

Relações entre neurociência e ensino de Física no contexto brasileiro: Uma revisão sistemática

Relationships between neuroscience and Physics teaching in the Brazilian context: A systematic review

Relaciones entre neurociencia y enseñanza de Física en el contexto brasileño: Una revisión sistemática

Recebido: 05/06/2024 | Revisado: 19/06/2024 | Aceitado: 21/06/2024 | Publicado: 24/06/2024

Daniela Vanessa Arndt

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6452-9097>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: daniela.arndt@ufpr.br

Roberta Chiesa Bartelmebs

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1057-6623>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: roberta.bartelmebs@ufpr.br

Tiago Venturi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2263-8585>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: tiago.venturi@ufpr.br

Resumo

Um ramo ainda pouco explorado no campo de pesquisa em educação é a neurociência. Essa área de pesquisa objetiva a compreensão sobre como ocorre o processo de aquisição e uso do conhecimento a partir do estudo dos mecanismos neurais. Neste estudo, pretende-se analisar o potencial do arcabouço teórico-metodológico da neurociência para a educação como uma nova via para pesquisas em ensino de Física, visto que revela possibilidades interessantes e inovadoras de investigação de velhos problemas conhecidos na área. Nesse sentido, nos vemos diante do seguinte problema de pesquisa: quais as contribuições das pesquisas de interface entre neurociência cognitiva e ensino de Física? Para tanto, a proposta é investigar como essas relações são abordadas no contexto brasileiro a partir de uma revisão sistemática de literatura, com recorte nos últimos 10 anos. A pesquisa retornou como principais resultados: i) a inserção das neurociências nos currículos de formação inicial de professores de Física; ii) as relações entre a teoria de Piaget e a neurociência Cognitiva no ensino de Física; iii) a divulgação do que vem se produzindo em termos de pesquisa sobre neurociência e ensino de Física; e, ainda, iv) uma abordagem interdisciplinar no ensino de Física. Espera-se que esse estudo busque entender como o processo de ensino aprendizagem se desenvolve a nível neurológico no intuito de melhorar a prática docente e que os frutos desta investigação incentivem o desenvolvimento de projetos futuros.

Palavras-chave: Revisão sistemática de literatura; Neurociência; Ensino de Física.

Abstract

A branch that is still little explored in the field of research in education is neuroscience. This area of research aims to understand how the process of acquiring and using knowledge occurs through the study of neural mechanisms. In this study, we intend to analyze the potential of the theoretical-methodological framework of neuroscience for education as a new path for research in Physics teaching, as it reveals interesting and innovative possibilities for investigating old problems known in the area. In this sense, we find ourselves faced with the following research problem: what are the contributions of interface research between cognitive neuroscience and Physics teaching? To this end, the proposal is to investigate how these relationships are approached in the Brazilian context based on a systematic literature review, covering the last 10 years. The research returned the following main results: i) the inclusion of neurosciences in the initial training curricula of Physics teachers; ii) the relationships between Piaget's theory and Cognitive neuroscience in Physics teaching; iii) dissemination of what has been produced in terms of research on neuroscience and Physics teaching; and, also, iv) an interdisciplinary approach to teaching Physics. It is expected that this study will seek to understand how the teaching-learning process develops at a neurological level with the aim of improving teaching practice and that the fruits of this investigation will encourage the development of future projects.

Keywords: Systematic literature review; Neuroscience; Physics teaching.

Resumen

Una rama aún poco explorada en el campo de la investigación en educación es la neurociencia. Esta área de investigación pretende comprender cómo se produce el proceso de adquisición y utilización del conocimiento a través del estudio de mecanismos neuronales. En este estudio nos proponemos analizar el potencial del marco teórico-metodológico de la neurociencia para la educación como un nuevo camino para la investigación en la enseñanza de la Física, ya que revela posibilidades interesantes e innovadoras para investigar viejos problemas conocidos en el área. En este sentido, nos encontramos ante el siguiente problema de investigación: ¿cuáles son los aportes de la investigación de la interfaz entre la neurociencia cognitiva y la enseñanza de la Física? Para ello, la propuesta es investigar cómo se abordan estas relaciones en el contexto brasileño a partir de una revisión sistemática de la literatura, que abarca los últimos 10 años. La investigación arrojó como principales resultados los siguientes: i) la inclusión de las neurociencias en los currículos de formación inicial de profesores de Física; ii) las relaciones entre la teoría de Piaget y la neurociencia cognitiva en la enseñanza de la Física; iii) difusión de lo producido en materia de investigación en neurociencia y enseñanza de la Física; y, además, iv) un enfoque interdisciplinario de la enseñanza de la Física. Se espera que este estudio busque comprender cómo se desarrolla el proceso de enseñanza-aprendizaje a nivel neurológico con el objetivo de mejorar la práctica docente y que los frutos de esta investigación fomenten el desarrollo de futuros proyectos.

Palabras clave: Revisión sistemática de la literatura; Neurociencia; Enseñanza de la Física.

1. Introdução

A intersecção entre as neurociências e a educação tem despertado um crescente interesse na comunidade científica e educacional. As neurociências, como áreas que estudam o funcionamento do sistema nervoso e do cérebro, oferece *insights* valiosos sobre os processos cognitivos e as bases biológicas da aprendizagem. Por sua vez, a educação busca compreender e aprimorar as práticas pedagógicas de maneira a promover uma aprendizagem cada vez mais significativa.

No âmbito educacional, acredita-se que a compreensão acerca dos mecanismos neurobiológicos envolvidos na aprendizagem pode informar o desenvolvimento de estratégias de ensino mais eficientes e adaptativas. Por exemplo, estudos neurocientíficos têm demonstrado a importância do ambiente de aprendizagem, do engajamento emocional e da prática repetida na consolidação do conhecimento (Freitas & Sousa, 2022).

Neste artigo, investigaremos as interações entre neurociência cognitiva e educação, com foco no ensino de física, examinando como esse campo do conhecimento, que experimentou avanços substanciais nas últimas décadas, tem influenciado pesquisas e estratégias pedagógicas. Esses achados embasam a indagação central desta pesquisa: quais são as contribuições das pesquisas que relacionam a neurociência cognitiva ao ensino de física? Para responder a essa questão, propomos uma revisão sistemática da literatura, com foco nos últimos 10 anos, para examinar como essas relações são abordadas no contexto brasileiro.

Este artigo está organizado em seis seções: a primeira oferece uma breve revisão da literatura sobre revisões sistemáticas de literatura; a segunda detalha os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa; a terceira apresenta as discussões dos resultados; a quarta discorre sobre as lacunas identificadas; e as últimas seções abordam as conclusões e as direções futuras do trabalho.

Destacamos que este artigo é parte de uma pesquisa em andamento, em desenvolvimento a nível de mestrado acadêmico. A proposta deste estudo é investigar como as relações entre Neurociência e ensino de Física são abordadas no contexto brasileiro a partir de uma revisão sistemática de literatura, com recorte nos últimos 10 anos.

1.1 Fundamentação teórica

A aprendizagem é um processo que se caracteriza pela formação e consolidação das conexões entre as células nervosas, envolvendo modificações químicas e estruturais no sistema nervoso de cada indivíduo, as quais demandam energia e tempo para se desenvolverem. Este fenômeno está intimamente ligado à neuroplasticidade, a capacidade do cérebro humano de

modificar e reorganizar as conexões neurais em resposta às interações constantes com o ambiente externo e interno do organismo (Cosenza & Guerra, 2011).

