está disponível na web com acesso livre	Artigo não disponível na web
Está escrito em português	Não está escrito em português
É voltado para a educação básica	É voltado para o ensino superior
Aborda estratégias didático-metodológicas sobre o ensino de eletrodinâmica	Tipo de material: monografias, dissertações, teses, capítulos de livro
Aborda conteúdos de eletrodinâmica	Não aborda conteúdos de eletrodinâmica
	Não possui resumo/abstract/palavras-chave

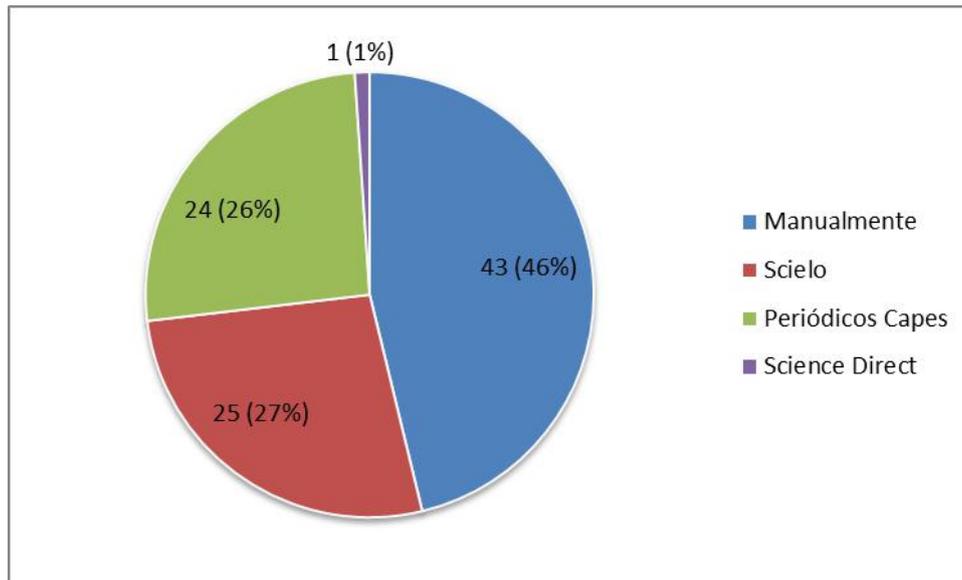
Fonte: Elaboração dos autores.

Para concluir a etapa de elaboração do PE, foram definidas quais as diferentes informações que seriam extraídas de cada artigo selecionado, entre elas: referências; título; autores; fonte; ano; resumo; palavras-chave; pergunta ou hipótese do estudo; metodologia/teoria de ensino; recurso/estratégia/abordagem didática; conteúdo específico abordado; técnicas de extração de dados/avaliação; resultados.

3.2 Execução

Esta fase corresponde à execução propriamente dita do PE, ou seja, a realização do processo de busca, catalogação, seleção, leitura e extração de dados. As buscas se iniciaram com a utilização das *strings* em cada uma das bases de dados escolhidas. Na Figura 1, mostra-se a quantidade de arquivos referentes a cada base de dados.

Figura 1: Todas as sessões de pesquisa.

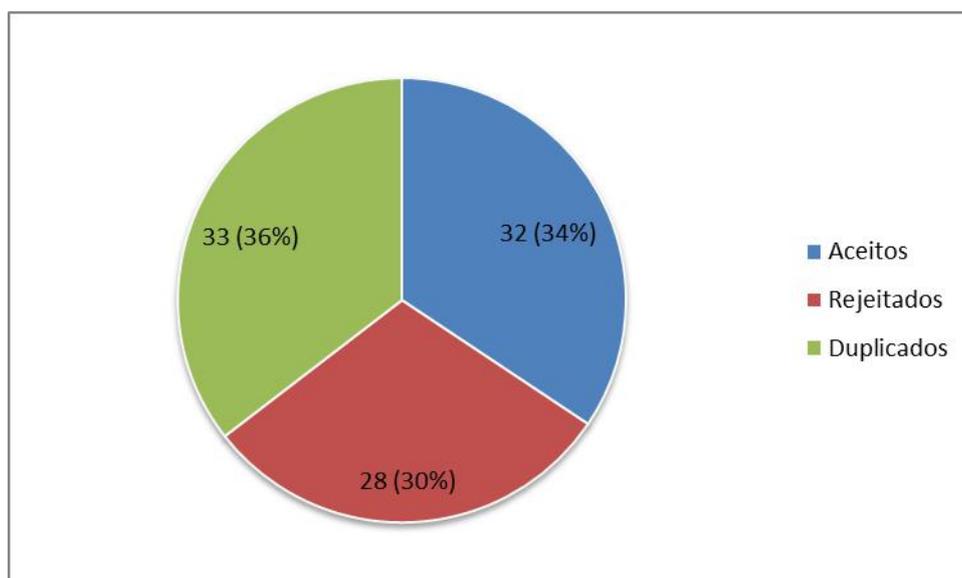


Fonte: Elaboração dos autores.

