

ENSINO DE FÍSICA E O PENSAMENTO COMPLEXO: REVISÃO NA BIBLIOTECA DIGITAL BRASILEIRA DE TESES E DISSERTAÇÕES (2006-2022)

TEACHING PHYSICS AND COMPLEX THINKING: REVIEW ON BRAZILIAN DIGITAL LIBRARY OF THESES AND DISSERTATIONS (2006-2022)

Carla de Sousa Ferreira¹, Alexandre Leite dos Santos Silva²

Recebido: maio/2023 - Aprovado: fevereiro/2025

RESUMO: O pensamento complexo é uma forma de compreender o mundo e o outro que requer o diálogo entre diferentes dimensões da vida contemporânea e áreas do conhecimento, com reflexos na concepção da escola e no ensino e na relação entre os conteúdos escolares, como a Física. Nessa perspectiva, o objetivo deste texto é identificar as características da produção acadêmica encontrada por meio da revisão sistemática na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações sobre o ensino de Física na perspectiva da complexidade e refletir sobre as suas contribuições para a área. Os trabalhos encontrados contribuem para o ensino de Física na medida em que atendem às necessidades emergentes da sociedade de um ensino reflexivo que reconhece os problemas reais do mundo e as suas incertezas e contradições, além do inacabamento do homem e do seu conhecimento historicamente acumulado.

PALAVRAS-CHAVE: educação em ciências, complexidade, física.

ABSTRACT: Complex thinking is a way of understanding the world and others that requires dialogue between different dimensions of contemporary life and areas of knowledge, with repercussions on the conception of school and teaching and on the relationship between school content, such as physics. From this perspective, the objective of this text is to identify the characteristics of the academic production found through a systematic review in the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations on the physics teaching from the perspective of complexity and to reflect on its contributions to the area. The works found contribute to the physics teaching to the extent that they meet society's emerging needs for reflective teaching that recognizes the real problems of the world and its uncertainties and contradictions, in addition to the incompleteness of man and his historically accumulated knowledge.

KEYWORDS: Science education, complexity, physics.

- 1 <https://orcid.org/0009-0000-1866-2369> - Licenciada em Educação do Campo pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Integrante do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Ensino de Ciências, Picos, Piauí, Brasil. Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, Rua Cícero Eduardo, 905, Bairro Junco, Picos, PI, CEP 64607-670. E-mail: sousacarla176@gmail.com.
- 2 <https://orcid.org/0000-0002-8239-9240> - Doutor em Educação pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Professor da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Picos, Piauí, Brasil. Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, Rua Cícero Eduardo, 905, Bairro Junco, Picos, PI, CEP 64607-670. E-mail: alexandreleite@ufpi.edu.br.





Introdução

Vivemos em um mundo permeado pela incerteza, pela contradição e pela mudança. Lidar com essa realidade exige uma nova forma de lê-la e pensá-la, que tem encontrado abrigo no pensamento complexo. Essa perspectiva, que tem como um de seus expoentes Edgar Morin, emergiu da necessidade de crítica, de discussão e de tomada de consciência das limitações do conhecimento humano e da própria ciência, que têm se assentado em formas de pensar simplificadoras e fragmentadas (Morin, 2019).

O termo “complexo” significa: o que está tecido junto. A nossa realidade é complexa, composta por elementos heterogêneos que estão ligados, tecidos juntos, inseparáveis da totalidade. Além disso, ela é entretecida por acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações e acasos (Morin, 2015). Nessa direção, o pensamento complexo é uma forma de compreender o mundo e o outro que requer o diálogo entre diferentes dimensões da vida contemporânea e áreas do conhecimento, com reflexos na concepção da escola e no ensino e na relação entre os conteúdos escolares.

Dentre os conteúdos, inclui-se a Física, cujo ensino é o nosso objeto de estudo. Diante disso, começamos a nos perguntar que desenvolvimentos e avanços já tivemos, especialmente em nível nacional, na pesquisa em ensino de Física na perspectiva da complexidade. Isso nos levou a alguns artigos científicos, como Souza *et al.* (2010), que investigaram, no trabalho com licenciandos em Física, se o pensamento transdisciplinar pode contribuir para a compreensão do princípio da dualidade da luz. Levrini e Fantini (2013) problematizaram as simplificações no ensino da Física e propuseram caminhos para o ensino da Física quântica a partir do paradigma da complexidade. Brito e Cortesi (2020) buscaram definir a complexidade e trouxeram vários exemplos de como esta era tratada na astrofísica. Mostraram que é necessário buscar novas formas de ensino, como nas abordagens teóricas e metodológicas no estudo dos sistemas complexos da astronomia e da astrofísica. Trivizol e Figueirôa (2021) apresentaram tópicos de natureza das ciências e da história e filosofia da ciência, com foco na termodinâmica e com os aportes teóricos de Ludwig Fleck e a teoria da complexidade de Edgar Morin, tanto para a educação básica quanto para a formação de professores.