A aprendizagem promove a criação de novas sinapses, facilitando o fluxo de informação dentro dos circuitos nervosos, aumentando a complexidade das conexões e possibilitando a associação entre circuitos independentes. Esse processo permite, por exemplo, que novos conceitos sejam assimilados a partir de conhecimentos prévios. Por outro lado, a falta de uso das conexões já estabelecidas, ou a presença de patologias, pode resultar em efeitos adversos, levando à empobrecimento dos circuitos neuronais e contribuindo para o esquecimento de informações (Cosenza & Guerra, 2011).

Chamamos, coloquialmente, de aprendizagem, a fase de aquisição de memórias, enquanto a evocação recebe também as denominações de expressão, recuperação e lembrança. O termo “memória” se refere ao processo mediante o qual adquirimos, formamos, conservamos e evocamos informações (Lent, 2008).

Lent elucida

As memórias são codificadas por neurônios, armazenadas em redes neurais e evocadas por essas mesmas redes ou por outras. São moduladas pelas emoções, pelo nível de consciência e pelos estados de humor. Todos sabemos como é fácil aprender ou evocar algo quando estamos alertas e de bom humor; e como é difícil aprender qualquer coisa, ou até mesmo lembrar de uma pessoa ou de uma canção quando estamos cansados, deprimidos ou muito ansiosos (Lent, 2008, p. 243).

Atenção e memória estão vinculadas e fazem parte do processo de aprendizagem. Compreender as relações entre memória e atenção é essencial para o processo de aquisição de conhecimento, ou seja, para a ocorrência da aprendizagem (Freitas & Sousa, 2022).

A atenção é definida como um processo neural que se manifesta no comportamento dos indivíduos e é observada pela capacidade de filtrar informações em diferentes estágios do processo perceptivo (Freitas & Sousa, 2022). Este conceito é sustentado por Pantoni e Zorzi (2009, p. 27), os quais afirmam que a atenção direciona a percepção para alguns estímulos e negligência outros durante o processamento cognitivo.

Além da atenção e memória, as emoções desempenham um papel significativo na vida cotidiana das pessoas. Apesar do crescente volume de pesquisas em neurociência e da relevância das emoções em diversas áreas, como psicologia, neurologia, educação e psiquiatria, há ainda poucos estudos que investigam as emoções no contexto educacional (Gomes & Colombo Júnior, 2018).

Sob uma perspectiva neurocientífica, as emoções são reações fisiológicas e psicológicas que influenciam a compreensão, o conhecimento e o desenvolvimento do indivíduo. Estudos recentes da neurociência indicam que os aspectos emocionais são inseparáveis dos processos cognitivos (Gomes & Colombo Júnior, 2018).

Gomes e Colombo Júnior (2018) trazem contribuições relevantes ao destacar que as emoções são diretamente influenciadas pelo contexto em que ocorrem. Nesse sentido, no ambiente escolar, os processos de ensino e aprendizagem não são meramente cognitivos, mas também estão profundamente imbuídos de emoções. As emoções podem ser interpretadas como respostas aos estímulos recebidos, muitas vezes manifestando-se de forma inconsciente pelo agente que as expressa.

De acordo com Ansari:

Os professores são os orquestradores da plasticidade neuronal de seus alunos durante o horário de aula. Para que o conhecimento seja adquirido, o cérebro tem que codificar a informação, o que envolve mudanças na conectividade entre as células nervosas (isto é, a plasticidade sináptica) (Ansari, 2015, p.1704).

Diante da complexidade e inter-relação entre atenção, memória, emoções e demais processos cognitivos e neurobiológicos envolvidos na aprendizagem, é imperativo que esses elementos sejam devidamente considerados nas produções acadêmicas dos últimos anos (2012-2022), com foco especialmente para o ensino de física. Este estudo se propõe a integrar essas informações em seu arcabouço teórico e prático, reconhecendo sua relevância na compreensão dos processos de ensino e aprendizagem. Ao buscar uma abordagem mais abrangente e embasada na neurociência cognitiva, esperamos não apenas enriquecer a teoria educacional, mas também oferecer orientações valiosas para práticas pedagógicas.

2. Metodologia

Esta pesquisa se trata de uma Revisão Sistemática Piloto, isto é, que foi realizada no âmbito de uma disciplina do mestrado e teve por objetivo refinar a aprendizagem sobre como desenvolver uma revisão e elencar perguntas significativas para o *corpus* de análise para poder atender o objetivo geral.

Nesse cenário, emergem as seguintes perguntas de pesquisa: Quais as contribuições das pesquisas em neurociência e ensino de Física? Encontram-se contribuições? O que as pesquisas mostram? Para tanto, a proposta é investigar como essas relações são abordadas no contexto brasileiro a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura, com recorte nos últimos 10 anos. A Revisão Sistemática de Literatura conduzida neste estudo seguiu as diretrizes propostas por Galvão e Ricarte (2019), que seguem os seguintes passos de investigação:

- A) Definição da Questão Problema
- B) Especificação da(s) Questão(ões) de Pesquisa (QPs)
- C). Estratégia de pesquisas, termos de busca e *strings* de busca
- D) Critérios de inclusão e exclusão dos artigos
- E) Procedimentos de avaliação da qualidade dos estudos
- F) Estratégia de extração e síntese dos dados
- G) Estratégia de documentação e apresentação

Para tanto, definiu-se um protocolo de revisão, detalhado a seguir.

A) Definição da Questão Problema

A primeira etapa da revisão sistemática consistiu na delimitação da questão de pesquisa. A abordagem utilizada para a elaboração da questão problema e suas especificações foi o método **PICO** - População, Intervenção, Comparação e *Outcome*¹ (Santos et al., 2007).

Seguindo o critério **PICO**, a questão problema se constituiu da seguinte pergunta: “Como a neurociência cognitiva se mostra nas pesquisas em ensino de Física no contexto brasileiro nos últimos 10 anos?” Assim sendo, a **população** são pesquisadores, professores e estudantes envolvidos no contexto de ensino e aprendizagem de Física no Brasil; a **intervenção** são as abordagens que trazem reflexões e/ou promovem o ensino de Física amparados no arcabouço teórico da Neurociência; a **comparação** que não é utilizada (salvo quanto a classificar a qualidade das pesquisas recuperadas); e os **resultados** visam encontrar, conhecer e categorizar estas pesquisas, contemplando especificidades técnicas e metodológicas.

Ainda, salientamos que nossa busca por responder à questão problema configura-se, também, como objetivo maior desta revisão piloto.

¹ O termo “*outcome*” vem do inglês e significa resultado.

B) Especificação da(s) Questão(ões) de Pesquisa

Foram desenvolvidas quatro questões de pesquisa para serem investigadas e respondidas com base nos artigos recuperados, sendo estas:

QP1 – “Como a neurociência cognitiva se mostra nas pesquisas em ensino de Física no contexto brasileiro nos últimos 10 anos?”

QP2 - “Quais funções nervosas superiores são exploradas?”

QP3 - “Aborda algum tipo de ‘dificuldade de aprendizagem’?”

QP4 - “Apresentam-se proposta de intervenções (em sala de aula) em que se considere o aperfeiçoamento das estratégias de ensino por consequência das pesquisas neurocientíficas?”

Cada questão de pesquisa escolhida desempenha uma temática de interesse a ser analisada. A QP1 concerne como problema de pesquisa e principal objetivo da presente revisão sistemática. Assim sendo, buscou-se investigar e apresentar como tem-se desdobrado a interface entre neurociência e ensino de Física no contexto brasileiro, em um recorte temporal que abarque os últimos 10 anos (2012-2022).

A QP2 objetivou estender um olhar às funções nervosas superiores, como atenção, memória, motivação, emoções e funções executivas (Costa, 2023), identificando-as e apresentando suas relações e relevância para com a aprendizagem.