Neste processo foram coletados 93 artigos, dos quais 50 foram importados via *BibTex* pela ferramenta *Start*, e 43 tiveram os dados transferidos manualmente. A partir dos 93 artigos coletados, foi realizado o 1º filtro, a este processo denomina-se seleção dos artigos, onde serão aplicados os critérios de inclusão e exclusão. Os artigos foram analisados um a um, por meio do título, palavras-chave e resumo, classificando-os em: aceito, rejeitado ou duplicado. Vale destacar que a ferramenta *StArt* possui uma função automática de identificar e classificar os artigos repetidos como tal. Isto se torna uma vantagem, acelerando o processo.

Também é definida nesta etapa a prioridade de leitura dos artigos aceitos em: muito baixa, baixa, alta e muito alta. Na Figura 2, mostra-se o percentual de artigos aceitos, rejeitados e duplicados neste processo.

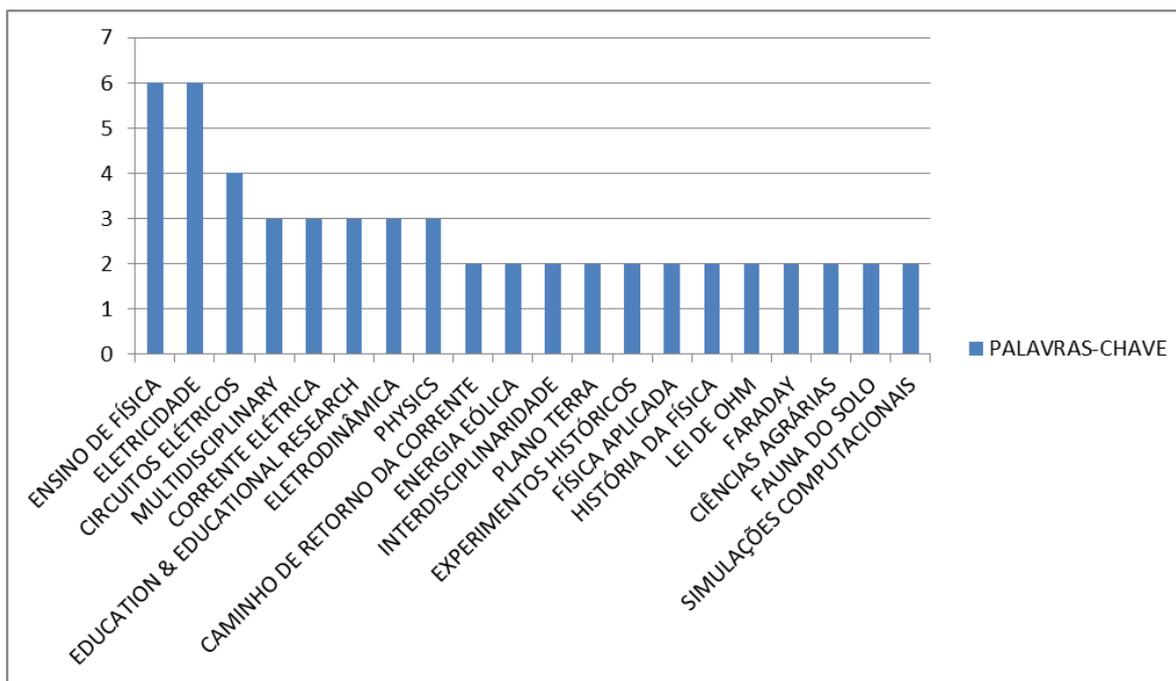
Figura 2: Seleção dos Artigos.



Fonte: Elaboração dos autores.

Como pode-se observar na Figura 2, após a primeira filtragem reduziu-se bastante o total de artigos. 32 artigos (34%) foram aceitos, pois estavam de acordo com os critérios de inclusão pré-definidos. Dos artigos descartados, havia um número elevado de artigos que se encontravam duplicados, ou seja, 33 artigos (36%). E ainda, 28 artigos (30%) que não atendiam aos critérios de inclusão, e foram, portanto, rejeitados. Ao final desta etapa, foi possível identificar as palavras-chave mais frequentes nos artigos desta seleção, que pode ser conferido na Figura 3.