Alguns artigos abordaram a Física na perspectiva da complexidade com foco na Educação Ambiental, um tema transdisciplinar. Nesse sentido, Watanabe-Caramello e Strieder (2011) contribuíram para a discussão sobre a formação de professores de Física com a inserção de questões socioambientais. O trabalho de Watanabe-Caramello e Kawamura (2013), sob o olhar complexo, propôs uma estratégia de ensino pautada na abordagem temática, no âmbito da Educação Ambiental, que pode levar à incorporação do olhar da complexidade no contexto das aulas de Física. Em Silva, Cavalari, Muenchen (2015), foram investigadas compreensões sobre a temática ambiental e as suas articulações com o processo educativo a partir da análise de trabalhos publicados em eventos. O trabalho de Carvalho, Watanabe e Rodriguez-Marín (2017) buscou identificar os níveis de complexidade produzidos nos argumentos de estudantes do ensino médio sobre o aquecimento global. Watanabe *et al.* (2017) apresentaram uma análise orientada pela Teoria dos Grafos sobre o desenvolvimento da complexidade nas respostas de estudantes do ensino



médio em discussões sobre o aquecimento global. Em Carvalho e Watanabe (2019) foi investigada, com base nas hipóteses de transição, a evolução das ideias de estudantes do ensino médio sobre o aquecimento global. Watanabe (2021), articulando o conceito de dimensões, analisou aspectos da complexidade em uma proposta de aulas de Física sobre emergências climáticas, considerando também as impressões sobre esta proposta por docentes da escola básica. Costa e Pedroso (2022) investigaram, na perspectiva da complexidade, a visão dos professores de Física sobre a relação entre a educação ambiental e a sua disciplina.

Os artigos encontrados realizaram discussões pertinentes ao ensino de Física a partir da noção de que o mundo em que vivemos é um todo constituído por ocasos, contradições, incertezas e elementos heterogêneos, mas interligados (Paderes; Rodrigues; Giusti, 2005). Com esse olhar, a presente revisão sistemática de literatura foi direcionada pelo problema: quais as características e as contribuições das pesquisas nacionais refletidas em teses e dissertações sobre o ensino de Física sob o pensamento complexo? O objetivo deste texto é identificar as características da produção acadêmica encontrada na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações sobre o ensino de Física na perspectiva da complexidade e refletir sobre as suas contribuições para a área. Dessa forma, este trabalho soma às contribuições feitas por revisões de literatura anteriores, embora realizadas com objetivos distintos (Saheb; Rodrigues, 2017; Araújo *et al.*, 2020; Ferreira; Figueiredo, 2022).

Para isso, apresentamos primeiro os princípios do pensamento complexo segundo Edgar Morin. Em seguida, explanamos sobre os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. Depois, expomos as características da produção analisada e reflexões sobre as suas contribuições para o ensino de Física. Após isso, apresentamos as últimas considerações.

O pensamento complexo em Edgar Morin

Poincaré (Matemático, França, 1854-1912) foi pioneiro em notar o comportamento complexo em meio ao contexto dominado pela interpretação newtoniana (Poincaré, 1995). Os principais estudos que marcaram a complexidade tiveram início nas décadas de 1960 e 1970, destacando-se Stuart Kauffman, Philip Anderson, Murray Gell-Man e Brian Arthur (expoentes da complexidade restrita em vários ramos do conhecimento científico) e Edgar Morin (expoente da complexidade geral). A complexidade restrita “é mais voltada à formalização científica, originária das ciências naturais, físicas e químicas e da computação”. A complexidade geral, proveniente de desdobramentos da restrita, “é mais subjetiva e relaciona-se com a filosofia e as relações humanas”. (Lukosevicius; Marchisotti; Soares, 2017, p. 456; Sá, 2008). Dentro desse ponto de vista, neste trabalho nos detemos à complexidade geral, erigida sobre o pensamento complexo desenvolvido por Edgar Morin.

Edgar Morin foi pesquisador emérito do *Centre National de la Recherche Scientifique*, em Grenoble, França. Nasceu em Paris em 1921. É formado em História, Geografia e Direito. Suas contribuições ultrapassaram as fronteiras entre áreas, abrangendo a Antropologia, a Filosofia, a Sociologia e a Epistemologia. A sua obra é extensa, incluindo dezenas de livros, além de artigos e outros trabalhos



importantes. Destacam-se na sua obra a coleção de seis volumes de *O Método*, além de livros como *Ciência com Consciência* (MORIN, 2019), *Introdução ao Pensamento Complexo* (Morin, 2015), *Educar na Era Planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana* (Morin; Ciurana; Motta, 2003), *A Cabeça Bem-Feita: repensar a reforma, reformar o pensamento* (Morin, 2000) e *Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro* (Morin, 2002). Ele não propôs um sistema filosófico, mas contribuiu desenvolvendo ao longo dos anos conceitos, definições, hipóteses, terminologia e referências para o pensamento complexo (Morin, 2015). Também devemos a ele alguns princípios (Moraes, 2008), segundo o qual opera o pensar complexo, dois quais têm destaque em seus livros supracitados: o dialógico, o recursivo e o hologramático (Paderes; Rodrigues; Giusti, 2005).