Através da QP3 pretendeu-se explorar as dificuldades de aprendizagem, transtornos, síndromes e espectros à luz da interface entre neurociência cognitiva e educação, caso houvesse estudos que as contemplassem

Finalmente, a QP4 pretendia analisar *se e quais* as propostas de intervenções (em sala de aula) em que se considere o aperfeiçoamento das estratégias de ensino por consequência das pesquisas neurocientíficas estão sendo apresentadas no contexto brasileiro.

A seguir, descreveremos as estratégias de pesquisa empregadas.

C) Estratégia de pesquisas, termos de busca e *strings*² de busca

Este tópico traz uma descrição das *strings* de busca utilizados e das bases escolhidas. As bases de dados escolhidas foram: Periódicos Capes e SciELO.

O Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) possui acervo científico digital composto por conteúdos de acesso livre e outros de acesso restrito, assinados com editoras internacionais. Contempla bases de dados de conteúdo diverso, periódicos, patentes, estatísticas, material audiovisual, normas técnicas, teses, dissertações, livros e obras de referência (Coordenação, 2020).

Já a SciELO é uma biblioteca eletrônica que integra periódicos científicos do Brasil e América Latina e Caribe. É uma base multidisciplinar que contém textos completos e de acesso gratuito (Costa & Zoltowski, 2014).

As bases escolhidas possuem acervo de acesso livre e que podem ser consultadas e reproduzidas por outros pesquisadores. Para além, acredita-se que as bases de dados escolhidas sejam capazes de representar de forma satisfatória o contexto de pesquisa em ensino de Ciências no Brasil.

Em relação às *strings* de pesquisa, optamos por utilizar as palavras “neurociência” e “Física”. Depois de definidas, “uma etapa necessária é a consulta a terminologias, tesouros e dicionários especializados para realizar o mapeamento de sinônimos” (Galvão & Ricarte, 2019). Consultadas as termologias e percebendo que nenhum dos sinônimos sugerindo atenderia as expectativas da pesquisa, mantivemos as *strings* iniciais. As termologias em inglês também não foram necessárias, visto que a abrangência do estudo está para o contexto brasileiro.

² O termo “strings” surge da ideia de fracionar o tema de pesquisa em palavras-chave.

Uma vez realizado o mapeamento terminológico, é importante conhecer os operadores booleanos AND (e), OR (ou) e AND NOT (e não) para construção das estratégias avançadas de busca, onde AND equivale à intersecção, OR equivale à união e AND NOT equivale à exclusão (Galvão & Ricarte, 2019). Utilizou-se apenas o operador AND entre as *strings*.

Os filtros aplicados dependem das opções disponíveis nas revistas e periódicos acessados e estão descritas no Quadro 1. Cabe ressaltar a importância desta etapa da pesquisa, uma vez que o emprego adequado de estratégias de busca e mapeamento de terminologias possui impacto decisivo sobre os documentos que serão recuperados nas bases de dados (Galvão, Ricarte, 2019). O Quadro 1 traz um demonstrativo da quantidade de artigos recuperados aplicando-se as *strings* e filtros nas bases selecionadas e discutidas acima.

Quadro 1 - Síntese das estratégias de busca empregadas.

BASE	STRINGS DE BUSCA	FILTROS APLICADOS	QNTDE DE ARTIGOS
SciELO	neurociência (AND) física	Tipo de recurso: Artigos; Idioma: Português; Ano de publicação: 2012-2022.	8
Periódicos Capes	neurociência (AND) física	Tipo de recurso: Artigos; Idioma: Português; Ano de publicação: 2012-2022.	70
CBEF	---	---	1
		Total	79

Fonte: Autores (2022).

As execuções foram realizadas em outubro de 2022, tendo como recorte temporal o período dos últimos dez anos (2012-2022). Diferente das outras bases, a CBEF não possui uma recuperação de artigos adequada quando utilizadas as *strings* de busca e aplicação de filtros. Visto isto, optou-se pela busca manual dos artigos na revista, acessando cada edição e analisando os artigos um a um, de maneira individualizada.

D) Critérios de inclusão e exclusão dos artigos

O trabalho de seleção dos resultados retornados de acordo com critérios de inclusão e exclusão constitui o próximo passo. Artigos potencialmente relevantes selecionados na busca devem ser classificados a partir de critérios de inclusão e exclusão. Essa etapa é inevitável, visto que é comum que a busca retorne resultados irrelevantes para o contexto da pesquisa (Costa & Zoltowski, 2014).

Para essa finalidade, foram elaborados os seguintes critérios de inclusão e exclusão:

- **Critérios de Inclusão (CI):**

CI1: Possuir a palavra “neurociência” e “Física” no título, resumo ou palavras-chave dos artigos.

CI2: Estudos que abordam neurociência com uma abordagem para o ensino de Física.

- **Critérios de Exclusão (CE):**

CE1: Estudos que abordassem as temáticas de neurociência e Física, mas que não apoiassem o ensino.

CE2: Estudos em outros idiomas, diferente de português.

CE3: Estudos indisponíveis (que não foram possíveis de se recuperar).

CE4: Estudos repetidos, encontrados previamente em outra(s) base(s).

O processo de seleção pode ter várias fases. Na trajetória metodológica a que esta revisão se debruça, os passos subsequentes serão descritos como **Fase 1** e **Fase 2** da revisão.

A Fase 1 se constitui da seleção de artigos considerando a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos encontrados. Já a Fase 2 consiste na realização de uma análise crítica geral dos documentos encontrados, onde são observados a coerência do estudo, qualidade metodológica, resultados alcançados, conclusão, financiamento do estudo etc. (Galvão & Ricarte, 2019, p.68). Também, é nessa fase que são aplicados os Critérios de Inclusão (CI) e Critérios de Exclusão (CE). O Quadro 2 traz uma síntese das etapas realizadas:

Quadro 2 - Número de artigos recuperados por base em cada fase da revisão sistemática.

BASE	ARTIGOS RECUPERADOS	FASE 1	FASE 2
SciELO	8	3	2
Periódicos Capes	70	5	3
CBEF	1	1	0
TOTAL	79	9	5

Fonte: Autores (2022).

Já na Fase 1, percebemos uma diferença considerável entre os artigos recuperados e os artigos que permaneceram após a análise das *strings* nos títulos, palavras-chave e resumos. Entre a Fase 1 e a Fase 2, na SciELO temos um artigo desconsiderado a encargo da aplicação do CE1. O Periódico Capes teve dois artigos excluídos a partir do CE4. Ainda, um artigo não considerado na CBEF através do CE1.

Assim, o Quadro 3 retrata a síntese final de artigos recuperados para a presente revisão sistemática de literatura. Os artigos foram organizados em ordem alfabética a partir do título.

Quadro 3 - Artigos selecionados.

CÓDIGO	TÍTULO	ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTOR(ES)	BASE
A1	Relação entre a Teoria de Piaget e a Neurociência Cognitiva no Ensino de Física	2022	Priscila dos Santos Caetano de Freitas; Carlos Eduardo Batista de Sousa.	SCIELO
A2	Neurociência e Ensino de Física: limites e possibilidades em um campo inexplorado	2021	Guilherme Brockington	SCIELO/CAPES
A3	A Neurociência na formação do professor de Física: Análise curricular das licenciaturas em Física da região Sul do Brasil	2019	Patrick Alves Vizzotto	CAPES
A4	Diálogos necessários: neurociência, emoções e a formação inicial de professores	2018	Aline Resende Gomes; Pedro Donizete Colombo Junior.	CAPES
A5	Aspectos sobre a visão humana em uma abordagem interdisciplinar no ensino médio	2021	André L. M. de Barcellos Coelho	CAPES/CBEF

Fonte: Autores (2022).

Foram encontrados um total de cinco artigos que atenderam aos critérios do protocolo de pesquisa concebido para atender aos objetivos desse estudo. Fica evidenciado que as pesquisas encontradas se concentram nos últimos 5 anos (mesmo com recorte temporal de 2012-2022). Tal indício aponta para a existência de uma emergência sutil em pesquisas em neurociência e educação para o ensino de Física no contexto brasileiro.