Figura 3: Palavras-chave mais frequentes nos estudos.

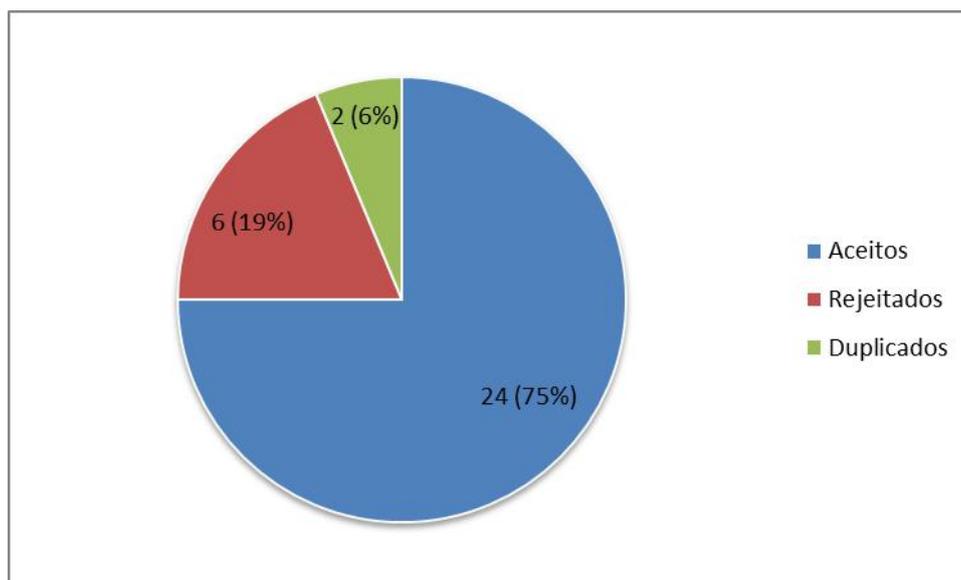


Fonte: Elaboração dos autores.

A Figura 3 mostra-nos que as palavras-chave mais recorrente nos artigos aceitos são: ensino de física, eletricidade e circuitos elétricos, enfatizando uma abordagem mais geral nos conteúdos da eletrodinâmica.

Após o primeiro filtro, foi realizado o segundo filtro, por meio do qual os 32 artigos aceitos na etapa anterior foram lidos por completo e reclassificados em aceitos, rejeitados ou duplicados. Pois é neste momento que o pesquisador pode se apropriar do conhecimento disponível no estudo, e verificar se atende aos objetivos e questões de pesquisa colocados inicialmente. No caso de artigos que mudarem de status em relação à seleção anterior, devem-se atualizar os critérios de inclusão e exclusão na ferramenta *StArt*. Na Figura 4, mostra-se o resultado deste processo, do qual permaneceram 24 artigos.

Figura 4: Extração dos artigos.



Fonte: Elaboração dos autores.

A Figura 4 mostra-nos que mesmo após a primeira filtragem ainda foram identificados artigos duplicados, bem como artigos que não atendiam aos critérios de inclusão. Isso ressalta a importância desta etapa, na qual é realizada uma leitura atenta e detalhada dos trabalhos.

Para os 24 artigos aceitos, foram respondidos o formulário de extração de dados, que busca extrair as seguintes informações: se as propostas foram implementadas em sala de aula, quais os recursos didáticos e metodologias de ensino adotadas, quais conteúdos abordados, dentre outras coisas. Além disso, nesta etapa podem-se escrever comentários relevantes sobre o estudo em um campo disponível no programa.

4. Resultados e Discussão

Esta etapa tem por objetivo sumarizar os resultados obtidos por meio deste estudo, a partir do processo de extração de dados das publicações analisadas. Os 24 artigos selecionados estão organizados no Quadro 3, onde é possível visualizar o título completo de cada estudo, antecedido por um código de identificação, que será usado para se referir ao estudo a partir de então, com o objetivo de facilitar o entendimento dos resultados obtidos.

Quadro 3: Artigos selecionados.