O princípio dialógico se baseia na premissa de que existem dois termos que são ao mesmo tempo complementares e antagônicos (Morin, 2015). Em seu livro *Introdução ao Pensamento Complexo*, Edgar Morin dá como exemplo para esse princípio o fato de alguns mamíferos sacrificarem seus filhotes para a sua própria sobrevivência. Na história da Física, temos como exemplo o princípio da complementaridade de Niels Bohr, em que os conceitos antagônicos de onda e partícula são complementares e simultaneamente necessários para a compreensão de um sistema quântico (Medeiros, 2006).

O princípio da recursão organizacional ou recursivo remete à ideia do processo do turbilhão em que cada momento é, ao mesmo tempo, produto e produtor (Morin, 2015).

Um processo recursivo é um processo onde os produtos e os efeitos são ao mesmo tempo causas e produtores do que os produzem. Temos o exemplo do indivíduo, da espécie e da reprodução. Nós, indivíduos, somos os produtores de um processo de reprodução que é anterior a nós. Mas uma vez que somos produtos, nos tornamos os produtores do processo que vai continuar (Morin, 2015, p. 74).

Pode-se afirmar que na realidade há processos nos quais efeitos também podem ser causas.

O princípio hologramático diz respeito à relação entre a parte e o todo. Este princípio pode ser representado pelo holograma. Em um holograma, a parte está no todo e o todo está nas suas partes, assim como uma célula que contém a totalidade da informação genética do organismo (Morin, 2015). Assim, nas Ciências da Natureza, uma amostra de uma substância, de um elemento ou um indivíduo pode representar o todo ao qual este pertence. Outro exemplo é o indivíduo, que é parte da sociedade. Por outro lado, a sociedade está presente em cada indivíduo.

O pensamento complexo é relevante atualmente se considerarmos a complexidade do mundo (físico, biológico, humano, social etc.) que nos cerca, caracterizado pela incerteza, as contradições e as interações entre as partes que compõem o todo; e a intensificação da complexidade da nossa realidade social com a globalização e o avanço rápido da tecnologia, das inovações e das mudanças (Moraes, 2008). Esses dois aspectos fazem parte da realidade e têm desdobramentos no âmbito da pesquisa e do ensino nas mais diversas áreas do conhecimento escolar, como a Física (Watanabe, 2021).



Metodologia

A investigação, de cunho teórico e quali-quantitativa, foi realizada por meio da revisão sistemática de literatura, conforme a definição de Santos e Prudêncio (2023).

[...] uma forma de pesquisa que tem como fonte de dados a literatura de determinado tema. Esse tipo de pesquisa tem como resultado uma espécie de resumo das investigações e evidências relacionadas a uma intervenção específica. Ademais, a Revisão Sistemática permite a incorporação de um espectro maior de resultados e ainda é eficaz para a avaliação e generalização desses resultados, uma vez que possui critérios de inclusão e exclusão bem definidos, que orientam e resultam em uma análise consistente (Santos; Prudêncio, 2023, p. 104).

Neste caso, a revisão foi realizada por meio do arquivo e análise de teses e dissertações pelos seguintes motivos: primeiro, porque as teses e dissertações passam pela avaliação de uma banca (crivo dos pares geralmente da mesma área); segundo, porque elas contêm informações mais completas sobre as pesquisas realizadas, inclusive sobre os instrumentos adotados (profundidade da descrição); terceiro, para evitarmos a sobreposição, já que parte dos trabalhos defendidos como teses e dissertações são comumente publicados depois como artigos em periódicos ou em eventos.

Após a definição do tema e do problema, a pesquisa foi realizada entre novembro de 2022 e fevereiro de 2023 com as seguintes etapas: (i) definição da base de dados; (ii) escolha dos descritores, campos e operadores; (iii) buscas e leituras flutuantes dos títulos, palavras-chave e resumos dos resultados preliminares obtidos; (iv) seleção dos trabalhos com base nos critérios de inclusão; (v) arquivo e inventário dos trabalhos selecionados e (vi) análise dos dados.

Base de dados. A base de dados de acesso aberto escolhida foi a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), lançada em 2002 e coordenada pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). Foi escolhida pela quantidade de monografias no acervo (mais 796 mil teses e dissertações de 133 instituições) e instrumentos de busca avançada e com operadores booleanos (AND, OR, NOT etc.).

Descritores, campos e operadores. Os descritores adotados foram “ensino de física” e “complexidade”. O operador booleano “AND” foi aplicado em todas as buscas nos campos “título”, “resumo em português” e “assunto”.

Buscas e leituras flutuantes. As buscas nos campos supracitados resultaram em 165 trabalhos, que foram submetidos à leitura flutuante do título, palavras-chave e resumo.

Seleção dos trabalhos. Foram selecionados 12 trabalhos com base em dois critérios mútuos de inclusão: inserção na área “Ensino de Física” e aproximação explícita com o pensamento complexo.

Arquivo e inventário. Os trabalhos selecionados, em arquivos no formato digital, foram nomeados com os nomes dos autores e ano de defesa. Em seguida, foram arquivados em uma pasta específica. Um inventário dos trabalhos, em ordem cronológica, foi realizado por meio de uma planilha com dados sobre a autoria, título e ano de defesa.