E) Procedimentos de avaliação da qualidade dos estudos

A qualidade dos artigos será avaliada de acordo com a sua abrangência, no sentido de responder às perguntas de pesquisa a que esse estudo se propõe. Nesse contexto, um artigo de qualidade seria aquele que respondesse todas ou o maior número de questões de pesquisa apresentadas.

F) Estratégia de extração e síntese dos dados

Existem diversas possibilidades quando se trata de estratégias de extração e síntese de dados. Sugere-se que os artigos recuperados nas bases de dados sejam incluídos em softwares específicos para a gestão das referências bibliográficas, o que facilita a de duplicação e gerenciamento dos documentos que serão revistos (Galvão & Ricarte, 2019).

Na presente revisão foram utilizados, essencialmente, dois softwares: JabRef³ e Excel.

Depois de realizadas as execuções através das *strings* de busca, os artigos recuperados passam por uma etapa de seleção e análise (Fase 1). Os artigos recuperados foram exportados em arquivo UTF-8 com os dados dos artigos encontrados para o JabRef. Já com as duplicatas removidas (o JabRef possui essa funcionalidade), foram analisados, nessa etapa, apenas o título, resumo e palavras-chaves dos artigos selecionados. Vale ressaltar que análise deverá ser baseado nos critérios de inclusão e exclusão definidos anteriormente. As marcações acerca da relevância (incluído, excluído ou duvidoso) dos artigos para a revisão sistemática foram feitas no próprio JabRef.

Em seguida, os dados foram importados para uma planilha no Excel, onde a seleção era ocasionada pela leitura completa dos artigos (Fase 2). Ainda nessa etapa, foi realizada a extração das respostas relacionadas às questões de pesquisa. Optamos por criar uma segunda planilha com os artigos nas linhas e as questões de pesquisa nas colunas. Dessa forma, ao proceder com a leitura dos artigos, as possíveis respostas extraídas eram preenchidas diretamente na planilha e posteriormente serão apresentadas na forma de tabela.

G) Estratégia de documentação e apresentação

Compartilhamos, neste tópico, estratégias para documentação e apresentação.

Galvão e Ricarte (2019, p.68) recomendam que, desde o início da revisão se tenha a preocupação de registrar e sistematizar as fontes de informação consultadas para uso posterior na descrição da revisão e para que os direitos autorais sejam garantidos. Além disso, objetiva acarretar a não necessidade de refazer etapas.

Quanto as apresentações, as revisões de literatura sistemáticas geralmente são publicadas em forma de artigos ou relatórios científicos. O modo usual de divulgação dos resultados é a publicação em periódicos científicos (Galvão, Ricarte, 2019).

3. Resultados e Discussão

Os resultados serão expressos através da discussão das questões de pesquisa.

Abaixo, no Quadro 4, apresentamos uma síntese dos principais resultados encontrados.

³ Pode ser encontrado no endereço: <http://www.jabref.org/>

Quadro 4 - Síntese dos resultados.

CÓDIGO	TÍTULO	QP1	QP2	QP3	QP4
		“Como a neurociência cognitiva se mostra nas pesquisas em ensino de física no contexto brasileiro nos últimos 10 anos?”	“Quais funções nervosas superiores são exploradas?”	“Aborda algum tipo de ‘dificuldade de aprendizagem’?”	“Apresentam-se proposta de intervenções (em sala de aula) em que se considere o aperfeiçoamento das estratégias de ensino por consequência das pesquisas neurocientíficas?”
A1	Relação entre a Teoria de Piaget e a Neurociência Cognitiva no Ensino de Física	Inserção das neurociências nos currículos de formação inicial dos professores de física Relações entre a teoria de Piaget e a neurociência cognitiva no ensino de física	Atenção, memória, emoções e funções executivas	Não se aplica	Não se aplica
A2	Neurociência e Ensino de Física: limites e possibilidades em um campo inexplorado	Divulgação do que vem se produzindo em termos de pesquisa sobre neurociência e ensino de física	Nenhuma em específico	Não aborda	Não se aplica
A3	A Neurociência na formação do professor de Física: Análise curricular das licenciaturas em Física da região Sul do Brasil	Inserção das neurociências nos currículos de formação inicial dos professores de física	Memória	Não se aplica	Não se aplica
A4	Diálogos necessários: neurociência, emoções e a formação inicial de professores	Inserção das neurociências nos currículos de formação inicial dos professores de física	Emoções	Não se aplica	Não se aplica
A5	Aspectos sobre a visão humana em uma abordagem interdisciplinar no ensino médio	Uma abordagem interdisciplinar no ensino de física	Nenhuma em específico	Não apresenta	Se limita a produção de bases teóricas sobre as quais o educador científico pode produzir seus próprios métodos

Fonte: Autores (2022).

Para QP1, são quatro resultados principais, sendo a inserção das neurociências nos currículos de formação inicial de professores de Física, o resultado com maior incidência. Além disso, foram encontradas relações entre a teoria de Piaget e a neurociência cognitiva no ensino de Física, divulgação do que vem se produzindo em termos de pesquisa sobre neurociência e ensino de física; e uma abordagem interdisciplinar no ensino de Física. Esses resultados serão discutidos e respaldados posteriormente, nas exposições individuais de cada questão problema.

Quanto a QP2, se pretendeu investigar a incidência de conceitos relacionados as funções nervosas superiores abrangendo atenção, memória, motivação, emoções e funções executivas (Costa, 2023).

As dificuldades de aprendizagem a luz da neurociência (QP3) não fizeram parte do teor de nenhuma das pesquisas do *corpus* de análise da presente Revisão Sistemática de Literatura.

Finalmente, a QP4 surgiu a partir de uma ideia de contribuição entre as áreas, inspirando estratégias de ensino para sala de aula. De acordo com essa primeira tentativa de *corpus* de análise, isso não acontece, ainda, no ensino de Física no contexto brasileiro. Uma possível justificativa pode estar relacionada a área de pesquisa de interface entre neurociência e ensino de Física ainda se constituir como ciência de base, em seus primeiros passos de desenvolvimento. Além disso, é necessário considerar à dificuldade em transpor conhecimentos e anseios de áreas diferentes, de uma para a outra.

Para além das respostas as perguntas de pesquisa, uma inquietação que surgiu ao longo da análise dos artigos diz respeito aos tipos de pesquisa, o que recai até mesmo na forma de análise de qualidade dos artigos. As pesquisas se constituíam de tipos distintos. Visto que cada artigo se propôs a um objetivo diferente, um artigo de maior qualidade seria aquele que respondeu ao seu objetivo de pesquisa de maneira mais completa, abrangente.

3.1 Como a neurociência cognitiva se mostra nas pesquisas em ensino de Física no contexto brasileiro nos últimos 10 anos?

A resposta a essa pergunta passa por quatro resultados principais: 1) Inserção da neurociência nos currículos de formação de professores de Física; 2) Relações entre a teoria de Piaget e a neurociência cognitiva no ensino de Física; 3) Divulgação do que vem se produzindo em termos de pesquisa sobre neurociência e ensino de Física; e 4) Abordagem interdisciplinar no ensino de Física.

Traremos, a seguir, uma discussão mais detalhada acerca das perspectivas manifestadas.

Foram constatadas inclinações acerca da inserção das neurociências nos currículos de formação inicial de professores de Física, sustentadas pelas pesquisas de Freitas e Sousa (2022), Vizzoto (2019) e Gomes e Colombo Junior (2018) em A1, A3 e A4 respectivamente.