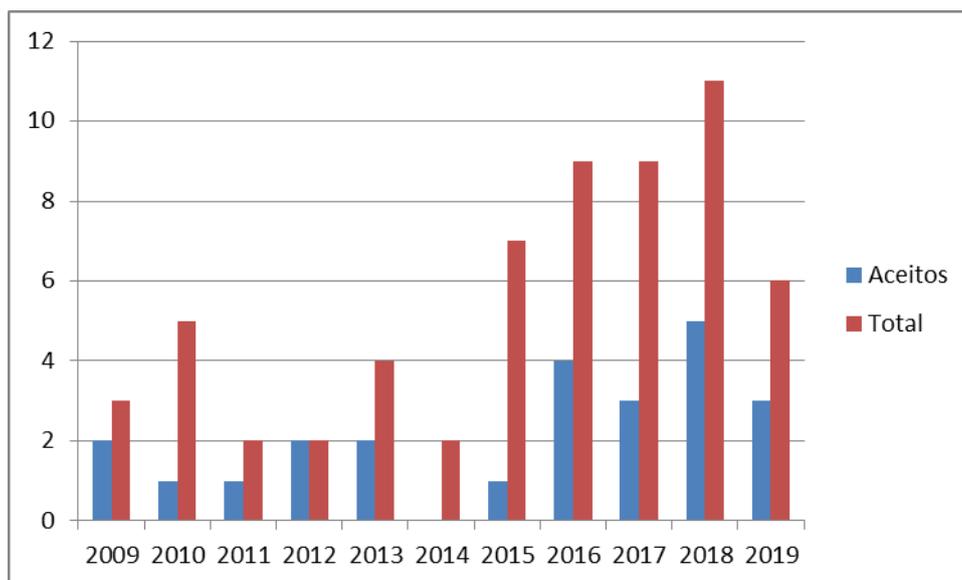
Id	Título
A01	Concepções de alunos da EJA sobre raios e fenômenos relacionados
A02	Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples
A03	Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio
A04	Ensino interativo na abordagem de Eletricidade numa escola portuguesa
A05	Atividade experimental “hands-on” para o estudo das características de um gerador (pilha voltaica) e de um recetor (voltâmetro) com material simples, de fácil acesso e baixo custo
A06	Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa

A07	Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio
A08	Estudo comparativo de um experimento de eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto
A09	Simulações Computacionais como Ferramentas para o Ensino de Conceitos Básicos de Eletricidade
A10	Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do Ensino Fundamental com uso de experimentação virtual
A11	Estudo de circuitos elétricos por meio de desenhos dos alunos: uma estratégia pedagógica para explicitar as dificuldades conceituais
A12	Comunicação alternativa no ensino de física: uma proposta de abordagem de eletricidade
A13	Kit educacional para estudo de geração elétrica a partir de energia eólica
A14	Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica
A15	Gerador trifásico de baixo custo para o ensino de física
A16	Pilha voltaica: entre rãs, acasos e necessidades
A17	Experimentos com supercapacitores e lâmpadas
A18	Benjamin Franklin e a formação de temporais com raios e trovões: tradução comentada de uma carta a John Mitchel
A19	Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica
A20	Distorções científicas perenes e suas consequências para o ensino de ciências: a relação entre eletricidade, magnetismo e calor
A21	História da Eletricidade e do Magnetismo: da Antiguidade à Idade Média
A22	Dois problemas práticos de Eletricidade Vitoriana e sua discussão no ensino secundário e universitário
A23	Pesquisas experimentais em eletricidade
A24	Geração de energia por pipas

Fonte: Elaboração dos autores.

Os resultados desta revisão permitiram perceber que tem ocorrido um aumento na quantidade de pesquisas sobre o ensino de eletrodinâmica nos últimos anos.

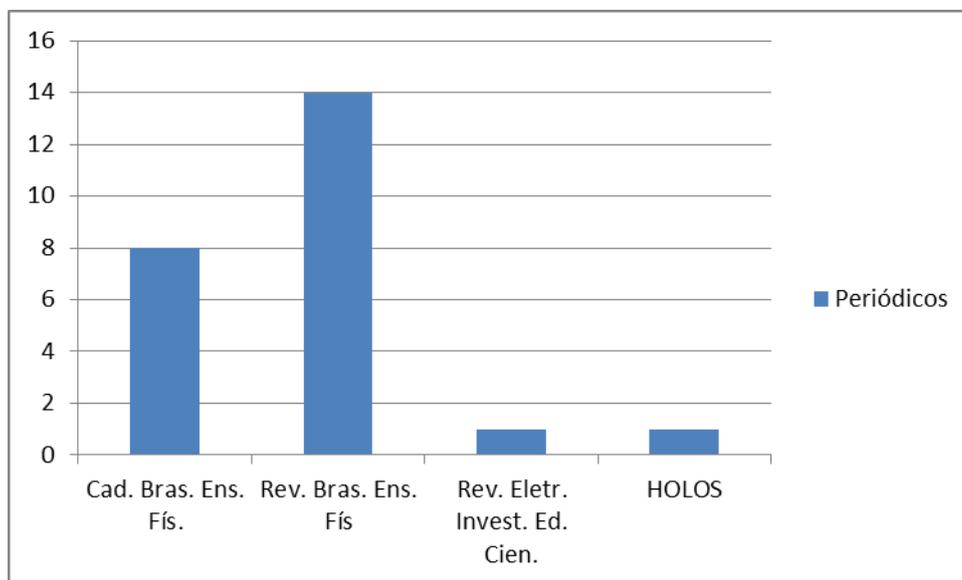
Figura 5: Quantificação de artigos por ano.