Análise dos trabalhos. Os trabalhos foram lidos integralmente e analisados, conforme Creswell (2008), quanto às instituições de afiliação dos autores e sua localização por regiões, níveis e modalidades de ensino que as pesquisas focaram, temas e conteúdos escolares de Física contemplados, informações metodológicas (métodos de pesquisa, técnicas de coleta de dados e contextos de investigação), autores e obras ligados à complexidade geral mais citados, e contribuições das pesquisas para o ensino de Física. No cálculo da quantidade de citações nos trabalhos de autores e obras voltados para a complexidade, consideramos autores citados em pelo menos três trabalhos analisados e utilizamos uma ferramenta de contagem de palavras buscadas no *Adobe Reader X*. A partir dos autores selecionados, fizemos a contagem das obras mais frequentes adotadas nos trabalhos.

Características dos trabalhos

A partir das nossas buscas obtivemos os trabalhos que constam no Quadro 1.

Quadro 1- Teses e dissertações sobre ensino de física e a complexidade geral

TESES E DISSERTAÇÕES NACIONAIS EM ORDEM CRONOLÓGICA			
CÓDIGO	AUTOR	ANO	TRABALHO
T1	Medeiros	2006	MEDEIROS, R. M. H. O ensino de propriedades macroscópicas da matéria: uma abordagem baseada nos aspectos estruturais. 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2006.
T2	Jorge Neto	2009	JORGE NETO, M. Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá - MT. 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2009.
T3	Watanabe	2008	WATANABE, G. Elementos para uma abordagem temática: a questão das águas e sua complexidade. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, São Paulo, SP, 2008.
T4	Araújo	2009	ARAÚJO, V. H. Prototexto, narrativa poética da ciência: uma estratégia de construção do conhecimento e religação de saberes no ensino de física. 2009. Tese (Doutorado em educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.
T5	Souto	2010	SOUTO, T. V. S. Ensinando física a partir de temática CTSA na construção de um pensar complexo sobre o fenômeno do aquecimento global. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2010.
T6	Tavares	2011	TAVARES, A. S. Física Ambiental e teoria da complexidade: inserção de tópicos essenciais da teoria da complexidade no ensino médio – a viabilidade de uma proposta. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2011.



T7	Watanabe-Caramello	2012	WATANABE-CARAMELLO, G. Aspectos da Complexidade: Contribuições da Física para a compreensão do tema Ambiental. 2012. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.
T8	Santos	2015	SANTOS, F. A. Aproximações entre o ensino de física e a complexidade na construção do conhecimento científico à luz de uma abordagem socioambiental. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2015.
T9	Carvalho	2016	CARVALHO, F. R. As hipóteses de progressão numa proposta de aulas complexificada sobre o tema aquecimento global. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino, História e Filosofia das Ciências e Matemática) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2016.
T10	Oliveira	2016	OLIVEIRA, A. F. Estudo de uma proposta de ensino de Física para o primeiro ano do Ensino Médio inspirada na teoria do pensamento complexo de Morin. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, 2016.
T11	Ribeiro	2018	RIBEIRO, T. C. Aspectos da complexificação para tratar a entropia nas aulas de Física. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2018.
T12	Deyllot	2022	DEYLLLOT, M. E. C. Articulações entre as duas culturas: um caminho em busca de um Ensino de Ciências libertário. 2022. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, São Paulo, SP, 2022.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Do total de 12 trabalhos defendidos entre 2006 e 2022 (17 anos), há três teses de doutorado e nove dissertações de mestrado. A partir desse quadro faremos a análise das características da produção. Realizamos o estudo para mapear e caracterizar a produção, dentro do universo delimitado. Seguem as categorias e as características dos trabalhos analisados.

Instituições e regiões

Quanto às instituições e respectivas regiões de afiliação dos autores, destacam-se as universidades do estado de São Paulo, na região Sudeste, com oito trabalhos, sendo quatro pela Universidade de São Paulo (T3, T7, T10, T12) e três pela Universidade Federal do ABC (T8, T9, T11). Na região Nordeste, temos os trabalhos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (T1, T5) e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (T4). Além disso, temos os trabalhos provenientes do Centro-Oeste, da Universidade Federal do Mato Grosso (T2, T6).



Níveis e modalidades de ensino

A maioria dos trabalhos (T2, T3, T4, T6, T8, T9, T10, T11, T12) são voltados para a educação básica, com destaque para o Ensino Médio. Cinco trabalhos envolvem o Ensino Superior, especialmente para a formação de professores (T1, T2, T4, T5, T12). O trabalho T7 não especificou o nível de ensino. O trabalho T4 faz referência, como uma de suas bases de vivências, ao Ensino Profissionalizante, de nível técnico. Não foram encontrados trabalhos para modalidades específicas como a Educação do Campo, Educação à Distância, Educação Especial etc.

Temas e conteúdos de Física

Como o pensamento complexo prima pela inter e transdisciplinaridade, percebemos que houve mais ênfase em temas transversais do que na menção de conceitos e conteúdos disciplinares de Física. Nessa direção, destacamos o trabalho T12. Há trabalhos que mencionam a Física moderna e contemporânea (T1), a termodinâmica (T3, T7), a hidrostática e a hidrodinâmica (T3), a mecânica (T10) e os conceitos de energia e entropia (T11). Contudo, há uma prevalência de menção à Educação Ambiental (T2, T3, T5, T6, T7), voltada especialmente para o aquecimento global e as mudanças climáticas. O trabalho T4 não explicitou algum conteúdo ou tema específico.