O A1 tem por objetivo relacionar a teoria piagetiana e a neurociência cognitiva, em termos de suas contribuições e implicações para o ensino de Física. Segundo os autores, esses encadeamentos refletem na formação de professores, no currículo escolar e na adoção de estratégias que promovam a aprendizagem (Freitas & Sousa, 2022).

Os autores de A1 defendem que uma formação de professores à luz da neurociência cognitiva oportunizaria aos alunos um ensino flexível, capaz de respeitar suas individualidades em relação a cognição, na forma de ensiná-los e avaliá-los. As potencialidades de aprendizagem se ampliam à compreensão de como é a sua ocorrência em nível neurobiológico (Freitas & Sousa, 2022).

Consoante a A1, a inserção das neurociências nos currículos de formação inicial de professores de Física como uma forma de contribuir para o combate a informação a informações errôneas e pseudocientíficas a respeito da ciência do cérebro. Somos advertidos por A1, sobre a disseminação de informações pseudocientíficas ou mal interpretadas pelos educadores. Justamente por isso é recomendável o estudo da neurociência cognitiva nos cursos de formação de professores, visto que a transposição entre as áreas deverá ser realizada com cautela (Freitas & Sousa, 2022).

Além disso, o A1 ampara-se na Resolução CNE/CP nº 2/2019, destacando o item dois da resolução, que diz respeito as competências específicas da dimensão do conhecimento profissional: “demonstrar conhecimento sobre os estudantes e como eles aprendem” (Brasil, 2019, p. 2). Ainda, apresenta uma série de fundamentos pedagógicos que regem os cursos de formação, do qual destacamos:

III - a conexão entre o ensino e a pesquisa com centralidade no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que ensinar requer, tanto dispor de conhecimentos e mobilizá-los para a ação, como compreender o processo de construção do conhecimento (Brasil, 2019, p. 5, grifos nossos).

Tanto o item dois como o trecho citado acima relacionam-se com as potencialidades da neurociência cognitiva para se compreender como os alunos aprendem, corroborando para a afirmativa de inserção do conhecimento neurocientífico nos cursos de formação inicial de professores de física.

Ante isto, os pesquisadores do A1 reforçam a urgência por diretrizes curriculares interessadas e que defendam a inserção destas disciplinas nos currículos de formação de professores. Desta maneira, conectar a psicologia cognitiva à neurociência cognitiva, aplicando os avanços neurocientíficos nas escolas da educação básica, a fim de compreender como os alunos aprendem, de modo a produzir aprimoramentos no ensino de Física (Freitas & Sousa, 2022).

Em consonância, Guerra traz ponderações bastante relevantes:

A falta de conhecimento dos neurocientistas sobre o processo ensino-aprendizagem na sala de aula e sobre metodologia e teoria educacionais básicas é mais um fator a ser contornado. A psicologia educacional, desempenhada por educadores capacitados em neurociências básicas, poderá contribuir para o uso adequado dos achados das neurociências e para a colaboração entre as duas áreas. A inclusão dos fundamentos neurobiológicos do processo ensino-aprendizagem na formação inicial do educador proporcionará nova e diferente perspectiva da educação e de suas estratégias pedagógicas, influenciando também a compreensão dos aspectos sociais, psicológicos, culturais e antropológicos tradicionalmente estudados pelos pedagogos (Guerra, 2011, p. 4).

O A3 investigou os cursos de licenciatura em Física da região Sul a fim de verificar a existência de disciplinas que abordem conceitos de neurociência na formação inicial do professor de Física, de maneira semelhante às pesquisas realizadas em pedagogia (Grossi et al., 2014) e matemática (Fonseca & Cássia, 2012).

Os resultados demonstraram a inexistência de disciplinas regulares que abordem conceitos de neurociência na formação do professor de Física (limitado a região Sul), evidenciando que ainda há uma lacuna a suprir no quesito aproximar os conhecimentos da neurociência aos da educação, em especial, ao ensino de Física (Vizzotto, 2019).

Em A4, objetiva-se investigar as emoções que expressadas por licenciandos (estagiários) em Física e Ciências Biológicas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Minas Gerais, Brasil, em suas primeiras vivências didáticas em sala de aulas, as regências.

O A4 corrobora para diálogos necessários entre neurociência, emoções e a formação inicial de professores, ao afirmar que as que as emoções são diretamente influenciadas pelo contexto em que ocorrem. Desta forma, ao vislumbrar um contexto escolar (em momentos de estágio curricular supervisionado), podemos extrair que os processos de ensino e aprendizagem não são meramente cognitivos, mas altamente carregados de emoções.

Os autores de A4 afirmam que os estudos da neurociência caminham no sentido de mostrar que aspectos emocionais são inseparáveis de aspectos cognitivos, ou seja, já não é possível em pleno século XXI pensar a formação inicial de professores sem considerar tais interconexões (Grossi et al., 2014).

Há uma consonância entre os pesquisadores: a necessidade de realizar, por meio dos seus trabalhos, a divulgação do que vem se produzindo em termos de pesquisas sobre neurociência e ensino de Física (A2).

O A2 apresenta e discute diferentes pesquisas nesse campo de investigação, que abordam, sobretudo, alguns temas centrais que podem ser utilizados nas pesquisas ensino de Física. Defende o potencial que o arcabouço teórico-metodológico das ciências do cérebro tem para oferecer uma nova via para as pesquisas em ensino de Física, com possibilidades interessantes e inovadoras de investigação para velhos problemas conhecidos na área.

Além disso, visa permitir que pesquisadores da área possam não só se familiarizem com o que se tem produzido, mas convidá-los a se aprofundarem na neurociência e educação, centrando esforços para o desenvolvimento de investigações sobre o ensino e aprendizagem da Física (Brockington, 2021).

Em sua pesquisa, o autor de A2 começa apresentando de forma detalhada algumas pesquisas relacionadas ao processamento cerebral da matemática, visto sua relevância na estruturação do pensamento físico, como:

- Pesquisas acerca do **senso numérico**⁴ (Xu & Spelke, 2000; Xu et al., 2005)
- Metodologia da “**habituação**” (Karmiloff-Smith, 1994).
- Técnica de “**violação da expectativa**” (Wynn, 1992).
- “**Modelo de código triplo**”⁵ (Dehaene, 1995, 2011; Parsons, J. et al, 2004; Kroeger, Brown & O’Brien, 2012).

⁴ Habilidade inata de perceber, manipular e entender pequenas quantidades. Essa habilidade, juntamente com outras funções cognitivas e processos educacionais, permite aos humanos compreender e criar princípios matemáticos mais complexos (Brockington, 2021).

⁵ Tradução dos autores para *The Triple-Code Model*, visto que o termo não tem uma tradução canônica na área (Brockington, 2021).

Apesar dos avanços consideráveis em pesquisas sobre matemática, pouco se sabe sobre os mecanismos neurais que dão suporte ao aprendizado de conteúdos de Física. Vejamos algumas delas, mencionadas por A2:

- Mason e Just (2015): Através de imagens de ressonância magnética funcional os pesquisadores investigaram os padrões de ativação cerebral enquanto os sujeitos da pesquisa aprendiam conceitos de mecânica a partir de quatro sistemas diferentes, com o objetivo de identificar como um novo conhecimento físico é construído no cérebro ao longo de diferentes estágios de aprendizagem. Os resultados sugeriram diferentes mecanismos que compõem a aprendizagem de sistema mecânicos: i) codificação de informações; ii) animação mental, possivelmente envolvendo imaginar os componentes mecânicos em movimento; iii) geração de hipóteses causais associadas a animação mental; e (iv) determinação de como uma pessoa interage com o sistema. Além disso, foram criados “classificadores” capazes de identificar o padrão de ativação neuronal para cada um dos quatro sistemas mecânicos, de modo que era possível prever em qual deles o estudante estava pensando com base apenas em seus padrões cerebrais.