Fonte: Elaboração dos autores.

Considerando o total de artigos (seleção prévia), constatamos que no ano de 2009, 3 estudos foram publicados. No ano de 2018, um total de 11 estudos foram publicados, mais que o triplo, como é possível observar na Figura 5. Além disso, na Figura 6, podem-se observar quais os periódicos foram utilizados nesta RS após o processo dos filtros, e a quantidade de artigos correspondentes a cada um.

Figura 6: Quantificação de artigos por periódicos.



Fonte: Elaboração dos autores.

Como visto acima, a Revista Brasileira de Ensino de Física apresenta um maior número de artigos relacionado com a temática aqui trabalhada. Tal período é de grande relevância para o ensino de Física no Brasil.

A fim de responder à questão de pesquisa sobre as abordagens didáticas utilizadas, foram obtidas as seguintes informações: 11 estudos foram implementados em sala de aula, 6 estudos correspondem a propostas de atividade não testadas, e 7 apresentam uma abordagem teórico/conceitual. Alguns artigos poderiam se enquadrar em mais de uma categoria, porém

foram inseridos na categoria em que apresentavam um maior destaque no trabalho. O Quadro 4 resume o uso dessas abordagens.

Quadro 4: Abordagens didáticas no ensino de eletrodinâmica.

Implementados em sala de aula	Concepções Alternativas	A01, A02
	Prática Experimental	A03, A04, A05, A06, A07, A08
	Recursos Computacionais	A09, A10
	Outras metodologias	A11
Proposta de atividade	Educação Inclusiva	A12
	Prática Experimental	A13, A14, A15, A16, A17
Abordagem Teórico-conceitual	Levantamento histórico	A18, A19, A20, A21, A22
	Conceitos e fenômenos	A23, A24

Fonte: Elaboração dos autores.

4.1 Abordagens Implementadas em sala de aula

Abrange 11 pesquisas que apresentam, discutem e avaliam propostas didático-pedagógicas aplicadas em sala de aula, que foram divididas nas seguintes subcategorias de acordo com a estratégia de ensino utilizada: Concepções Alternativas, Prática Experimental, Recursos Computacionais, e Outras Metodologias. A categoria “Concepções Alternativas”, possui dois artigos: A01 e A02. Vale ressaltar que A01, além de trabalhar neste objetivo, utilizou experimentos simples em seu trabalho.

Entre as abordagens com práticas experimentais, dois utilizaram materiais de baixo-custo: A03 e A05; e três combinaram atividades práticas de laboratório com recursos educacionais digitais: A04, A07, A08. Além dos experimentos, A04 trouxe uma perspectiva do ensino interativo, com vídeos, *softwares* e *quiz*; A07 utilizou simulações de experimentos por meio do *PhET*; e A08 comparou o laboratório tradicional com o laboratório remoto, fazendo uso de recursos tecnológicos e computacionais, como internet e placa Arduino. Por fim, A06 utilizou os experimentos de maneira demonstrativa e utilizou o aplicativo de *quiz Plickers* para auxiliar na coleta de dados.

A subcategoria “Recursos Computacionais” apresenta dois artigos que utilizaram experimentos virtuais. A09 utilizou as simulações computacionais *PhET* e A10, os experimentos denominados *KS2 Bitesize*. Já na categoria de “Outras metodologias”, encontra-se o artigo A11, que utilizou o desenho como um instrumento pedagógico para identificar dificuldades de aprendizagem.