Métodos de pesquisa, técnicas de coleta de dados e contextos de investigação

Sobre os métodos de pesquisa, constatamos que de modo geral não há uma preocupação nos trabalhos em classificar ou tipificar as pesquisas, saindo da tendência fragmentada das investigações educacionais. Contudo, alguns trabalhos mencionaram a pesquisa-ação (T2), a investigação-ação (T5), a observação participante (T8) e o triplo-diálogo (T10). A pesquisa T4, embora não explicita, tem o caráter de uma narrativa autobiográfica. Há também o trabalho T7, que é teórico e bibliográfico. Quanto às técnicas de coleta nos trabalhos empíricos, destacam-se o questionário (T1, T3, T6, T8, T10, T12), a observação (T1, T3, T5, T8) e registros escritos (T2, T5, T8, T9, T11), além da pesquisa documental e bibliográfica (T2, T7, T11, T12). Os contextos em que foram realizadas as pesquisas foram geralmente próximos das instituições de afiliação dos pesquisadores, sendo realizados no mesmo estado, exceto T4, cujos dados empíricos são provenientes do estado da Bahia.

Autores e obras sobre a complexidade mais citados

Os autores, que trabalham na perspectiva do pensamento complexo, mais citados nos trabalhos estão alistados na Tabela 1, em ordem de citações seguida pela ordem alfabética.



Tabela 1 – Autores mais citados nos trabalhos

NOME DO AUTOR(A)	TRABALHOS ANALISADOS QUE CITARAM	QUANTIDADE DE CITAÇÕES
	$\Sigma N = 12$	
Edgar Morin	10	500
José Eduardo García Díaz	5	269
Ilya Prigogine	5	207
Maria da Conceição de Almeida	3	55
Humberto Maturana	3	36
Maria Regina Dubeux	3	33
Kawamura		
Giselle Watanabe	3	32
Nelson Fiedler-Ferrara	3	32
Fritjof Capra	3	25
Humberto Mariotti	3	22
Basarab Nicolescu	3	13

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O autor mais citado é Edgar Morin e dele destacam-se as seguintes seis obras como as mais citadas, por ordem de quantidade de trabalhos (n) que as citaram: (i) *Introdução ao Pensamento Complexo* (n = 8), (ii) *Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro* (n=6), (iii) *A Cabeça Bem-Feita: repensar a reforma, reforma o pensamento* (n =4), (iv) *Ciência com Consciência* (n = 4), (v) *Educar na Era Planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem no erro e na incerteza humana* (n = 3) e (vi) *A Inteligência da Complexidade* (n= 3). De José Eduardo García Díaz, destacam-se dois trabalhos: (i) *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares* (n = 5) e (ii) *Educacion ambiental, constructivismo y complejidad* (n = 4). De Ilya Prigogine, as obras mais citadas foram (i) *As leis do caos* (n = 4), (ii) *A nova aliança: metamorfose da ciência* (n= 3) e (iii) *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza* (n= 3).

Contribuições para o ensino de Física

Os trabalhos contribuem para o ensino de Física na medida que fornecem caminhos teóricos e metodológicos para um ensino inter e transdisciplinar na perspectiva da complexidade. Também buscam, no âmbito da pesquisa em ensino de Física, um modo de fazer ciência que supere a fragmentação, a estaticidade, o pensamento linear e a pseudo-objetividade. Atendem às necessidades emergentes da sociedade de um ensino de Física crítico e reflexivo que reconhece os problemas reais do mundo e as suas incertezas e contradições, além do inacabamento do homem e do seu conhecimento historicamente acumulado.

Nesse sentido, destacamos no trabalho de Medeiros (2006) a adoção da Teoria dos Construtos Pessoais de Kelly (1963) como um dos fundamentos para o processo de ensino-aprendizagem. Esta teoria



cognitiva valoriza a repetição de experiências para a aprendizagem gradual, por meio de temas recorrentes. Aliada ao pensamento complexo, especialmente quanto às ideias de relação e totalidade, as atividades desenvolvidas em três encontros produziram resultados acerca da compreensão das propriedades físicas em relação a aspectos estruturais dos materiais.

Jorge Neto (2009) mostrou a viabilidade da inserção de tópicos de complexidade na educação básica, com apoio da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2010). Também enfatizou o potencial de temas provenientes da Física Ambiental para o ensino de Física sob o pensamento complexo. Reconheceu a necessidade do conhecimento científico elaborado e sistêmico para lidarmos com o meio ambiente.

Watanabe (2008) aproximou, dentro da Educação Ambiental, o pensamento complexo da perspectiva freiriana, no sentido de superar a fragmentação do conhecimento e, ao mesmo tempo, contextualizá-lo por meio da abordagem temática. Problematicou como é realizado o ensino de Ciências, que requer, sob a complexidade, a mudança tanto no conteúdo quanto na forma. Essa mudança implica na visão do conhecimento científico como aberto, sem respostas definidas, e da escola como um espaço para apontar possibilidades e transformações. Segundo a autora, trabalhar na perspectiva da complexidade exige conhecimento aprofundado da física e também relacioná-la com aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais.