- Mason e Just (2016): Realizaram outra investigação, com o auxílio da ressonância magnética, com o objetivo de identificar padrões da atividade cerebral quando estudantes de Física e Engenharia pensavam em conceitos físicos. Mais que isso, pretendia-se determinar se cada um destes conceitos possui um padrão neural específico, consistente e identificável por meio de um “classificador” gerado a partir da aprendizagem. Os pesquisadores identificaram ativações cerebrais bem específicas para cada conceito. Mais que isso, essa atividade cerebral era a mesma em todos os participantes quando estavam pensando no mesmo conceito. Ainda, os resultados mostraram que estes padrões de ativação neuronal reaproveitavam sistemas neurais já existentes, sugerindo que o aprendizado de conceitos físicos é realizado por meio do reaproveitamento de estruturas neurais que são, originalmente, usadas para propósitos gerais do nosso dia a dia.

- Brewe, et al. (2018): O objetivo da pesquisa era o desenvolvimento e a testagem de modelos qualitativos e quantitativos dos fenômenos físicos. Utilizou-se uma abordagem pedagógica chamada “*Modeling Instruction*”⁶ (Brewe, 2008), que se fundamenta em uma característica específica da epistemologia científica, a modelagem. Os participantes da pesquisa tiveram seus cérebros escaneados enquanto respondiam a questões do *Force Concept Inventory (FCI)*⁷ antes e depois de passarem pelo “*Modeling Instruction*”. Entre os resultados, foram observados os mesmos padrões de atividade cerebral no pré e pós-teste, mostrando haver uma consistência na forma que o cérebro processa o pensamento de conteúdos da Física.

- Bartley, et al. (2019): Usaram de neuroimagem para entender as estratégias que os estudantes usam para resolver problemas conceituais e como isso impacta na aprendizagem. A atividade cerebral dos estudantes foi coletada enquanto eles resolviam questões do FCI, apresentadas em três fases: i) iniciação do problema, na qual os estudantes visualizavam um texto e uma figura descrevendo um cenário físico; ii) apresentação da pergunta, e iii) seleção de resposta, em que quatro opções de resposta possíveis eram exibidas para a escolha do sujeito. Os resultados revelaram que as mesmas regiões cerebrais foram ativadas em todos os estudantes quando eles estavam resolvendo as questões de Física. Foram analisadas, então, as ativações correspondentes a cada uma das três fases de resolução dos problemas. A fase i) ativou regiões ligadas à atenção visuoespacial, à percepção, ao controle motor e à memória. A fase ii) engajou regiões associada à memória de curto prazo e cognição numérica, enquanto a fase iii) ativou regiões que dão suporte à mentalização, à exploração mental de uma solução. Segundos os autores, esses resultados revelam que o pensamento físico se dá a partir da cooperação e interação entre todas essas áreas. Ainda, vale ressaltar que os resultados indicaram que a rede neural que suporta o raciocínio físico foi ativada de maneira consistente, independentemente de o estudante pensar em uma resposta fisicamente correta ou em uma concepção alternativa.

⁶ Trata-se de uma abordagem pedagógica que se fundamenta em uma característica específica da epistemologia científica, a modelagem (Brockington, 2021).

⁷ Questionário de conteúdos de mecânica largamente conhecido e pesquisado no Ensino de Física.

Foisy et al., (2015) investigaram o que ocorre no cérebro quando estudantes são expostos a questões que envolvam a persistência das concepções alternativas no ensino de Física. Divididos em dois grupos, sendo o primeiro constituído de estudantes de bacharelado em Física, e o segundo de outros, não vinculados aos cursos científicos, os resultados revelam que a inibição pode desempenhar um papel fundamental na aprendizagem de Ciências. Os autores sugerem, através dos resultados, que as concepções espontâneas do primeiro grupo não foram erradicadas ou transformadas durante a aprendizagem, mas permaneceram codificadas em suas redes neurais, sendo “apenas” inibidas para fornecer a resposta cientificamente correta. Já em relação ao segundo grupo, a explicação dada pelos autores é que os sujeitos desse grupo também vivenciaram o conflito cognitivo, mas não foram capazes de inibi-los, ou seja, ainda que seus cérebros tenham detectado o erro eles não foram capazes de resolvê-lo.

Susac, *et. al.* (2017): estudaram a influência da representação gráfica dos dados na compreensão e interpretação dos resultados das medições realizadas por estudantes em aulas de laboratório de Física, através do *eye-tracker*⁸. Os dados revelaram que o tempo total de visualização foi o mesmo para os dois grupos de estudantes. Entretanto, os estudantes com os itens que traziam a representação gráfica gastaram muito menos tempo visualizando os dados numéricos. Os resultados revelaram um desempenho melhor no teste para os estudantes que tiveram as representações gráficas disponibilizadas. Isso sugere que as representações ajudaram estes estudantes a entender melhor os dados. Esses resultados, segundo os autores, indicam que a representação gráfica pode ser benéfica para processamento e comparação de dados e comparação de dados, ajudando na visualização e análise das medidas.

Outra pesquisa realiza por esse mesmo grupo, a fez uso do *eye-tracking* para investigar o impacto dos diagramas que, tradicionalmente, estão presentes nas questões de Física. O objetivo era verificar se, de fato, eles contribuem para a compreensão do estudante, auxiliando na resolução do problema. Os resultados do desempenho revelaram que os diagramas apresentam um pequeno efeito positivo na resolução dos problemas, raramente com significância estatística. Segundo os autores, a compreensão da situação Física não leva, necessariamente, a uma solução mais eficaz. Ainda que os diagramas possam ser úteis na fase inicial de visualização do problema, eles não garantem a elaboração de uma resposta mais correta.

Exploramos, principalmente, o A2, haja vista que, entre o *corpus* de análise dessa revisão, esse artigo tem, entre todos, o principal objetivo de apresentar e discutir pesquisas na interface entre essas duas áreas: neurociência e ensino de Física. Por conseguinte, mais uma forma de desenredar a neurociência para o ensino de Física, manifestada na presente revisão sistemática, seria a neurociência (cognitiva) fundamentada na teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget (A1).

Os autores de A1 legitimam essa intersecção mediante o desenvolvimento das células nervosas em um indivíduo, visto que, ao nascer, ele ainda não possui as condições necessárias para o pleno funcionamento neuronal, o que implica na necessidade de estímulos ambientais adequados e a mielinização das fibras nervosas (Piaget, 1999; Bear, Connors & Paradiso, 2017).

Nesse sentido, o indivíduo carece de receber as estimulações e o tipo de ensino condizente com seu estágio de desenvolvimento, e conseqüentemente, potencial cerebral. A partir de um certo estágio de desenvolvimento temos, então, o aumento da importância do fator ambiental na expressão da maturação do sistema nervoso. Pantoni e Zorzi (2009) afirmam que a experiência e o aprendizado passam a desempenhar um papel fundamental para a integração das regiões cerebrais e promoção de alterações estruturais celulares. Nesse estágio, a plasticidade assume o sentido e garante a especialização crescente (Freitas & Sousa, 2022).

⁸ Técnica de rastreamento ocular.

Assim sendo, de acordo com Freitas e Sousa (2022) a neurociência é potencialmente relevante ante a afirmar que o comportamento humano seja produto da aprendizagem, o que viabiliza a teoria da equilíbrio de Piaget, em que há uma sólida relação entre o desenvolvimento cognitivo e o meio.

Quando se propõe imbricar a neurociência cognitiva à teoria de Piaget, fundamenta-se para que sejam evidenciadas suas contribuições e implicações no ensino de Física, o que reflete na formação de professores, no currículo e na adoção de estratégias que promovam a aprendizagem (Freitas & Sousa, 2022).