De acordo com Bastos (2020) a utilização de simulações é uma forma de proporcionar ao aluno a aquisição de novas habilidades importantes no desenvolvimento do conhecimento, para que ele possa ler e interpretar a realidade e desenvolver capacidades necessárias para atuação efetiva na sociedade e na vida profissional.

4.2 Proposta de atividade

Abrange pesquisas que apenas apresentam e discutem propostas didático-pedagógicas, mas que não foram ainda implementadas. Seis artigos fazem parte desta categoria, que foi dividida nas subcategorias: Educação Inclusiva e Prática Experimental. A subcategoria “Educação Inclusiva” abrange o artigo A12, o qual utiliza símbolos de comunicação pictórica (PCS) com alunos com dificuldade de comunicação oral.

No tópico de “Práticas Experimentais” estão cinco artigos. Entre eles, A13, A14, A15 e A16 retratam o assunto da geração de energia elétrica. Neste sentido, A13 utiliza fontes alternativas de energia, A14 propõe a construção de uma maquete como modelo de uma rede trifásica, A15 apresenta um gerador de corrente alternada, e A16 um gerador de corrente galvânica. Por fim, A17 demonstra a aplicação de supercapacitores no estudo de circuitos RC. Duas dessas práticas utilizam materiais de baixo custo: A15 e A16.

4.3 Abordagem teórico-conceitual

Contempla sete artigos que apresentam uma discussão conceitual sobre assuntos relacionado à eletricidade, e foi dividida nas subcategorias: Levantamento histórico, e Conceitos e Fenômenos.

Na subcategoria “Levantamento histórico” estão quatro artigos. A18 apresenta a tradução de uma carta escrita por Benjamin Franklin no século XVIII; A19 discute práticas extra laboratoriais dos cientistas, inerente ao processo de construção da Pilha de Volta; A20 detalha um caso histórico envolvendo experimentos em que a divulgação de um resultado à época, levou a uma interpretação totalmente distorcida; A21 apresenta fatos e narrativas acerca da história da eletricidade e do magnetismo; e A22 apresenta dois problemas do final do século XIX que exemplificam as intrincadas relações que envolvem a Física teórica e aplicada e o mundo real dos interesses financeiros e da indústria.

Por último, está a subcategoria “Conceitos e fenômenos” com apenas dois artigos: A23 apresenta uma tradução para o português do trabalho de Faraday de 1831; e A24 apresenta o conceito de geração de energia elétrica através de pipas, assim como sua capacidade energética e vantagens em relação ao sistema atual.

Após esse breve resumo das abordagens de cada artigo, buscou-se responder outras questões de pesquisa. Dentre elas, quais abordagens metodológicas de ensino e/ou bases teóricas mais adotadas no ensino de eletrodinâmica? Para isso, extraiu-se dos artigos a abordagem metodológica de pesquisa utilizada.

Foi possível identificar que a maioria dos estudos que tiveram aplicação e coleta de dados fez uso de abordagens quantitativas, alguns com análise estatística dos dados obtidos. Especificamente, cinco estudos usaram abordagens quantitativas: A1, A5, A6, A7, A8; enquanto quatro usaram abordagens qualitativas: A3, A9, A10, A11; e apenas dois usaram abordagens mistas: A2, A4. Nos demais estudos, não foi possível identificar a abordagem metodológica utilizada, pois não houve aplicação nem coleta de dados.

Quanto à metodologia de ensino utilizada, em 16 estudos não foi possível identificar a abordagem usada. Nos demais, a maioria fez uso de metodologias ativas, por meio do *Peer Instruction*. Também foram utilizadas Sequências didáticas; e os Três Momentos Pedagógicos, seguidos das metodologias e teorias de ensino: “hands-on”; taxonomia de Ausubel-Klausmeir; e Modelo de mudança conceitual. A Tabela 1 resume esses resultados.

Tabela 1: Metodologias/teorias de ensino.

Momentos Pedagógicos de Delizoicov	A01, A09
Sequência didática/ UEPS	A02, A06
<i>Peer Instruction</i>	A04, A06
Ensino “hands-on”.	A05
Taxonomia de Ausubel-Klausmeier	A10
Modelo de mudança conceitual	A11
Não utilizado/informado	A03, A07, A08, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A22, A23, A24

Fonte: Elaboração dos autores.