Araújo (2009) apontou o prototexto, um tipo de narrativa, como estratégia para o ensino de Física sob o pensamento complexo. Destacou nele os princípios da recursividade e o dialógico, conforme Morin (2015).

Reconheço no prototexto uma grande pretensão, a de procurar dar possibilidade de promover um conhecimento capaz de apreender problemas globais e fundamentais para neles inserir os conhecimentos parciais e locais. Mas essa pretensão é ela própria incerta, lança-se como projeto nesse eterno refazer recursivo e dialógico na construção do conhecimento, o qual ressalta o inacabamento como marca dinâmica do fazer científico, e do aprendiz em compreender esse conhecimento mutável dentro da própria dinâmica do fazer científico, e do aprendiz em compreender esse conhecimento mutável dentro da própria dinâmica de seu modo de pensar (Araujo, 2009, p. 60).

O prototexto tem o potencial de, como narrativa transdisciplinar, unir a aprendizagem do formalismo matemático com a discursividade, ao passo que coloca o estudante como protagonista na construção do conhecimento. Entretanto, é sublinhado que, no uso dessa estratégia, não se esqueça de que a argumentação é algo inacabável.

Souto (2010) colocou o aquecimento global como situação-problema e cenário para o exercício de relacionar o conhecimento científico com as variáveis socioambientais. Analisou registros escritos de licenciandos em Física sobre a sua compreensão e posicionamento quanto ao aquecimento global. Para análise dos dados, por meio da Análise de Conteúdo, elencou como uma das categorias o uso de operadores como o hologramático, o recursivo e o dialógico, dentre outros, procurando nos textos produzidos pelos sujeitos elementos que caracterizariam um pensar na forma complexa sobre as questões ambientais da



pesquisa. Nas suas conclusões, expressou que foram identificados operadores de religação no discurso dos licenciandos. Um deles é o dialógico, de acordo com Morin (2015).

O operador dialógico pode ser inferido nas discussões em que os licenciandos argumentam que processo física é o mais adequado para explicar o fenômeno e deparasse com a conclusão que estes processos podem ser usados ao mesmo tempo de forma dialógica, não havendo forma única de entender o processo (Souto, 2010, p. 113).

Além disso, mostrou a importância, além do conhecimento conceitual, das habilidades procedimentais e de atitudes em prol do desenvolvimento da cidadania comprometida com a construção de soluções. Nesse sentido, indicou a adoção do enfoque Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) e da problematização e contextualização com demandas emergentes da contemporaneidade no ensino de Física.

Tavares (2011) constatou, utilizando a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, a possibilidade da inserção de tópicos da teoria da complexidade na educação básica. Nesse sentido, trabalhou com os conceitos sistemas abertos, objetos fractais e acoplamento estrutural com turma do ensino médio. Sublinhou que esses e outros conceitos são essenciais para compreendermos os fenômenos climáticos.

Watanabe-Caramello (2012) defendeu, na perspectiva socioambiental, um ensino de Física que seja compatível com as exigências da realidade contemporânea. Para isso, propôs, sob as dimensões educacional, escolar e epistemológica, as ênfases dinâmica, entrópica, temporal, e das inter-relações, que identificariam abordagens a serem privilegiadas no ensino. Nessa direção, o ensino de Física deve considerar que não teremos as respostas para todos os problemas. Ademais, deve reconhecer, sob a visão da totalidade, que o homem é parte da natureza, não tem domínio absoluto sobre ela.

Santos (2015) propôs o trabalho com situações de ensino e a temática ambiental nas aulas de Física. Mostrou que a educação científica precisa promover a autonomia e competências que deem subsídios aos estudantes para relacionarem os saberes escolares com o contexto social e cultural. Neste trabalho, a temática ambiental foi sugerida como um caminho para um ensino de física que supere a fragmentação e desarticulação dos saberes.

Carvalho (2016) apontou, em um trabalho sobre aquecimento global, as hipóteses de transição e de progressão como instrumentos para a aprendizagem e a avaliação do conhecimento escolar. Por meio dessas hipóteses, os professores podem identificar a partir dos argumentos dos alunos como caminha a sua dinâmica de aprendizagem. Assim, seria possível identificar também aspectos no processo de ensino-aprendizagem para formar estudantes com posicionamentos mais críticos, complexos e reflexivos.

Oliveira (2016) propôs atividades com questões que envolvem a integração entre saberes e que são gradualmente complexas. Sublinhou no seu trabalho o ensino de Física que contemple a problematização, o trabalho interdisciplinar, a aceitação do erro e da incerteza e o trabalho docente coletivo.

Ribeiro (2018) buscou criar um diálogo entre a Física e outros saberes em torno dos conceitos energia e entropia. Mostrou que há uma tendência nos alunos de pensarem de forma linear e progressiva,



mas que o ensino voltado para a sua realidade e totalidade, integrando saberes, pode conduzir ao pensamento complexo.