3.2 Quais funções nervosas superiores são exploradas?

Para investigar quais funções nervosas superiores são exploradas nas pesquisas recuperadas, nos propomos a estender o olhar a temas conhecidos desta área como atenção, memória, motivação, emoções e funções executivas (Costa, 2023).

O Quadro 5 sintetiza a incidência com que as funções nervosas superiores escolhidas (atenção, memória, motivação, emoções e funções executivas) apareceram nos artigos recuperados.

Quadro 5 - Incidência das funções nervosas superiores nos artigos.

Incidência das funções nervosas superiores nos artigos	A1	A2	A3	A4	A5
Atenção	X				
Memória	X		X		
Motivação					
Emoções	X			X	
Funções executivas	X				

Fonte: Autores (2023).

Conforme o exposto, a pesquisa de A1 foi a que mais explorou funções nervosas superiores em seu arcabouço teórico: atenção, memória, emoções e funções executivas. A3 e A4 abordaram funções nervosas superiores únicas (e distintas) em seus estudos, sendo elas as emoções e a memória, respectivamente. A2 e A5 não mencionaram nenhuma em específico.

3.3 Aborda algum tipo de “dificuldade de aprendizagem”?

A neurociência e educação traz para a pauta o estudo neurobiológico acerca de síndromes, transtornos e espectro. Nesse sentido, a proposta para esta questão de pesquisa é analisar possíveis discussões acerca das chamadas “dificuldades de aprendizagem”.

Freitas e Sousa (2022) apresentam um estudo realizado por Chugani, *et al.* (2001) que constatou déficits cognitivos, sociais e comportamentais por influência do abandono na infância por tempo prolongado e a sua relação com danos neurológicos em crianças de faixa etária média de nove anos e que vieram de orfanatos estatais da Romênia, frutos de políticas públicas e sociais do governo na década de 1980, e que sofreram privações físicas e emocionais nestes ambientes. A pesquisa foi realizada por pesquisadores da escola de medicina da Universidade Estadual de Wayne.

Da mesma forma, Salles *et al.* (2016) preconizam que a identificação de déficits executivos ainda na idade pré-escolar é útil para a estruturação de programas de intervenção dessas funções (A1).

Através do campo de pesquisa em neurociência, Sigman et al. (2014) desenvolveram dispositivos que permitem a detecção precoce de déficits cognitivos, mesmo em bebês, permitindo a busca por intervenções cada vez mais cedo (A2).

A pesquisa de Silva (2020) engloba a educação inclusiva e consistiu na aplicação de um produto didático, idealizado considerando aspectos da neurociência, sobre o conceito de frequência relacionado a ondas, tendo como público-alvo 4 discentes surdos, alunos e ex-alunos, da Rede Federal de Educação Tecnológica do município de Itapetinga-BA (A1).

Viveiros e Camargo (2014) realizaram pesquisas em ensino de Física com alunos com necessidades educacionais especiais, onde relacionaram a teoria dos campos conceituais e a neurociência cognitiva a fim de desenvolver uma interface cérebro-computador para deficientes visuais e físicos. Durante as aulas de Física, foram medidos os ritmos cerebrais dos sujeitos por intermédio do eletroencefalograma, e após a análise dos padrões obtidos, foi possível concluir que houve grande atividade cerebral na fase de aquisição háptica (tátil) nos ritmos Alpha, Beta e Theta. Embora em outros estudos com atividades motoras o ritmo Alpha normalmente seja suprimido, a sua não ocorrência é justificada quando há forte estimulação emocional positiva, o que contribui na predisposição para aprender, juntamente com altos índices de ocorrência da atividade Beta, a qual está relacionada ao mecanismo de atenção (A1).

Salientamos que pouco se encontrou neste sentido (em A1 e A2), mas que o que se encontrou foi aqui exposto e discutido.

Como dificuldades de aprendizagem encontradas, temos: déficits cognitivos, sociais e comportamentais; a importância de identificação e, portanto, desenvolvimentos de aparelhos que auxiliem na identificação de tais déficits; e a educação inclusiva para alunos surdos, deficientes visuais e físicos.

3.4 Apresentam-se proposta de intervenções (em sala de aula) em que se considere o aperfeiçoamento das estratégias de ensino por consequência das pesquisas neurocientíficas?

Aqui, são propostos discutir estratégias metodológicas (intervenções) de ensino, no âmbito de sequências didáticas, experimentos, jogos e softwares, entre outros. Contudo, apenas um dos artigos selecionados traz uma proposta voltada diretamente ao ensino de conhecimentos físicos, ao discutir uma possibilidade de trabalho interdisciplinar entre os componentes curriculares de Física e biologia, a nível de ensino médio, no conteúdo de Ondulatória Física.

A pesquisa se propõe apenas a discussões teóricas que se valem de conhecimentos das neurociências nas relações entre processos bioquímicos e o processamento visual, da biologia, sobretudo quanto a teoria da evolução biológica e da física na interação luz-matéria.

Conforme Coelho (2021):

Neste trabalho se pretende fornecer subsídios para que uma discussão competente acerca dessa problemática possa ser realizada em salas de aula de ensino fundamental e médio. Não se propõe, entretanto, um método pelo qual isso seja viabilizado, ficando a cargo dos próprios educadores a realização dessa tarefa. (Coelho, p.1099, 2021)

Assim sendo, pode-se afirmar que, dentro do nosso contexto de pesquisa, não foram encontrados trabalhos que caracterizassem a presença de estratégias metodológicas de ensino (intervenções).

3.5 Lacunas Encontradas

Aqui serão discutidos os limites da Revisão Sistemática Piloto. É de suma importância realizar uma investigação detalhada dos elementos que delineiam essa abordagem metodológica, compreendendo tanto suas potencialidades quanto suas limitações. Nesse sentido, a resposta à pergunta de pesquisa já se caracteriza como lacuna. Tal situação se deve ao fato de que,

embora a área da neurociência esteja em franca ascensão em diversos países, no Brasil observa-se uma carência significativa de desenvolvimento de pesquisas, notadamente no que concerne à aplicação da neurociência no ensino de Física.

Conforme assinalado por Carvalho e Villas Boas (2018), uma parcela considerável dessa lacuna entre as áreas de neurociência e educação pode ser atribuída à maneira como os neurocientistas abordam suas investigações relacionadas à educação. Frequentemente, a linguagem empregada nesses estudos é voltada primordialmente aos especialistas da área, o que torna a compreensão desses achados particularmente complexa para indivíduos não familiarizados com a terminologia técnica. Como consequência dessa falta de acessibilidade, os dados neurocientíficos acabam por ter uma aplicabilidade limitada, ou até mesmo nula, nos contextos pedagógicos, comprometendo assim a integração efetiva entre a pesquisa científica e a prática educacional.

4. Considerações Finais

As pesquisas sistematizadas apontam que o estudo das bases neurobiológicas da aprendizagem para o ensino de Física indica a necessidade de se ofertar cursos e disciplinas que versem sobre os conteúdos da neurociência e educação nos currículos de formação inicial de professores, relacionando-os com as teorias cognitivas da aprendizagem (sobretudo a de Piaget).

Após a leitura das publicações selecionadas na revisão de literatura, realizou-se o agrupamento dos resultados em classes de análise, sendo os principais resultados: i) a inserção das neurociências nos currículos de formação inicial de professores de Física; ii) as relações entre a teoria de Piaget e a neurociência Cognitiva no ensino de Física; iii) a divulgação do que vem se produzindo em termos de pesquisa sobre neurociência e ensino de Física; e, ainda, iv) uma abordagem interdisciplinar no ensino de Física.