Vale ressaltar que as sequências didáticas tem sido cada vez mais usadas na sala de aula. Pesquisas recentes, como a de Souza, et al., (2020) mostram que a utilização de sequências didáticas fundamentadas na teoria da Aprendizagem Significativa pode contribuir para o ensino de eletricidade. Os autores construíram uma sequência baseada nos moldes da metodologia da aprendizagem baseada em projetos. Com isso foi possível guiar a aprendizagem dos alunos pela análise de um problema recheado de conceitos relevantes sobre o assunto e estimular o protagonismo do aluno quanto a seu próprio aprendizado enquanto procura resolvê-lo. Dessa forma, pode-se fugir da maneira expositiva como os conceitos geralmente são abordados.

A fim de responder esta pergunta de pesquisa “qual tem sido o foco das pesquisas na área de ensino de eletrodinâmica?”, foram identificados nos artigos os principais assuntos e conceitos desenvolvidos. O assunto mais recorrente é o de corrente elétrica, seguido de circuitos elétricos simples. A seguir, na Tabela 2, apresentam-se os demais tópicos trabalhados.

Tabela 2: Conceitos e tópicos mais frequentes.

Raios	A01, A18
Corrente elétrica	A02, A09, A10, A11, A12, A13, A15, A16, A22, A23
Circuitos elétricos simples	A02, A06, A07, A09, A10, A16, A17
Lei de Ohm	A03, A07, A08, A22
Associação de resistores	A03, A08, A17
Leis de Kirchhoff	A03
Eletricidade	A04, A19, A20, A21
Geradores e receptores	A05, A15
Energia elétrica	A10, A24
Resistência elétrica	A11
Diferença de potencial	A11, A16

Fonte: Elaboração dos autores.

Por fim, buscou-se verificar aspectos da metodologia de pesquisa nos artigos em ensino de eletrodinâmica, principalmente quanto aos instrumentos de coleta e extração de dados mais utilizados. Na Tabela 3, apresenta-se as técnicas mais utilizadas.

Tabela 3: Técnicas de coleta e extração de dados.

Teste de conhecimento	A01, A02, A05, A06, A07, A08, A09, A10
Questionário	A03
Relatório de experimentos	A03, A05
Ficha de Caracterização	A04
Teste diagnóstico	A04
Inquérito	A04
Entrevistas	A04
Questionário de opinião	A05
Entrevista semiestruturada	A10
Desenhos individuais	A11
Entrevistas vídeo-gravadas	A11

Fonte: Elaboração dos autores.

Foi observado uma maior frequência na utilização de testes de conhecimento para avaliar uma determinada intervenção, em muitos casos, utilizados no formato pré e pós-teste, ou seja, antes e após a intervenção realizada. Isso se deve, em grande parte a praticidade na aplicação e coleta de dados, bem como, a possibilidade de uma análise quantitativa dos resultados.

5. Conclusão

Neste trabalho apresentou-se o resultado de uma revisão sistemática da literatura sobre o ensino de eletrodinâmica na educação básica no período de 2009 a 2019 nas principais revistas voltadas para o ensino de Física. Para responder as três questões de pesquisas definidas inicialmente, foram selecionados 24 artigos, após algumas etapas de filtragem.

Com relação ao primeiro questionamento pode-se notar que as metodologias de ensino que se destacaram foram: sequências didáticas e metodologias ativas. E que a ferramenta didática mais frequente nos artigos que implementaram em sala de aula são as práticas experimentais. As quais também tiveram um número relevante nas propostas a serem implementadas.

Dentre essas propostas pode-se destacar aquelas que utilizam materiais simples e de baixo custo, num contexto de escolas sem laboratório, como nos artigos A03 e A05. E ainda, os artigos A04 e A06 com a proposta de ensino interativo por meio do uso de diferentes recursos, como simulações, *quizzes*, vídeos e experimentos.

A utilização de recursos computacionais, apesar de aparecer poucas vezes na Tabela 4, foi usada juntamente com outras abordagens de ensino em alguns artigos. Pode-se citar como exemplo a utilização da ferramenta de simulação computacional *PhET* pelo artigo A09.

Não menos importantes são os trabalhos pertencentes à categoria: Abordagem Teórico/Conceitual pois permitem um aprofundamento conceitual dos temas envolvidos na Eletrodinâmica. Por último, os artigos que abordam as concepções alternativas dos estudantes que podem ser úteis na identificação e análise dos conhecimentos prévios dos alunos.

Referente ao segundo questionamento identificou-se que o foco das pesquisas na área de ensino de eletrodinâmica está nos assuntos: corrente elétrica e circuitos elétricos simples, leis de ohm e associação de resistores. Enquanto os menos abordados são: geradores e receptores e lei de Kirchhoff.