Por fim, Deyllot (2022) elaborou sugestões de atividades articuladoras para um ensino contextualizado e inter e transdisciplinar. O seu trabalho procurou ligar os pensamentos de Edgar Morin e Paulo Freire em torno dos conceitos articulação e perfil articulador. A articulação, que pode ser direta, estrutural e mobilizadora, visa aproximar o conhecimento científico de outras áreas do saber.

A maioria dos trabalhos apresentam e explanam sobre os princípios ou operadores da complexidade, especialmente o recursivo, o hologramático e o dialógico. Identificamos dois autores (ARAÚJO, 2009; SOUTO, 2010) que articularam os seus resultados com esses princípios de forma explícita.

Considerações Finais

Este trabalho identificou características da produção acadêmica, em teses e dissertações nacionais, sobre o ensino de Física na perspectiva da complexidade. A amostra é limitada, por tratar de teses e dissertações em nível nacional, identificadas por apenas um base de dados. Há a possibilidade de que alguns textos, que dependeriam de outros critérios, descritores e escolhas além dos adotados na busca realizada, tenham sido invisibilizados nesta investigação. Ainda assim, esta pesquisa é relevante por ter sido realizada em uma base de dados reconhecida e cobrir um período de 17 anos e de produções de diversos programas de pós-graduação brasileiros.

Esperamos contribuir para a pesquisa acadêmica por termos apontado tendências e, conseqüentemente, lacunas. A maioria dos trabalhos foram desenvolvidos na região Sudeste, voltados para a educação básica e envolvendo a Educação Ambiental. O autor mais citado é Edgar Morin. A visão do quadro atual dessa produção pode dar subsídios para a formulação de problemas e futuras pesquisas na área, tanto no aspecto teórico quanto no empírico.

Para a prática de ensino de Física, a pesquisa contribui com um inventário de textos que apontam temas, métodos e instrumentos de ensino articulados com o pensamento complexo, especialmente sob os princípios dialógico, recursivo e hologramático.

É necessário o desenvolvimento e enfrentamento do ensino de Física em face das demandas da sociedade e do cenário atual em que vivemos, marcados pela incerteza e pela mudança. Nesse contexto, o pensamento complexo, mesmo não apontando soluções, indica ajustes que podemos fazer na nossa forma de olhar e compreender os desafios encontrados.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).



Referências

- ARAÚJO, V. H. **Prototexto, narrativa poética da ciência:** uma estratégia de construção do conhecimento e religação de saberes no ensino de física. 2009. Tese (Doutorado em educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.
- ARAÚJO, M. T. M. *et al.* Revisão sistemática da literatura: estudos sobre o pensamento complexo na educação. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 7, p. 47247–47259, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-384>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- BRITO, A. A.; CORTESI, A. Complexidade em Astronomia e Astrofísica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 43, n. 1, e20200418, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0418>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- CARVALHO, F. R. **As hipóteses de progressão numa proposta de aulas complexificada sobre o tema aquecimento global.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino, História e Filosofia das Ciências e Matemática) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2016.
- CARVALHO, F. R.; WATANABE, G.; RODRIGUEZ-MARIN, F. Construção do conhecimento escolar científico na perspectiva da complexidade. **Enseñanza de las Ciencias**, Sevilha, v. extra, p. 3237-3242, 2017. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/339865>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- CARVALHO, F. R.; WATANABE, G. A construção do conhecimento científico escolar: hipóteses de transição identificadas a partir das ideias dos(as) alunos(as). **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v.35, e180873, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-4698180873>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- COSTA, D. N.; PEDROSO, D. S. A educação ambiental na perspectiva do professor de física. **Revista Saberes Docentes**, Juína, v.7, n.13, p. 1-20, 2022. Disponível em: <http://www.revista.ajes.edu.br/index.php/rsd/article/view/407>. Acesso em: 23 mai. 2023.
- CRESWELL, J. W. **Educational research:** planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research. 3. ed. Columbus, Ohio, U.S.A.: Pearson, 2008.
- DEYLLOT, M. E. C. **Articulações entre as duas culturas:** um caminho em busca de um Ensino de Ciências libertário. 2022. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, São Paulo, SP, 2022.
- FERREIRA, V. S. A.; FIGUEIREDO, R. P. Seguindo as trilhas de Alice: sobre uma pesquisa e o pensamento complexo. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, [S. l.], v. 8, n. 27, 2022. Disponível em: <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/RECEI/article/view/4238>. Acesso em: 23 mai. 2023.



JORGE NETO, M. **Física ambiental e teoria da complexidade**: possibilidades de ensino na educação básica. Cuiabá - MT. 2009. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2009.

KELLY, G. A. **theory of personality**: The psychology of personal constructs. New York: W. W. Norton & Cia., 1963.

LEVRINI, O.; FANTINI, P. Encountering Productive Forms of Complexity in Learning Modern Physics. **Science & Education**, [S. l.], v. 22, n. 8, p. 1895-1910, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9587-4>. Acesso em: 23 mai. 2023.