No âmbito de formação de professores, dos trabalhos encontrados nas bases de dados escolhidas, A1, A3 e A4, relacionam as formações iniciais à neurociência. Embora os cursos e disciplinas de formação inicial de professores que se relacionem a Neurociência ainda não seja uma realidade estabelecida, há um consenso entre os autores em relação a importância de que essa inserção se concretize.

Já no tocante a divulgação e popularização da neurociência, pede-se que se realize de maneira responsável e cautelosa. Ambas, amparando-se em objetivo comum: combater a propagação de informações errôneas a respeito da neurociência.

Os resultados da Revisão Sistemática Piloto apontam uma escassez em pesquisas na área. Contudo, entendemos que as imbricações entre a neurociência e o ensino de Física são interlocuções necessárias e não se esgotam com tais análises.

Ademais, tais discussões podem fornecer subsídios para que outros pesquisadores maximizem as pesquisas relacionadas a neurociência no ensino de Física para além da formação inicial de professores e divulgação de arcabouço científico.

Finalmente, espera-se que os resultados apresentados possam ser chamariz para discussões futuras acerca da temática. Como sugestão, uma delas é a realização de estudos longitudinais para acompanhar os efeitos das estratégias baseadas em neurociência ao longo do tempo. Além disso, desenvolver e testar intervenções práticas com base nos achados da neurociência, visando aprimorar o ensino e a aprendizagem em sala de aula. A investigação de variáveis que possam modular os efeitos da neurociência no contexto educacional, considerando características dos alunos, métodos de ensino e ambientes de aprendizagem, também é fundamental. Por fim, investir na formação de professores pode contribuir para avanços significativos na área.

Referências

- Ansari, D. (2015). Mind, Brain, and Education: A Discussion of Practical, Conceptual, and Ethical Issues. In: Clausen, J., Levy, N. (eds) *Handbook of Neuroethics*, 1703-1719. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4707-4_146
- Bartley, J. E., Riedel, M. C., Salo, T., et al. (2019). Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach. *npj Science of Learning*, 4, 20.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2017). *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. Artmed.
- Brasil (2019). Conselho Nacional de Educação. (2019). *Resolução CNE/CP nº 2/2019*. Brasília: MEC
- Brewe, E., Bartley, J. E., Riedel, M. C., Sawtelle, V., Salo, T., Boeving, E. R., Bravo, E. I., Odean, R., Nazareth, A., Bottenhorn, K. L., Laird, R. W., Sutherland, M. T., Pruden, S. M., & Laird, A. R. (2018). Toward a neurobiological basis for understanding learning in university modeling instruction physics courses. *Frontiers in ICT*, 5, 10.
- Brockington, G. (2021). Neurociência e Ensino de Física: Limites e Possibilidades em um Campo Inexplorado. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43 (Suppl 1). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0430>.
- Carvalho, D., & Villas Boas, C. A. (2018). Neurociências e formação de professores: reflexos na educação e economia. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 26 (98). <https://doi.org/10.1590/S0104-40362018002601120>.
- Coelho, A. L. M. de B. (2021). Aspectos sobre a visão humana em uma abordagem interdisciplinar no ensino médio. *Caderno Brasileiro De Ensino De Física*, 38(2), 1096–1112. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e76672>
- Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e Educação: como o cérebro aprende*. Ed. Artmed.
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (2020). *Portal de periódicos*. <http://www.periodicos.capes.gov.br>.
- Costa, R. L. S. (2023). Neurociência e aprendizagem. *Revista Brasileira de Educação*, 28, e280010.
- Costa, A. B., & Zoltowski, A. P. C. (2014). Como escrever um artigo de revisão sistemática. In S. H. Koller, M. C. P. de Paula Couto, & J. V. Hohendorff (Orgs.), *Manual de Produção Científica*. Penso (pp. 53-67).
- Chugani, H. T., Behen, M. E., Muzik, O., Juhász, C., Nagy, F., & Chugani, D. C. (2001). Local brain functional activity following early deprivation: a study of postinstitutionalized Romanian orphans. *NeuroImage*, 14(6), 1290–1301. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0917>
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). *Towards an Anatomical and Functional Model of Number Processing*. Paris: Lawrence Erlbaum Associates Limited.
- Foisy, L. M., et al. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Fonseca, L., & Cássia, A. (2012). Um estudo preliminar sobre a neurociência cognitiva nos cursos de licenciatura em matemática de Sergipe/Brasil: necessidades de incorporação de uma Engenharia neurodidática. *Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade*, 6.
- Freitas, P. S. C., & Sousa, C. E. B. (2022). The connection between Piaget's theory and cognitive neuroscience in physics teaching. *SciELO Preprints*. doi: 10.1590/SciELOPreprints.4378.
- Galvão, M. C. B., & Ricarte, I. L. M. (2019). Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da Informação*, 6(1), 57–73.
- Gomes, A., & Colombo Júnior, P. (2018). A produção acadêmica sobre estágio curricular supervisionado e a formação inicial de professores: uma análise a partir de revistas "Qualis A/Educação/Capes". *Revista Triângulo*, 11(1), 163-180.
- Guerra, L. B. (2011). O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. *Revista Interlocução*, 4(4), 3-12.
- Grossi, M. G. R., Lopes, A. M., & Couto, P. A. (2014). A neurociência na formação de professores: um estudo da realidade brasileira. *Revista da FAEEBA- Educação e Contemporaneidade*, 23(41), 27-40.
- Karmiloff-Smith, A. (1994). Précis of Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(4), 693–707.
- Kroeger, L. A., Brown, R. D., & O'Brien, B. A. (2012). Connecting Neuroscience, Cognitive, and Educational Theories and Research to Practice: A Review of Mathematics Intervention Programs. *Early Education & Development*, 23(1), 37–58.
- Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios* (2a ed.). Atheneu.
- Mason, R. A., & Just, M. A. (2015). Physics instruction induces changes in neural knowledge representation during successive stages of learning. *NeuroImage*, 111, 36–48.
- Mason, R. A., & Just, M. A. (2016). Neural representations of physics concepts. *Psychological Science*, 27(6), 904–913.
- Pantoni, T., & Zorzi, J. L. (2009). *Neurociência aplicada à aprendizagem*. Pulso.
- Parsons, J., et al. (2004). Effects of a high school-based peer-delivered corrective mathematics program. *Journal of Direct Instruction*, 4, 95–103.
- Piaget, J. (1999). *Seis estudos de psicologia* (24ª ed., Maria Alice Magalhães D' Amorim & Paulo Sergio Lima Silva, Trans.). Forense Universitária.

- Salles, J. F. de Haase, V. G., & Malloy-Diniz, L. F. (2016). Neuropsicologia do desenvolvimento: infância e adolescência. Porto Alegre: Artmed.
- Santos, C. M. C., Pimenta, C. A. M., & Nobre, M. R. C. (2007). A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 15(3), 508–511.
- Sigman, M., Peña, M., Goldin, A. P., & Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience*, 17(4), 497-502.
- Silva, I. M. de S. S. (2020). *As contribuições da neurociência cognitiva para o ensino de física em discentes com deficiência auditiva*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.
- Susac, A., et al. (2017). Graphical representations of data improve student understanding of measurement and uncertainty: An eye-tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 13. 10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020125.
- Viveiros, E. R., & Camargo, E. P. (2014). Teoria dos Campos Conceituais e Neurociência Cognitiva: utilizando uma interface cérebro-computador no Ensino de Física para deficientes visuais e físicos. *Interciência & Sociedade*, 3(2), 99-107.
- Vizzotto, P. (2019). A Neurociência na formação do professor de Física: análise curricular das licenciaturas em Física da região sul do Brasil. *Revista Insignare Scientia - RIS*, 2(2), 150-165.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749–750.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.
- Xu, F., Spelke, E. S., & Goddard, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science*, 8(1), 88-101.