Para o terceiro questionamento, foi observado quais os instrumentos de coleta de dados das pesquisas em ensino de eletrodinâmica mais recorrentes, e verificou-se que é comum a utilização dos testes de conhecimento com questões objetivas, a maioria em formato pré e pós intervenção, e também relatórios para as práticas experimentais.

Um desses testes, que aparece no artigo A02 foi o teste “Silveira, Moreira e Artx” (Teste SMA), o qual foi elaborado e validado em 1989 para verificar se alunos de engenharia possuíam concepções científicas sobre os conceitos de circuitos elétricos simples.

Percebe-se, com base nos resultados obtidos, que a prática experimental se mostra uma estratégia promissora para o Ensino de Física, dadas sua capacidade de unir teoria e prática, além de ser um meio motivador, que em conjunto com outras ferramentas didáticas e metodológicas aqui citadas, podem possibilitar aos alunos a oportunidade de uma melhor compreensão dos conceitos científicos.

A publicação de estudos de revisão sistemática é um passo para a prática baseada em evidência. Esta RS pode servir como base para pesquisas futuras ou contribuir nas práticas pedagógicas no ensino de eletrodinâmica através da aplicação e/ou adaptação de abordagens didáticas, ferramentas de ensino, métodos de obtenção e análise de dados, e atividades encontradas nos artigos que fizera parte do presente estudo. Dessa forma, como sugestão de trabalhos futuros, espera-se a ampliação desta revisão para outras áreas da Física e a investigação das metodologias de ensino propostas nos artigos aqui estudados, em diferentes contextos de sala de aula, analisando a eficácia de tais metodologias e recursos de ensino por meio dos resultados obtidos na aprendizagem dos alunos do ensino médio.

Referências

- Ausubel, D. P. (2000). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Paralelo Editora, LDA, Lisboa.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. 5ª reimpressão, janeiro de 2005. Contraponto editora lida, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. (1ª edição), maio.
- Barros filho, J., & Silva, D. (2002). Buscando um sistema de avaliação contínua: ensino de eletrodinâmica no ensino médio. *Ciência & Educação*, 8(1), 27 – 38.
- Bastos, A. M. (2020). Tecnologias digitais: uso do Physics Education Technology Project (PhET) no ensino de eletrodinâmica, *Research, Society and Development*, 9 (9),1-13.
- Bonadiman, H., & Nonenmacher, S. E. B. (2007). O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, 24(2): 194-223.
- Borges, O. (2006). Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(2), 135-142.
- Brasil (2000). *Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação.
- Ferreira, R. C. A., Paiva, E. C., & Dourado, L. F. N. (2019). Eletricidade: da geração à distribuição; aspectos históricos e proposta didática para o ensino. *Revista científica multidisciplinar núcleo do Conhecimento*, ISSN: 2448-0959, 1-62.
- Gomes, L. C., & Berllini, L. M. (2009). Uma revisão sobre aspectos fundamentais sobre a teoria de Piaget: possíveis implicações para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(2).
- Gonzales, E. G., & Rosa, P. R. S. (2014). Aprendizagem Significativa de conceitos de circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da educação de jovens e adultos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 19(2), 477-504.
- Moreira, M. A. (2012). Organizadores prévios e aprendizagem significativa (Advanced organizers and meaningful learning). *Revista Chilena de Educación Científica*, ISSN 0717-9618, 7(2), 23-30.
- Moreira, M. A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Moreira, M. A. (2003). Lenguaje y Aprendizaje Significativo. *Conferencia de cierre del IV Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*, Maragogi, AL, Brasil, septiembre.
- Nardi, R., & Castiblanco, O. (2014). *Didática da Física*. Cultura Acadêmica.
- Pietrocola, M. (2005). *Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo*. Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. (2ª ed.) rev. Florianópolis, ed. da UFSC.
- Praia, J. F., Cachapuz, A. F. C., & Gil-pérez, D. (2002). Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. *Ciência & Educação*, 8(1), 127 – 145.
- Rezende, F., Lopes, A. M. A., & Egg, J. M. (2004). Identificação de Problemas do Currículo, do Ensino e da Aprendizagem de Física e de Matemática a partir do discurso de Professores – *Ciências & Educação*, 10(2), 185-196.
- Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Rev. bras. fisioter.*, São Carlos, 11(1), 83-89, jan./fev.
- Souza, R. B., Drabeski, R. G., & Pereira, C. A. (2020). Conceitos de eletricidade trabalhados segundo a metodologia de aprendizagem baseada em problemas. *Research, Society and Development*, 9(8), 1-34.