LUKOSEVICIUS, A. P.; MARCHISOTTI, G. G.; SOARES, C. A. P. Panorama da complexidade: principais correntes, definições e constructos. **Sistemas & Gestão**, [S. l.], v. 11, n.4, p. 455-465, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n4.1157>. Acesso em: 23 mai. 2023.

MEDEIROS, R. M. H. **O ensino de propriedades macroscópicas da matéria**: uma abordagem baseada nos aspectos estruturais. 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2006.

MORAES, M. C. **Ecologia dos saberes**: complexidade, transdisciplinaridade e educação: novos fundamentos para iluminar novas práticas educacionais. São Paulo: Antakarana, WHH, 2008.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. 2ª ed. Porto Alegre: Instituto de Física/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. Tradução de Eloá Jacobina. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 5. ed. Tradução de Catarina Eleonora F. Silva e Jeanne Sawaya. São Paulo: Cortez; Brasília: UNESCO, 2002.

MORIN, E; CIURANA, E; MOTTA, R. D. **Educar na era planetária**: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana. Tradução de Sandra Trabucco Valenzuela. São Paulo: Cortez, 2003.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. 5. ed. Tradução de Elaine Lisboa. Porto Alegre: Sulina, 2015.

MORIN, E. **Ciência com consciência**. 19. ed. Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice A. S. Doria. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2019.

OLIVEIRA, A. F. **Estudo de uma proposta de ensino de Física para o primeiro ano do Ensino Médio inspirada na teoria do pensamento complexo de Morin**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, 2016.

PADERES, A. M.; RODRIGUES, R. B.; GIUSTI, S. R. Teoria da complexidade: percursos e desafios para a pesquisa em educação. **Revista de Educação**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. 1-13, 2005.



POINCARÉ, H. **O valor da ciência**. Tradução de Maria Helena F. Martins. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

RIBEIRO, T. C. **Aspectos da complexificação para tratar a entropia nas aulas de Física**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2018.

SÁ, R. A. **Pedagogia e complexidade: diálogos preliminares**. Educar em Revista, Curitiba, v. 32, p. 57–73, 2008.

SAHEB, D.; RODRIGUES, D. G. A contribuição da complexidade de Morin para as pesquisas em Educação Ambiental. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, [S. l.], p. 191–207, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/remea.v0i0.7139>. Acesso em: 23 mai. 2023.

SANTOS, F. A. **Aproximações entre o ensino de física e a complexidade na construção do conhecimento científico à luz de uma abordagem socioambiental**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2015.

SANTOS, J. E.; PRUDÊNCIO, C. A. V. A educação para as relações étnico-raciais no ensino de ciências: uma revisão sistemática em teses e dissertações (2005-2021). **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 13, n. 1, p. 98-123, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/encitec.v13i1.651>. Acesso em: 23 mai. 2023.

SILVA, L. F.; CAVALARI, M. F.; MUENCHEN, C. Compreensões de pesquisadores da área de ensino de física sobre a temática ambiental e as suas articulações com o processo educativo. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.17, n. 2, p. 283-307, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21172015170201>. Acesso em: 23 mai. 2023.

SOUTO, T. V. S. **Ensinando física a partir de temática CTSA na construção de um pensar complexo sobre o fenômeno do aquecimento global**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2010.

SOUZA, P.F.L. *et al.* Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 32, n. 2, 2402, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000200011>. Acesso em: 23 mai. 2023.

TAVARES, A. S. **Física Ambiental e teoria da complexidade: inserção de tópicos essenciais da teoria da complexidade no ensino médio – a viabilidade de uma proposta**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2011.

TRIVIZOL, L.; FIGUEIRÔA, S. F. M. O ensino de História e Filosofia da Termodinâmica como meio para o pensamento complexo. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 4, edição especial, p. 1315-1340, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12902>. Acesso em: 23 mai. 2023.

WATANABE, G. **Elementos para uma abordagem temática: a questão das águas e sua complexidade**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Física,



Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, São Paulo, SP, 2008.

WATANABE-CARAMELLO, G.; STRIEDER, R. B. Elementos para inserir as questões ambientais em aulas de física: da prática baseada em temas à complexificação do conhecimento. **Pesquisa em Educação Ambiental**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 101-117, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.18675/2177-580X.vol6.n2.p101-117>. Acesso em: 23 mai. 2023.

WATANABE-CARAMELLO, G. **Aspectos da Complexidade**: Contribuições da Física para a compreensão do tema Ambiental. 2012. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

WATANABE-CARAMELLO, G.; KAWAMURA, M. R. D. Articulações entre complexidade e meio ambiente: propostas para o ensino de física. **Comunicación**, Girona, p. 3748-3752, 2013. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308661>. Acesso em: 23 mai. 2023.

WATANABE, G. *et al.* Complexidade e ensino de física: o uso da teoria de grafos na análise do processo de ensino-aprendizagem. **Enseñanza de las Ciencias**, Sevilha, p. 4467-4472, 2017. Disponível em: <https://ddd.uab.cat/record/183692>. Acesso em: 23 mai. 2023.

WATANABE, G. As contribuições dos aspectos da complexidade para um ensino de física mais crítico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 43, n.1, e20200416, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0416>. Acesso em: 23 mai. 2023.